

# GESTIÓN Y MANEJO DE CUENCAS: EXPERIENCIAS PARA LA EVALUACIÓN HÍDRICA EN MÉXICO

José Luis Miranda Jiménez  
Raúl Francisco Pineda López  
Juan Alfredo Hernández Guerrero  
Gonzalo Hatch Kuri  
Coordinadores



**CONCYTEO**

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
DEL ESTADO DE QUERÉTARO

# **GESTIÓN Y MANEJO DE CUENCAS: EXPERIENCIAS PARA LA EVALUACIÓN HÍDRICA EN MÉXICO**

## **COORDINADORES**

**José Luis Miranda Jiménez**  
Universidad Autónoma de Querétaro

**Raúl Francisco Pineda López**  
Universidad Autónoma de Querétaro

**Juan Alfredo Hernández Guerrero**  
Universidad Autónoma de Querétaro

**Gonzalo Hatch Kuri**  
Universidad Autónoma de Querétaro



**CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE  
QUERÉTARO [CONCYTEQ]**

***Mauricio Kuri González***  
***Gobernador Constitucional del Estado de Querétaro***

***Martha Elena Soto Obregón***  
***Secretaria de Educación del Poder Ejecutivo***

***Enrique Rabell García***  
***Director General del***  
***CONCYTEQ***

***René Martínez Fernández***  
***Secretario Técnico del***  
***CONCYTEQ***



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**  
**[UAQ]**

***Dra. Silvia Lorena Amaya Llano***  
***Rectora***

***Dra. Oliva Solís Hernández***  
***Secretaria Académica***

***Dr. José Guadalupe Gómez Soto***  
***Director de la Facultad de Ciencias Naturales***

***Lic. Diana Rodríguez Sánchez***  
***Directora del Fondo Editorial Universitario***

***Lic. Federico de la Vega***  
***Editor del Fondo Editorial Universitario***



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

GESTIÓN Y MANEJO DE CUENCAS: EXPERIENCIAS PARA LA EVALUACIÓN HÍDRICA EN MÉXICO. José Luis Miranda Jiménez (coordinador), Raúl Francisco Pineda López (coordinador), Juan Alfredo Hernández Guerrero (coordinador), Gonzalo Hatch Kuri (coordinador), Helena Cotler Avalos (autora), María Luisa Cuevas (autora), Iris Neri Flores (autora), Everardo Barba Macías (autor), Patricia Moreno Casasola (autora), Raúl Francisco Pineda López (autor), Dulce Infante Mata (autora), Sergio Salinas Rodríguez (autor), Citlalli Aidee Becerril Tinoco (autora), José Luis Miranda Jiménez (autor), Carmela Xochitla Castrejón (autora), Rafael Germán Urbán Lamadrid (autor), Alfredo Méndez Bahena (autor), Vicente Alfredo Sereno Chávez (autor), Alma Gladis Rendón Sandoval (autora), Rafael Germán Urbán Lamadrid (autor), Alfredo Amador García (autor), Zitlali Solano Díaz (autora), Rafael Germán Urbán Lamadrid (autor), Juan Suarez Sánchez (autor) y Emmanuel Poblete Trujillo (autor).

221 p.

Primera edición 2025

Edición y diseño de la publicación: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela

CONCYTEQ

Pasteur Sur núm. 36, Centro Histórico  
Santiago de Querétaro, Qro. C P 76000

Tel. (442) 212 7266

[www.concyteq.edu.mx](http://www.concyteq.edu.mx)

ISBN (edición digital): 978-607-7710-64-6

Impreso en México. Printed in Mexico

Este libro ha sido arbitrado mediante el sistema de dictaminación a doble ciego UAQ-CONCYTEQ. El dictamen, en ambos casos fue favorable.

La redacción e información contenida en cada capítulo, es responsabilidad de sus autores.

# ÍNDICE

---

<b><i>Prólogo</i></b>	<b>01</b>
<b><i>Presentación</i></b>	<b>02</b>
<b><i>Capítulo 1</i></b>	
¿Para qué monitoreamos?	
<b>Experiencias en cuencas de México</b>	<b>03</b>
Helena Cotler Avalos, Maria Luisa Cuevas	
<b><i>Capítulo 2</i></b>	
<b>Cuencas, acuíferos y reservas de agua:</b>	
<b>Una relación compleja. Estudio caso. Usumacinta</b>	<b>38</b>
Iris Neri Flores, Everardo Barba Macías, Patricia Moreno Casasola, Raúl Pineda López, Dulce Infante Mata, Sergio Salinas Rodríguez	
<b><i>Capítulo 3</i></b>	
<b>Gestión de agua en sistemas comunitarios en la cuenca del río Lerma</b>	<b>68</b>
Citlalli Aidee Becerril Tinoco, José Luis Miranda Jiménez	

## ***Capítulo 4***

### **Evaluación de riesgos hidrometeorológicos**

#### **En la microcuenca de Quechultenango, Guerrero 110**

Carmela Xochitla Castrejón, Rafael Germán Urbán Lamadrid,  
Alfredo Méndez Bahena, Vicente Alfredo Sereno Chávez

## ***Capítulo 5***

### **Evaluación multicriterio para la conservación**

#### **Del agua en la cuenca media Guerrerense del río Balsas 133**

Alma Gladis Rendón Sandoval, Rafael Germán Urbán Lamadrid,  
Alfredo Méndez Bahena, Alfredo Amador García

## ***Capítulo 6***

### **Erosión hídrica de las microcuencas de Atlangatepec,**

#### **Tlaxcala y Tixtla, Guerrero, con características**

#### **morfoclimáticas distintas 159**

Zitlali Solano Díaz, Germán Urbán Lamadrid  
Alfredo Méndez Bahena, Juan Suarez Sánchez

## ***Capítulo 7***

### **Gota a gota ¿el agua que se agota? Educación ambiental, sustentabilidad y prácticas domésticas de consumo de agua en**

#### **la cuenca del río Balsas: el caso de Cuernavaca, Morelos 186**

Emmanuel Poblete Trujillo, José Luis Miranda Jiménez

## ***Semblanza Curricular 207***

## **Prólogo**

---

**Dr. Enrique Rabell García**

*Director del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro*

El Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro tiene el placer de presentar esta obra coordinada por el Dr. José Luis Miranda Jiménez, Dr. Raúl Francisco Pineda López, Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero y el Dr. Gonzalo Hatch Kuri, quienes compilaron trabajos de investigación de autores de diversas instituciones referentes a temas de gestión y manejo de cuencas.

A través de siete capítulos, los autores exponen la problemática mundial referente al deterioro de las cuencas hidrográficas y la importancia en el ciclo hidrológico, que ayudarán a la comprensión de los impactos socioambientales, lo que motivará en el estudio de las cuencas como unidades de planeación y gestión del desarrollo.

Es así que invitamos a adentrarse en la lectura del libro, donde los investigadores exponen diversos casos que permitirán conocer, evaluar, analizar y reflexionar sobre la gestión y manejo de cuencas hidrográficas a través de temas de interés como experiencias de monitoreo, uso y cuidado de recursos hídricos, educación sobre el agua, evaluación de riesgos hidrometeorológicos, así como conservación de agua y suelo.

El CONCYTEQ tiene la firme convicción de apoyar la investigación y divulgar los conocimientos que continuamente se están generando, agradezco a los autores su esfuerzo, el cual permite acercar el conocimiento a todos nosotros, es por eso que invito a la comunidad académica y al público en general a leer, comprender y discutir los temas aquí presentados.



## **Presentación**

---

**Dr. José Luis Miranda Jiménez**  
**Dr. Raúl Francisco Pineda López**  
**Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero**  
**Dr. Gonzalo Hatch Kuri**

En las últimas dos décadas, un tema preocupante a nivel mundial ha sido el deterioro de cuencas hidrográficas, pues juegan un papel importante en el ciclo hidrológico, y en la dinámica hídrica de los lugares, esta situación propició que diversas organizaciones e instituciones educativas y gubernamentales realizaran acciones encaminadas al manejo y gestión de cuencas hidrográficas con un enfoque de bienestar humano y desarrollo socioeconómico. Por esta razón, el manejo y la gestión se plantean desde una perspectiva en pro de mantener el equilibrio entre ecosistemas, actividades productivas y acciones estratégicas tendientes a conservar el ambiente con el fin de garantizar la función del sistema hídrico y los procesos que le acompañan, sean biofísicos, económicos, sociales, políticos y culturales.

Es por ello que el eje central de la presente obra aborda diversas experiencias de gestión y manejo en cuencas hidrográficas que permiten conocer, evaluar, analizar y reflexionar sobre la importancia que desempeñan en el accionar ambiental y, por ende, en las implicaciones de cuidado y conservación de recursos naturales, biodiversidad y calidad de vida de la población humana. En este contexto, el libro contiene siete capítulos que muestran avances significativos sobre la gestión y manejo en cuencas hidrográficas de México, y son resultado de investigaciones multi e interdisciplinarias que abordan la temática a nivel local y regional, basadas en el interés de investigadores que, desde diferentes instituciones académicas y centros de investigación, abordamos temas importantes sobre el manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

La participación de la sociedad y su organización local son de gran importancia para reforzar los planteamientos institucionales, considerando que la participación colectiva tiene que ser en pro del bien común. En este sentido, los resultados de las contribuciones sugieren fomentar y reforzar la participación de la sociedad en el correcto manejo y conservación del entorno, de tal forma que se obtengan resultados que generen información y conocimiento para coadyuvar en la toma de decisiones y la participación social con el propósito de garantizar la disponibilidad hídrica a través de cuencas hidrográficas.

Ahora bien, las investigaciones y estudios de caso en torno al manejo de cuencas, pueden incrementarse considerando el interés que requiere el tema en la actualidad. En espera, de que esta obra sea de motivación para estimular la investigación continua de la gestión y manejo de cuencas hidrográficas a multiescala (local, regional y nacional), cuya proyección sea el equilibrio ambiental y que incluya la relación con otras temáticas que abordan el comportamiento de la sociedad y la sustentabilidad, mediante la mitigación o solución de problemáticas hidro-territoriales que permitan optimizar el funcionamiento de las cuencas hidrográficas y los respectivos beneficios socioambientales.

# ¿PARA QUÉ MONITOREAMOS?

## EXPERIENCIAS EN CUENCAS DE MÉXICO

Helena Cotler Avalos<sup>1</sup>

Maria Luisa Cuevas<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Investigadora Titular, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo). Email: [hcotler@centrogeo.edu.mx](mailto:hcotler@centrogeo.edu.mx)

<sup>2</sup>Consultora ambiental. Email: [marilucuevas@gmail.com](mailto:marilucuevas@gmail.com)

### **Resumen**

Ante el escaso entendimiento de la dinámica de una cuenca, cualquier acción de manejo se realiza en un contexto de incertidumbre. Uno de los mecanismos propuestos por la literatura científica para disminuir esta incertidumbre es monitorear los resultados y, cuando es posible, incorporarlos al contexto de un manejo adaptativo.

En una primera etapa, explicamos el monitoreo en el contexto del manejo adaptativo y los indicadores propuestos en la literatura científica en los ámbitos de manejo de tierras, calidad de cuerpos de agua, impacto de ciudades en cuencas y de gobernanza. En una segunda etapa, se explica los sistemas de monitoreo de ocho cuencas de México, cuya información se obtuvo a través de entrevistas y salidas de campo. Además del monitoreo, también se analizan los indicadores utilizados, los objetivos buscados, el aprendizaje obtenido y las posibilidades y obstáculos para llevar a cabo un manejo adaptativo en cuencas.

Los principales resultados muestran que las alianzas que las organizaciones de la sociedad civil (OSC) pueden generar con instituciones académicas, otras OSC, dependencias de gobierno y comunidades locales fortalecen el diseño del sistema de monitoreo, su implementación y el análisis de los datos. En general, los sistemas de monitoreo están enfocados en la capacitación, a veces sus resultados son difícilmente extrapolables y, en varios casos, son conceptualmente débiles. Aunado a estas condiciones, prevalece un contexto de inestabilidad económica e inseguridad sociopolítica. A pesar de innumerables dificultades, se identificaron enseñanzas obtenidas por varias de las OSC sobre los sistemas de monitoreo implementados y el uso que hacen de los resultados obtenidos.

**Palabras claves:** integridad de cuencas, monitoreo, manejo adaptativo.

## **Introducción**

Las actividades humanas han alterado drásticamente la estructura natural de las cuencas mediante la conversión de la vegetación natural y humedales hacia una agricultura dependiente de insumos externos (fertilizantes y pesticidas), actividades pecuarias, asentamientos humanos -que provocan sellamiento y pérdida de la cobertura natural- y depósito de residuos provenientes de ciudades y zonas industriales (He et al., 2000). A nivel mundial, la principal amenaza a los ecosistemas de agua dulce es la alteración, desviación, fragmentación, sobreexplotación y contaminación causada por actividades antrópicas en las cuencas (Johnson et al., 2019). Estas modificaciones ocasionan cambios en flujos de energía, nutrientes, biodiversidad y provoca cambios en patrones hidrológicos.

Ante esta situación, el desarrollo de un conjunto de indicadores para describir la condición y la salud de la cuenca es esencial para poder priorizar la atención hacia sus ecosistemas (He et al., 2000).

Los procesos a través de los cuales las condiciones biofísicas y sociales afectan la dinámica de las cuencas son complejos y varían en el tiempo y en el espacio. Esto complica los esfuerzos para entender las relaciones generales entre las prácticas de conservación y la restauración de cuerpos de agua (Mayer et al., 2014). En el corazón de los innumerables desafíos del manejo de cuencas, se encuentra la interacción compleja, dinámica y a menudo impredecible de los dominios ecológico y humano (Porzecanski et al., 2012). Sabiendo que nuestra comprensión de este sistema socio-ecológico será siempre imperfecta, es lógico adoptar un enfoque de gestión experimental y no reactivo. Nuestro entendimiento sobre la dinámica funcional de la cuenca es limitado, lo cual genera que los programas de manejo operen bajo condiciones de gran incertidumbre. Ignorar esto último nos puede llevar a realizar acciones inadecuadas, basadas en supuestos que no son reales (Maass y Cotler, 2007).

El manejo de cuencas enfrenta retos socioecológicos complejos que requieren enfoques que aborden la incertidumbre. Hay una urgencia creciente de conservar la diversidad biológica, restaurar y rehabilitar ecosistemas deteriorados, adaptarse al cambio climático y mejorar las condiciones socioeconómicas de la población; problemas que, en nuestro país, se encuentran inmersos en un contexto de pobreza, marginación, conflictos sociales e inseguridad.

## **Manejo adaptativo**

El concepto de manejo adaptativo surge como una respuesta ante la necesidad de tomar decisiones de manejo bajo condiciones de incertidumbre (Holling, 1978). La esencia del concepto consiste en ir “adaptando o sintonizando” las decisiones conforme mejoramos nuestro entendimiento sobre cómo responde el sistema de la cuenca al manejo (Maass y Cotler, 2007). Aunque como señalan Benson y Garmestani (2011), el manejo adaptativo activo no es solamente “aprender haciendo” sino más bien probar diversas hipótesis sobre el sistema de manejo; de ahí la importancia de contar con una hipótesis clara, un buen sistema de medición y verificación, una línea base y el análisis de los resultados (Doremus et al., 2011).

Una amplia literatura científica (Mc Fadden et al., 2011; Williams y Brown, 2014; Walters, 1997; Doremus et al., 2011) propone al manejo adaptativo como un medio para comprender dinámicas socioecológicas complejas, probar distintos tipos de manejo, monitorear sus resultados y mejorar las propuestas de manejo. Si bien el concepto de manejo adaptativo sigue en evolución, en la práctica, la investigación y el manejo son tratados como actividades diferenciadas, implementadas sin un marco conceptual de referencia que permita su revisión y redefinición (Williams y Brown, 2014).

El manejo adaptativo (MA) puede ayudar a abordar retos comunes en los problemas ambientales; como el entendimiento incompleto que se tiene de la dinámica ecosistémica, donde la línea base es generalmente inexistente y donde muchos de los procesos naturales son inherentemente dinámicos y no-lineales. Si a esto se le

sobrepone un contexto de cambio global, la situación se complica aún más. El aprendizaje, piedra angular de este manejo, requiere un ciclo compuesto del monitoreo, evaluación y reconsideración de objetivos y métodos. Por ello, se pueden plantear cuatro principios básicos para su desarrollo (Doremus et al., 2011):

- 1. *Adaptar la estrategia al problema:*** el proceso de MA es útil cuando provee información necesaria para definir los objetivos de manejo. En ese sentido, desde un inicio, debe quedar clara la información que se requiere para mejorar el manejo. Para ello, los objetivos de manejo deben ser claros y lo más explícitos posibles. Algunos autores (Doremus et al., 2011) proponen que los mismos objetivos deben ser evaluados y reconsiderados como parte del ciclo del MA. Antes de implementarlo, se debe tener claro las incertidumbres en el entendimiento que se quieren reducir, considerando los costos y el tiempo necesario para generar esta información, así como definir el modo de cambio del manejo en respuesta a este mejor entendimiento.
- 2. *Posibilidad de cambio:*** el MA se basa en la promesa de que el manejo cambiará a partir de la nueva información generada. Sin embargo, los cambios pueden ser difíciles, controversiales y costosos, por lo cual se requiere que por adelantado se cuente con una estrategia viable para asegurar los cambios, una vez que se cuente con la información necesaria.
- 3. *Transparencia durante el proceso:*** el MA funciona cuando se tiene un modelo conceptual básico que explique el problema que se quiere atender,

las incertidumbres y los supuestos en los cuales está sustentado el manejo. Tanto el modelo como los supuestos deben ser discutidos ampliamente en grupos transdisciplinarios, de manera independiente y sin prejuicios.

A partir de este modelo y de los supuestos, se elabora un monitoreo para coleccionar datos. El monitoreo es fundamental en el manejo adaptativo, sin embargo éste no puede verse como un fin por sí mismo, sino como un medio para el aprendizaje y el cambio.

**4. *Asegurar fuente de financiamiento:*** este puede ser uno de los puntos débiles cuando se trabaja desde un enfoque de MA, ya que muchos fondos, agencias y fundaciones no consideran este proceso como básico en el manejo de ecosistemas. Sin embargo, el MA no puede tener éxito sin fondos estables y suficientes.

Se puede diferenciar dos medios para implementar el manejo adaptativo. Uno de ellos es el “activo”, en el cual se diseñan experimentos para probar hipótesis sobre el sistema; por ejemplo, el establecimiento de parcelas de escorrentía para probar hipótesis sobre la pérdida de suelo que provocan distintos sistemas productivos. El “pasivo” no se basa en experimentos, sino en el monitoreo para ajustar el modelo inicial y actualizar las hipótesis que sustentan el manejo; por ejemplo, si se quiere analizar el impacto de la quema sobre la regeneración de especies, se realizará un monitoreo intensivo en sitios quemados para probar las hipótesis que se tenían

inicialmente. Cualquiera que sea la elección siempre se requerirá un sistema de monitoreo y de la sistematización de datos.

El manejo adaptativo es, sin duda, potencialmente útil para problemas socioambientales, pero no es una panacea. Su uso se justifica cuando se quiere reducir la incertidumbre a lo largo del tiempo y cuando se quiere incorporar el aprendizaje en el manejo. Este enfoque resulta pertinente bajo las premisas de que los problemas identificados responden al manejo y que existe incertidumbre sobre los impactos de dicho manejo (Gregory et al., 2006). Este enfoque suele ser apropiado cuando la incertidumbre y el control son altos, pero no es recomendable ante situaciones de alta complejidad, con fuertes influencias externas y con poca confianza en las evaluaciones (Allen y Gunderson, 2011).

Un monitoreo para sistematizar datos es esencial para el manejo adaptativo, pero no todo monitoreo lleva hacia este manejo. En otras palabras, como se expuso anteriormente, el monitoreo no debe verse como un fin en sí mismo, sino como parte de un proceso que permita mejorar el estado de la cuenca.

### **Características y pasos para establecer un monitoreo**

El diseño de un monitoreo efectivo requiere de un trabajo detallado y de un amplio conocimiento de las características y problemáticas del sitio donde se llevará a cabo. De acuerdo con Block et al (2001), hay siete aspectos fundamentales a considerar para un programa efectivo de monitoreo:



**1. Metas y objetivos claros** para el monitoreo: el monitoreo debe estar basado en las condiciones de referencia o las metas que se buscan alcanzar. El establecimiento de indicadores debe responder a un análisis que inicie identificando las causas del problema (Figura 1.1). Esta primera etapa debe ser abordada con una visión integral y transdisciplinaria, ya que las causas raíz no siempre son evidentes, claras, ni lineales. Por ejemplo, un problema de erosión de suelos en zonas de pastoreo puede ser ocasionado por la elevada carga animal; esta situación a su vez puede responder a distintos orígenes, como la ausencia de reglas para el uso de zonas comunes o bien a la presencia de conflictos de tierra. Ambos problemas raíz deberán ser atendidos para la real resolución del problema, que podrá ser monitoreado a través de la combinación de varios indicadores, como la carga animal y la presencia de reglas o de acuerdos sociales. Una vez que se determina la medida, acción o práctica que se establecerá debe identificarse el o los indicadores que se utilizarán, así como la logística para llevarlos a cabo: presupuesto, personal, método de evaluación, temporalidad.

**2. Identificar indicadores para monitorear.** Es necesario seleccionar las mejores variables de respuesta, por su relevancia, pero también por ser costos-efectivas. Los indicadores deben cumplir con ciertas condiciones, como ser sencillos, sensibles, de bajo costo, específicos y representar los distintos aspectos que determinan el funcionamiento de una cuenca. Dada la complejidad de este sistema, un solo indicador (pendiente, sedimento o cobertura forestal) no puede expresar por sí solo todos los procesos que ocurren a nivel espacial; por ello, se requiere de un

conjunto mínimo de indicadores de índole hidrológico, ambiental, organizacional y social (He et al, 2000).

**3. Establecer umbrales o puntos de inflexión.** Reconocer los umbrales o valores de cambio de las variables de referencia permite identificar los momentos en que se están generando o se podría generar un impacto positivo o negativo en los objetivos y metas a alcanzar, o bien identificar si se está yendo por el camino correcto en cuanto al manejo adaptativo.

**4. Desarrollar un diseño de muestreo claro.** El diseño del muestreo debe considerar la escala correcta para cada variable seleccionada y requiere de un cuidadoso diseño de la selección de sitios, el número de muestras, la frecuencia para la toma de muestras, entre otros aspectos. Los indicadores deben plantearse de manera relativa para permitir su comparación; es decir, presentar los resultados en proporciones o porcentajes y no en números absolutos para poder visualizar cambios.

Antes de implementar la medida, es importante determinar una línea base, la cual pueda servir para permitir comparaciones futuras. Un buen uso de los indicadores puede darse en un contexto de comparación temporal (a partir de la línea base, analizando el antes y el después de la medida) o bien con sitios control: en buen estado o con una medida alternativa y un sitio de referencia.

**5. Colectar los datos de manera consistente, sistemática y rigurosa.** De preferencia, debe desarrollarse un protocolo para la recolección de muestras que asegure su calidad. De la misma manera, debe haber un sistema riguroso para sistematizar la información para su posterior análisis y obtención de resultados.

**6. Analizar los datos en función del o los objetivos.** Los objetivos planteados deben ser claros y explícitos. A partir de ellos, se seleccionarán las variables necesarias que deben ser monitoreadas.

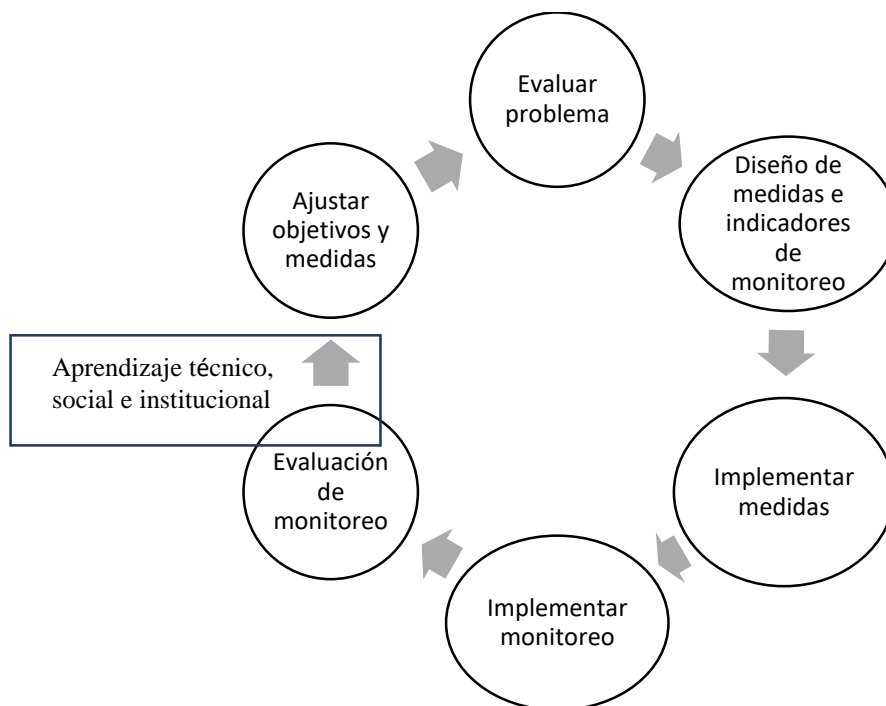
La decisión de cómo analizar los datos debe estar definida desde el momento que se selecciona las variables o recursos a monitorear y sus métodos. Desde el diseño del monitoreo se debe decidir el uso del indicador para generar línea base, probar una hipótesis o medir umbrales. Una vez implementada la medida, se pone en marcha el sistema de monitoreo, el cual será vital para determinar si el supuesto inicial es válido. Esta etapa es fundamental para establecer un manejo adaptativo, ya que si no se consiguen los resultados esperados (por ejemplo: disminución de erosión, incremento de cobertura forestal, aumento de acuerdos) puede significar que el planteamiento inicial está incompleto y que se requiere un análisis más profundo y probablemente el replanteamiento de la medida.

**7. Evaluar y reportar los resultados obtenidos.** Es importante evaluar los resultados en función de los objetivos y metas establecidas y así conocer si se está trabajando en el sentido deseado o si hubo elementos que no se consideraron en etapas anteriores. Reportar o compartir los resultados permitirá mostrar los avances

o logros obtenidos, así como replantear aspectos no considerados. De igual forma, permite sentar las bases para un monitoreo a largo plazo.

El aprendizaje no se circunscribe a la parte técnica del proyecto, sino que debe ampliarse a los aspectos sociales e institucionales de éste. Una correcta evaluación, a partir de los resultados del monitoreo, permitiría también reconsiderar la organización, la participación social, las redes de colaboración establecidas para implementar el monitoreo y analizar sus resultados.

**Figura 1.1** Esquema mostrando fases del manejo adaptativo



*Fuente: Elaboración propia*

### **Indicadores explicativos de la dinámica funcional de una cuenca**

Usualmente, el análisis de la dinámica funcional de una cuenca ha abordado los siguientes temas (Beechie et al., 2013; EPA, 2012):

- (i) las condiciones del paisaje/territorio: manejo de tierras, vegetación natural, conectividad
- (ii) los hábitats acuáticos: manantiales, ríos, humedales
- (iii) el régimen hidrológico: caudales, calidad del agua, alteraciones por construcciones, conectividad, condiciones biológicas
- (iv) la gobernanza: organizaciones participantes, confianza generada, población involucrada, continuidad a través de los gobiernos locales
- (v) la información para el monitoreo de las acciones.

En la literatura, pueden encontrarse indicadores que aborden estos temas y que pueden ser utilizados para un proceso de monitoreo.

### ***Indicadores de manejo de tierras***

La estructura de la cuenca es lo primero que se altera con la presencia humana a través del cambio de uso de suelo, la deforestación, la erosión de los suelos el sellamiento, entre otros. El impacto puede medirse a través de cada uno de estos cambios y también de manera acumulativa en la cuenca. Las cuencas tienen tres grandes zonas funcionales, con características específicas (Garrido et al., 2010). Dependiendo de la zona funcional donde se presente la alteración del o los ecosistemas, las consecuencias serán diferentes; por ejemplo, el sellamiento en la parte alta compromete la capacidad de infiltración de las cuencas y el nacimiento de los ríos, lo que tendrá un impacto acumulativo a lo largo de la cuenca. El

establecimiento de una presa de gran capacidad en su parte baja representa una amenaza directa a los humedales, manglares y dinámica costera (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1** Indicadores sugeridos para evaluar impacto de manejo de tierras

	<b>Criterio</b>	<b>Justificación</b>	<b>Método</b>	<b>Fuente</b>
Vegetación natural	Vegetación natural en la cuenca	La extensión y conectividad de la vegetación natural es importante para mantener la integridad ecológica. En la parte alta de la cuenca y a lo largo de los corredores riparios ayudan a mantener el régimen hidrológico, regula la entrada de nutrientes y provee hábitat para especies acuáticas	Vegetación natural (km <sup>2</sup> )/ Área de cuenca (km <sup>2</sup> )	So-Ra Ahn y Seog-Joon Kim (2017)
	Vegetación natural en la parte alta de la cuenca			
	Conectividad de parches de vegetación natural		Vegetación natural en la parte alta de la cuenca(km <sup>2</sup> )/ Área de cuenca (km <sup>2</sup> )	
Calidad de suelos	Áreas con indicios de sobrepastoreo	La compactación de los suelos disminuye su capacidad de infiltración, incrementando la escorrentía	Análisis semi-cuantitativo de rasgos de erosión (terracetas, pedestales, surcos)	<a href="#">Stocking y Murnagham (2001)</a>
	Cárcavas	Incremento de sedimentos en cuerpos de agua	Análisis semi-cuantitativo de volumen y peso de suelo perdido	<a href="#">Stocking y Murnagham (2001)</a>
	Suelo desnudo	Las áreas impermeables influyen en el incremento de sedimentos en cuerpos de agua, varían los patrones de escorrentía y disminuye infiltración. Ausencia de soporte para el crecimiento de vegetación natural	Área de suelo desnudo/área total	<a href="#">Stocking y Murnagham (2001)</a>
	Materia orgánica en suelos forestales	Incremento de capacidad de infiltración de agua en suelos, disminuye escorrentía y caudales pico	% materia orgánica en suelos forestales/ % materia orgánica en suelos forestales de referencia	Lal (2016)

	Materia orgánica en suelos agrícolas	Incremento de sedimentos en cuerpos de agua, disminuye riesgos de erosión	% materia orgánica en suelos agrícolas/ % materia orgánica en suelos agrícolas de referencia	Lal (2016)
Sellamiento	Caminos, asentamientos, construcciones	Aumenta superficie impermeable, incremento de escorrentía y de contaminantes	% de áreas selladas/área total de la cuenca	Rogers y DeFee (2005)

Fuente: Elaboración propia

### ***Indicadores de calidad de cuerpos de agua***

La población humana y su consumo continúa creciendo, llevando a niveles exorbitantes la demanda de agua, alimento, energía y bienes materiales (Postel y Richter, 2010). A nivel mundial, la principal amenaza de los ecosistemas de agua dulce es la alteración causada por actividades antrópicas en las cuencas (Johnson et al. 2019). Algunas de estas son la fragmentación de los ríos y de los ecosistemas riparios, lo que se expresa en el deterioro de hábitats acuáticos; el estado de los humedales y manantiales; la contaminación puntual y difusa de ríos; el cambio en la variabilidad temporal de los caudales; la densidad de presas; la extracción de material pétreo, y la calidad geomorfológica de los ríos. Estos síntomas impactan la disponibilidad y calidad del agua y modifican ciertas funciones de ecosistemas terrestres, como balances de carbono y nutrientes, emisión de gases de efecto invernadero y comprometen el mantenimiento de la biodiversidad acuática y la capacidad para proveer agua (Tabla 1.2).

**Tabla 1.2** Indicadores de calidad de cuerpos de agua

	<b>Criterio</b>	<b>Justificación</b>	<b>Método</b>	<b>Fuente</b>
Contaminación puntual	Puntos de descargas	Las descargas incorporan gran cantidad de nutrientes y contaminantes muy diversos a los cuerpos de agua	Puntos de descarga por longitud de arroyo	Garrido et al., 2010
Contaminación difusa	Áreas agrícolas con uso de agroquímicos	Los fertilizantes y pesticidas aportan concentraciones de nutrientes y contaminantes que cuando el suelo no los retiene se infiltran y percolan hacia cuerpos de agua (superficial y subterráneo)	% áreas agrícolas con uso de agroquímicos/áreas agrícola total	Cotler y González, 2010
Conexión dentro de cuenca	Conexión riparia entre parte alta y baja de la cuenca	Los ríos conectan y articulan a toda la cuenca, su integridad dependerá de la cooperación cuenca arriba y cuenca abajo	Acuerdos entre administraciones/organizaciones en parte alta y parte baja de la cuenca	Porzecanski, et al. (2012)
Ecosistemas riparios	Conectividad	La presencia, calidad y conectividad de ecosistemas riparios mejoran la calidad de agua y ofrecen condiciones para el mantenimiento de los componentes biológicos de los ríos	Conectividad de vegetación riparia por longitud de arroyo	Okamoto et al. (2016); Garrido et al. (2010)
	Calidad de la estructura vegetal en zonas riparias	Varía capacidad de retención de sedimentos y contaminantes, así como el hábitat para especies acuáticas, en términos de disponibilidad de tamaño de	Presencia de vegetación riparia nativa	Rogers y DeFee (2005)



		partículas, materia orgánica		
Hábitat acuático	N, P, coliformes, microbiológico	La modificación de la calidad del hábitat influye sobre la biodiversidad	Presencia de coliformes, N, P sobre Norma	EPA (2012)
	Macroinvertebrados			
Humedales	% de la cuenca ocupada por humedales	Los humedales influyen en los regímenes hidrológicos naturales, el hábitat y regula la calidad de agua	Área (km <sup>2</sup> ) de humedal natural en la cuenca/ área total de la cuenca (km <sup>2</sup> )	So Ahn et al. (2017)
Caudales	Variabilidad temporal y espacial	La variabilidad de los caudales son una respuesta tanto a la variabilidad climática como a los impactos de los usos de la tierra	Varios métodos (en función de datos)	Salinas (2011)
Manantiales	Variabilidad temporal	Los manantiales constituyen zonas de descarga de flujos subterráneos locales, por lo que indican la calidad de estas aguas	Volumen de agua/tiempo	MINAGRI (2015)
Presas	Densidad de presas	La infraestructura hidráulica segmenta y fragmenta los cuerpos de agua haciéndolos perder su conectividad. Modifica caudales y estacionalidad	Frecuencia: número de presas y bordos por largo de río/ total largo de ríos  Densidad: número de presas y bordos por cuenca/área de cuenca	Garrido et al. (2010)
Extracción de material pétreo	Volumen	Modifica el sustrato de ríos y arroyos y con ello modifica sus patrones y el hábitat	Volumen de material pétreo extraído /longitud de río	Garrido et al. (2010)
Calidad geomorfológica de ríos de referencia	Orden de corriente de ríos por cuenca	La geomorfología natural de los ríos expresa tanto hábitats terrestres como acuáticos a lo largo de la cuenca	Orden de corriente de referencia/Total longitud de corrientes en la cuenca  Se clasifican 4 tipos de corrientes*: Arroyos montañosos-orden 1: referencia Ríos angostos (órdenes 2-3): buen estado Ríos locales (órdenes 4-5): regular	So Ahn y Seog-Joon Kim (2017)

			Ríos urbanos (órdenes 6-9): pobres *Esta clasificación es necesaria adaptarla a las condiciones de cada cuenca	
--	--	--	---	--

Fuente: Elaboración propia

El deterioro de los ecosistemas disminuye la integridad de una cuenca, entendida como la capacidad para sostener y mantener un amplio rango de procesos y funciones ecológicas esenciales para la sustentabilidad de la biodiversidad y de los servicios que provee a la sociedad (Flotermersch et al., 2015; Revenga et al., 2000).

### ***Indicadores de impacto de ciudades en cuencas***

Actualmente, más de la mitad de la población mundial vive en ciudades (Dye, 2008) y se espera que para el 2050, este fenómeno aumente a más del 75 %. En las ciudades, el crecimiento de la población altera los ecosistemas inmersos en los centros urbanos, principalmente los cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas); ya sea sobreexplotándolos, contaminándolos, secándolos, fragmentándolos, desviándolos o entubándolos. Asimismo también altera los ecosistemas aledaños, al incrementar la demanda de recursos; tales como agua, alimentos, energía y debido a la generación de grandes cantidades de residuos. Se ha estimado que las ciudades requieren servicios ecosistémicos de áreas 500 a 1000 veces más grandes que el área que ocupan (Folke et al., 1997) (Tabla 1.3), lo que se traduce en externalidades negativas para toda la cuenca donde se localizan.

**Tabla 1.3** Indicadores de impacto de ciudades en dinámica de cuencas

	<b>Criterio</b>	<b>Justificación</b>	<b>Método</b>	<b>Fuente</b>
Impacto de la ciudad en la integridad de la cuenca	Zonas de crecimiento de los asentamientos (diferenciando las zonas funcionales de la cuenca)	El paisaje urbano influencia procesos en cuencas (inundaciones, extracción de agua, contaminación de cuerpos de agua)	Percepción remota: % de áreas urbanizada/Área total de la zona funcional	Rogers y DeFee (2005)
Presencia de sistema de tratamiento de agua y sitio de descarga	Tratamiento de aguas residuales	Los sistemas de tratamiento pueden disminuir cierta carga contaminante, permitiendo el re-uso del agua para otras actividades o como caudal ecológico	Caudal tratado /caudal generado	Bunge (2010); Dudula et al., 2016
Residuos sólidos	Ubicación y tipo confinamiento de residuos sólidos	Los residuos sólidos no manejados de manera apropiada constituyen una fuente de contaminación en los cursos de agua	Distancia de residuos sólidos a cuerpos de agua	Bunge (2010)

Fuente: Elaboración propia

### ***Indicadores de gobernanza***

Cada vez hay un mayor reconocimiento que, en gran medida, las causas principales del deterioro de las cuencas y de los recursos hídricos no son de naturaleza técnica ni natural, sino que, en términos generales, son de naturaleza social y política. Por ello, se considera que la crisis del agua es sobre todo una crisis de gobernanza (Pahl-Wostl et al., 2012) y que no puede ser atendida con manejos técnicos, procesos ingenieriles, despolitizados, sino que requiere esencialmente un profundo cambio político (Gupta et al. 2013).

En este proceso es importante entender los valores, las perspectivas culturales y las normas locales, sobretudo en un país como México, con gran diversidad cultural y étnica, dado que los conflictos de gobernanza están enraizados en valores que explican conductas y preferencias (Groenfeldt y Schmidt, 2013).

Dada la naturaleza de este tema, muchos de los indicadores propuestos se expresan de manera cualitativa (Tabla 1.4).

**Tabla 1.4** Indicadores de gobernanza

	<b>Criterio</b>	<b>Justificación</b>	<b>Método</b>	<b>Fuente</b>
Generación y divulgación de información	Generar y divulgar información	La generación y divulgación de información transparente y oportuna consolida confianza en instituciones y en el proceso	1. Generación de nueva información 2. Formas de divulgación de la información 3. Uso y apropiación de la información por otras organizaciones	Ostrom, 2005; Sabatier et al., 2005
Percepción sobre el trabajo colaborativo y su impacto en la condición de cuenca	Percepción sobre el trabajo colaborativo	La meta de todo manejo de cuenca es el trabajo colaborativo. Solo la implementación de medidas puede ser insuficiente, ya que éstas pueden estar mal diseñadas o fallar por eventos inesperados.	Encuestas: 1. Percepción social evaluada a partir de rangos (por ejemplo: -3 la colaboración empeora el problema; +3 la colaboración mejora la situación; 0: no hay cambios. 2. Severidad de la condición de la cuenca (evaluar de 0 a 100) $\Sigma$ de las respuestas sobre percepción social de la asociación* percepción de la condición de la cuenca/ $\Sigma$ percepción de la severidad de condición de la cuenca	Leach et al. 2002; Hardy y Koontz (2010)
Sectores participantes en planeación y gestión. Alianzas	Representantes apropiados en función del problema	Para los problemas identificados por la organización (y que buscan ser atendidos en el corto plazo), es importante contar con los interesados	Consenso sobre el diagnóstico, problemática y acciones necesarias en la cuenca	Cotler y Caire (2009), Hardy y Koontz (2010)

		(contraparte, causantes del problema o responsables de la solución)		
Estructuras de participación	Participación social efectiva	Actores en la cuenca participan activamente y con información en el proceso de toma de decisiones	Incremento en número, duración (tiempo) de organizaciones de base que expresen interés y preocupaciones (a partir de línea base)	Porzecanski et al. (2012).
Participación igualitaria	Igualdad en la participación de actores	Actores comparten el poder en el proceso de toma de decisiones	Presencia, magnitud y diferencias entre grupos de presión influyentes o grupos económicos, OSC, academia	Porzecanski et al. (2012).
Demanda ciudadana por integridad de cuenca	Exigencia ciudadana	La sociedad está informada, atenta e involucrada en temas ambientales y de gestión relacionadas con la cuenca	Participación pública activa en organizaciones, campañas y audiencias públicas que articulan las necesidades y demandas ambientales	Porzecanski et al. (2012).
Transparencia y rendición de cuentas	Transparencia	Los procesos de gestión son claros y accesibles para los interesados	Interacción entre el anejo y las organizaciones locales son fluidas y permanentes con reglas claras	Porzecanski et al. (2012).
Fortalecimiento/ creación de organizaciones para gestión de cuenca	Presencia institucional	La creación o el fortalecimiento de una organización representativa en la cuenca puede ayudar a la confluencia de sectores distintos, intereses y propuestas	1. Presencia de programa de manejo de cuenca/subcuenca elaborado de manera conjunta por todos los actores/sectores 2. Identificar las medidas que se toman para fortalecer o crear nuevas organizaciones en la cuenca	Cotler y Caire (2009)
Número de organizaciones con las que se ha generado más confianza	Fortalecimiento de trabajo colaborativo	La meta de todo manejo de cuenca es el trabajo colaborativo	1. Facilidad para obtener información de otras dependencias 2. Organización para coordinación de esfuerzos	Leach et al. (2002)

Fuente: Elaboración propia

Finalmente dada la complejidad del sistema socioecológico de una cuenca se recomienda tener indicadores tanto del tema ambiental, hidrológico y organizacional: la redundancia permitirá tener una idea más completa de la situación de la cuenca y hacer un seguimiento de las causas del problema.

### **Características del monitoreo en cuencas mexicanas**

En México, el 66 % de las cuencas presenta un grado de deterioro alto a extremo debido a la contaminación, la fragmentación de ríos y el deterioro de zonas riparias, la degradación de sus suelos, la pérdida de vegetación natural y la presión sobre los recursos hídricos. Como consecuencia, el 74 % de los ríos, lagos y embalses que monitorea la Conagua tiene diferentes grados de contaminación (CEMDA et al., 2006). La degradación de las condiciones ecológicas de las cuencas obliga al 81 % de la población mexicana a vivir en cuencas cuya degradación fluctúa entre medio a muy alto (Cotler et al., 2010).

Como se dijo anteriormente, la solución a estos problemas es principalmente de naturaleza social y política. En ese sentido, el funcionamiento de los Consejos de Cuenca, como instancias de coordinación y concertación entre la Conagua, las dependencias y entidades de las instancias de los tres niveles de gobierno y los representantes de los usuarios de una cuenca ha sido incipiente y figurativa (Auditoría Superior de la Federación, 2013). La creación de estas instancias de participación, creadas de arriba hacia abajo, hace difícil “la conformación de un ámbito que represente legítimamente al conjunto de intereses involucrados en la territorialidad” (Torregrosa et al., 2005: 17). Por ello, los indicadores de deterioro expresan el síntoma, pero no las causas que están relacionadas con la ausencia de gobernabilidad (incumplimiento de normatividad), la ausencia de información, la debilidad de las instituciones y la escasa representatividad en la toma de decisiones.

Para subsanar esta situación, muchos grupos organizados de la sociedad civil han emprendido diversos programas y acciones para mejorar las condiciones socioambientales de las cuencas. El origen de cada organización, sus capacidades técnicas e intereses explican muchas veces el enfoque utilizado para acercarse a los problemas de las cuencas atendidas. Entre sus actividades, todos estos grupos realizan trabajos de monitoreo de sus acciones (Cotler et al., 2022).

A través del análisis de los principales problemas socioambientales, los indicadores utilizados y el uso de este monitoreo, quisimos entender los objetivos, el aprendizaje obtenido y las posibilidades y obstáculos para llevar a cabo un manejo adaptativo en cuencas. A partir de entrevistas con el personal de cada OSC y recorridos de campo, analizamos los sistemas de monitoreo utilizado por ocho Organizaciones de la Sociedad Civil (OSC) (Figura 1.2) que implementan programas de manejo en cuencas: (i) establecimos categorías del monitoreo en función de su propósito, (ii) identificamos los aprendizajes y (iii) discutimos la pertinencia, posibilidades y obstáculos para transitar hacia un manejo adaptativo.



Figura 1.2 Ubicación de los casos de estudio. Fuente: Elaboración propia

Entre los principales resultados, se pudo observar que muchas veces la priorización de los problemas identificados fue cambiando en función de la problemática del territorio, así como el interés particular de cada organización. Los principales temas abordan la conservación de hábitats, ordenamientos territoriales, conservación de aves, defensa del territorio ante actividades mineras y problemas particulares como erosión de suelos por sistemas ganaderos, uso excesivo de pesticidas, calidad de agua o restauración de ríos.

En los casos analizados, el monitoreo es realizado de diversas maneras: por las OSC con investigadores; otras veces generando sinergias entre varias OSC, con la participación de instituciones académicas y la población local (ejidatarios, estudiantes) o bien entre OSC y organismos locales de agua. Estas estrategias resultan eficientes, ya que se aprovechan las fortalezas de cada institución,



atenuando la falta de personal y de recursos. Por otro lado, el vínculo e interés común entre las OSC y las instituciones académicas posibilitan el establecer un diseño de monitoreo diverso y sólido; finalmente, se incorpora a la población local, con lo que se fomenta la apropiación de los problemas y sus resultados.

Los sistemas de monitoreo se pudo agrupar en tres ámbitos distintos: (i) como conocimiento básico del funcionamiento de la cuenca, (ii) para divulgar y capacitar y, (iii) para proponer y evaluar el impacto de las acciones. A continuación (Tabla 1.5), se presentan algunos de los temas, métodos y uso de resultados.

**Tabla 1.5** Indicadores utilizados en casos de manejo de cuencas analizados

<b>Uso de indicadores</b>	<b>Tema</b>	<b>Método</b>	<b>Uso de resultados</b>
<b>Conocimiento básico</b>	Erosión de suelos	Parcelas de escorrentía con distintos usos	Calibrar modelo SWAT
	Fauna	Monitoreo de aves, osos, guajolotes, halcón peregrino mediante transectos, cámaras fijas, collares	Identificación de sitios de reproducción, mantener registros, evaluar calidad de hábitat
	Áreas incendiadas	Monitoreo de especies incendiadas	Analizar impacto de incendios forestales naturales sobre la diversidad florística
	Germosplasma	Monitoreo de fechas de germinación de especies identificadas	Conocimiento de dinámica de la vegetación
<b>Divulgar y capacitar</b>	Erosión de suelos	Clavos y rondanas en 10 parcelas con PSA	Los datos resultantes de erosión se utilizaron para dialogar con ejidatarios
	Carga y salud animal	Medición de índice agostadero y salud de animales	Sensibilizar a ganaderos sobre salud del ganado
	Infraestructura verde en ciudades	Monitoreo mediante fotografías de prácticas establecidas	Módulo demostrativo de prácticas
	Calidad de agua superficial	Monitoreo de calidad de agua en ríos donde se hizo reforestación riparia mediante método Global Water Watch	Explicación de enfermedades gastrointestinales en pobladores ribereños y propuesta de modificación de sitios de abastecimiento de agua para consumo humano

		Monitoreo en microcuencas con predios en PSA	Desmitificar percepciones de contaminación de agua
		Parámetros físicos y bacteriológicos en zonas de recreación y de ganadería	Explicar eventos de mortandad de peces; mostrar necesidad de exclusión de ganado
	Calidad de suelos	Evaluación del croma	Discusión sobre aptitud de cultivos
<b>Proponer y evaluar impacto de acciones</b>	Conservación de suelos	Evaluación de acumulación de sedimentos en presas de piedra acomodada	Probar eficiencia de acciones implementadas
		Evaluación de coeficiente de escurrimiento en zonas con obras de conservación	
	Salud de vegetación	Monitoreo de descortezadores: trampas de captura con feromonas	Identificar métodos efectivos de control
		Parcelas demostrativas de heno con distintos tratamientos químicos	
	Cambio de uso de suelo	Percepción remota de distintas fechas	Datos compartidos con comité de vigilancia para corregir y controlar crecimiento urbano
	Zonas de conservación	Parcelas permanentes de monitoreo (árboles, relieve, regeneración)	Evaluar permanencia de propietario en programa
	Calidad de agua	Monitoreo de agua de reuso proveniente de agricultura	Identificar tipos de tratamientos necesarios
	Calidad de agua subterránea	Evaluar agua de pozos influenciadas por zonas urbanas	Resultados permiten identificar ecotecnias  Mediante trabajo con Consejo de Cuenca, se puso una planta potabilizadora de arsénico Elaborar materiales de divulgación
		Monitoreo de metales pesados (especialmente arsénico y plomo)  Monitoreo bacteriológico de manantiales	
Calidad de agua en lagos	Evaluación de parámetros físico, químicos y biológicos	Resultados compartidos con autoridades permitieron el cierre de sitios de descargas	
Vegetación riparia	En parcelas demostrativas, monitoreo de especies sembradas (datos fenológicos)	Identificar especies para reforestar en otros sitios	
Acuerdos de conservación	Hojas de evaluación en los predios con apoyo	Valida acuerdos establecidos en comité de cuenca	

Fuente: Elaboración propia

Derivado del análisis realizado, se puede observar que generalmente los monitoreos se establecen con una utilidad distinta al esclarecimiento de la incertidumbre o la prueba de supuestos en campo. La gran mayoría de los esfuerzos está encaminado a la capacitación y a la identificación de alternativas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, la implementación de las acciones se realiza sin un supuesto claro y sin establecer umbrales; por lo tanto, los resultados del monitoreo rara vez permiten saber si las acciones elegidas fueron las correctas.

En general, los sistemas de monitoreo tienen una duración corta, muchas veces determinada por la ausencia de un financiamiento seguro y estable a lo largo del tiempo, la falta de personal con conocimientos sobre el tema y la inseguridad socio política. Esta inestabilidad puede explicar que, prácticamente en ningún caso, los resultados del monitoreo han permitido que las OSC retroalimenten su diagnóstico y revisen sus objetivos.

A pesar de las limitaciones en el monitoreo, el gran esfuerzo que se realiza ha permitido ciertas enseñanzas mostradas en la Tabla 1.6.

**Tabla 1.6** Aprendizajes obtenidos de los sistemas de monitoreo en los casos de estudio

<b>Ámbito de monitoreo</b>	<b>Resultados</b>
<i>Sistema ganadero</i>	El monitoreo ayudó a reconocer que no necesitaban eliminar 50 % del ganado como lo tenían planeado, solo era necesario restringir las zonas de pastoreo
<i>Análisis de agua</i>	La experiencia de monitoreo de agua los convenció de construir un laboratorio de análisis de calidad del agua para asegurar datos y así generar ingresos extras
<i>Reforestación</i>	A partir de los datos sistematizados observaron que no era necesario reforestar sino conservar y proteger la buena cobertura vegetal que tienen, eso los llevó a replantar algunas acciones y objetivos
	Modificaron diseño de reforestación al darse cuenta que la tasa de supervivencia de los árboles plantados era muy baja
<i>Calidad de agua</i>	Los datos mostraron que las colonias más pobres son las que tienen la peor calidad del agua, por lo que ampliaron la red de muestreo de calidad para consumo humano
<i>Conservación de suelos</i>	A partir de la experiencia de monitoreo en una región, se observó la importancia de contar con una línea base para su nuevo proyecto, así poder medir y monitorear con mejores elementos y criterios las actividades realizadas
<i>Restauración ecológica</i>	Resultados del monitoreo mostraron el incremento de aves tropicales que habían estado ausentes en la Sierra por muchos años, lo que les sugirió una recuperación del ecosistema. Así mismo, gracias al monitoreo se determinó que en el caso de <i>Pseudotsuga</i> , una especie de conífera de altura, no era un insecto que la estaba afectando, sino era la sequía prolongada.

Fuente: Elaboración propia

En los territorios, los procesos de manejo de cuenca se ubican en álgidos contextos de conflicto, resistiendo la presencia de grupos delictivos, enfrentando la

descoordinación entre dependencias, la corrupción, la degradación de ecosistemas, el abandono del campo y la desconfianza, entre muchos otros problemas. Esta gran diversidad de obstáculos debe permitirnos repensar la pertinencia y el tipo de monitoreo necesario para cada caso y su propósito. Algunas enseñanzas que pueden obtenerse de los casos de estudios son:

- Dado el esfuerzo que requieren los sistemas de monitoreo, estos deberían ir dirigidos hacia temas poco conocidos donde haya pocas experiencias sobre los resultados de las propuestas de manejo y a aquellos que planteen incertidumbres.
- Dado el tamaño y la complejidad de cada cuenca, el establecer experimentos puntuales no resulta siempre útil, ya que su extrapolación será complicada. Para algunos temas, como erosión de suelos, el uso de métodos cualitativos o semicuantitativos (por ejemplo, estacas) (cfr. Cotler, 2020) es suficientemente didáctico para ejemplificar los impactos de los usos de la tierra sobre la calidad del suelo a los pobladores locales.
- El conocimiento de los pobladores locales, con amplia experiencia en “prueba y error”, puede convertirse en un elemento esencial para agilizar el manejo adaptativo. Incluir a los pobladores locales en el diseño, implementación y evaluación del monitoreo puede abrir camino para un

entendimiento conjunto a la respuesta de las prácticas de manejo y a una apropiación de las mismas.

- Involucrar desde un inicio a pobladores y comunidades locales permite también generar mayor confianza entre las OSC, las comunidades y las dependencias con las que interactúan.
- Ante la ausencia de un diagnóstico y un entendimiento claro del problema no debe implementarse ninguna medida irreversible (como zanjas, presas, construcciones en general).
- La sinergia con centros de investigación o universidades puede ayudar a reducir costos, ampliar el personal durante la etapa de recolección de muestras y fortalecer el proceso de sistematización y análisis de los resultados.

## **Conclusiones**

El conocimiento limitado que se tiene de la cuenca como sistema socioecológico conlleva a que cualquier intervención ocurra en un contexto de gran incertidumbre. En caso de ignorarla, se puede dar pie a acciones inadecuadas, basadas en supuestos equívocos. Ante esta paradoja, surge el manejo adaptativo como una respuesta ante la necesidad de tomar decisiones de manejo bajo condiciones de incertidumbre. Sin embargo, el monitoreo no debe verse como un fin en sí mismo,

independiente del manejo de cuencas, sino como una acción que permea y refuerza todo el proceso.

El monitoreo como un ejercicio colaborativo, con múltiples actores y beneficiarios, resulta más eficiente y con mayores posibilidades de adopción. La posibilidad de mantenerlo a lo largo del tiempo dependerá en gran medida del compromiso de las fuentes financiadoras. El análisis de los sistemas de monitoreo de ocho casos de manejo de cuenca muestra sus distintos enfoques y propósitos: tener conocimiento básico del funcionamiento de procesos en la cuenca, obtener información para capacitar e identificar acciones de manejo. No obstante, en muy pocos casos el monitoreo está diseñado a partir de una línea base, para probar supuestos de las acciones que son implementadas.

En el contexto sociopolítico en el cual están inmersos los procesos de manejo de cuencas, se deben tomar decisiones de manera rápida, tanto para responder a los financiadores como para mantener las relaciones de confianza con organismos gubernamentales y con los actores locales. En ese contexto, el monitoreo para establecer un manejo adaptativo es necesario en caso de incertidumbre de una situación o en la respuesta de una medida en particular. Priorizar los temas que deben monitorearse permitirá encauzar mejor los recursos humanos y económicos y le podría dar un mayor sentido a este esfuerzo.

## Agradecimientos

Las autoras agradecemos al Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza A.C por el financiamiento del proyecto “Propuesta de Indicadores de impacto para los proyectos del Programa Cuencas y Ciudades” (2018).

## Bibliografía

- Allen, R.C., Gunderson, H. L. (2011) Pathology and failure in the design and implementation of adaptive management. *Journal of Environmental Management* 92, 1379-1384. DOI: [10.1016/j.jenvman.2010.10.063](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.063)
- Auditoría Superior de la Federación (2013). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública*. Auditoría de Desempeño: Comisión Nacional del Agua - Preservación del Agua en Cantidad 13-0-16B00-07-0144, México. [https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2013i/Documentos/Auditorias/2013\\_0143\\_a.pdf](https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2013i/Documentos/Auditorias/2013_0143_a.pdf)
- Beechie, T; Richardson, J.S., Gurnell, A.M., Negishi, J. (2013) Watershed processes, human impacts and process-based restoration. En: P. Roni, Beechie T. (eds) *Stream and watershed restoration: a guide to restoring riverine processes and habitats*. Wiley-Blackwell, Chichester UK, 11-49.
- Benson, M. H., Garmestani A. S. (2011). Embracing panarchy, building resilience and integrating adaptive management through a rebirth of the National *Environmental Policy Act*. *Journal of Environmental Management* 92, 1420-1427. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.011>
- Block, M. W., Franklin, B. A., Ward, J.P., Ganey, J.L., White, G.C. (2001). Design and implementation of monitoring studies to evaluate the success of ecological restoration on wildlife. *Restor. Ecol.* 9, 293-303. DOI: [10.1046/j.1526-100x.2001.009003293.x](https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2001.009003293.x)
- Bunge, V. (2010) El estado de saneamiento en las cuencas de México. En: Cotler H. (Coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*, 92-95 pp. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P.
- CEMDA-Fondo de Educación Ambiental-Fundación Heinrich Böll (2006) *El agua en México: los que todas y todos debemos saber*. Disponible en : [www.agua.org.mx](http://www.agua.org.mx).



- Cotler H., Caire G. (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología- Fondo Mundial de la Naturaleza (WWF). [https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/04/lecciones\\_aprendidas\\_del\\_manejo\\_de\\_cuencas\\_en\\_mexico.pdf](https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2013/04/lecciones_aprendidas_del_manejo_de_cuencas_en_mexico.pdf)
- Cotler H. (Coord.) (2010). *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización*. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P. México, 231p. <https://agua.org.mx/biblioteca/las-cuencas-hidrograficas-de-mexico-diagnostico-y-priorizacion/>
- Cotler H., González I.D. (2010). Contaminación potencial difusa por actividad agrícola En: Cotler H. (Coord.) *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*, 120-123. Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Rio Arronte I.A.P.
- Cotler H. (2020) *Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales*. Fondo Mexicano de Conservación de la Naturaleza- Centrogeo, México, 44 p. [https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Manual\\_de\\_Suelos\\_v1.5\\_dobles\\_opt.pdf](https://fmcn.org/uploads/publication/file/pdf/Manual_de_Suelos_v1.5_dobles_opt.pdf)
- Cotler, H., Cuevas, M.L., Landa, R., Frausto, J.M. (2022). Environmental Governance in Urban Watersheds: The Role of Civil Society Organizations in Mexico. *Sustainability* 14, 988. DOI: [10.3390/su14020988](https://doi.org/10.3390/su14020988)
- Doremus, H., William, L. A., Camacho, A., Farber, D.A., Glicksman, R.L., Goble, D., Bradley, C. K., Rohlf, D., Tarlock, A.D., Zellmer S.B., Jones, S., Yee, H. (2011) *Making good use of adaptive management*. Center for Progressive Reform, 20 p.
- Dudula, J., Randhir, O.T. (2016). Modeling the influence of climate change on watershed systems: adaptation through targeted practices. *Journal of Hydrology* 541, 703-713. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.07.020>
- Dye, C. (2008) Health and Urban Living. *Science* 319 (5864):766-769. DOI: [10.1126/science.1150198](https://doi.org/10.1126/science.1150198)
- EPA (United States-Environmental protection Agency) (2012) *Identifying and protecting healthy watersheds*. Washington D.C. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/hwi-watersheds-foreword.pdf>.
- Flotermersch, J., Scott, L. et al. (2015). A watershed integrity definition and assessment approach to support strategic management of watersheds. *River Research and Applications*, 1-18. DOI: [10.1002/rra.2978](https://doi.org/10.1002/rra.2978)

- Folke, C., Jansson, A., Larsson, J., Costanza, R. (1997) Ecosystem appropriation by cities. *Royal Swedish Academy of Sciences* 26 (3), 167-172. <http://www.jstor.org/stable/4314576>
- Garrido, A., Cuevas M.L., Cotler, H., González, D.I., Tharme, R. (2010). Evaluación del grado de alteración ecohidrológica de los ríos y corrientes superficiales de México. *Investigación Ambiental* 2 (1), 25-46.  
<https://biblat.unam.mx/es/revista/investigacion-ambiental-ciencia-y-politica-publica/articulo/evaluacion-del-grado-de-alteracion-ecohidrologica-de-los-rios-y-corrientes-superficiales-de-mexico>
- Gregory, R., Ohlson, D., Arvai, J., (2006). Deconstructing adaptive management: criteria for applications to environmental management. *Ecological Applications* 16, 2411-2425. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2006\)016\[2411:DAMCFA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2006)016[2411:DAMCFA]2.0.CO;2)
- Groenfeldt, D., Schmidt, J. (2013). Ethics and water governance. *Ecology and Society*, vol. 18 (1), 1-14.  
<https://www.jstor.org/stable/26269262>
- Gupta, J., Pahl-Wostl, C., Zondervan, R. (2013). “Glocal” water governance: a multi-level challenge in the Anthropocene. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5, 573-580. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2013.09.003>
- Hardy, D.S., Koontz, M.T. (2010). Collaborative watershed partnerships in urban and rural areas: different pathways to success? *Landscape and urban planning* 95, 79-90. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2009.12.005](http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.005)
- He, C., Malcolm, S.B., Dahlberg, A.K., Fu B. (2000) A conceptual framework for integrating hydrological and biological indicators into watershed management. *Landscape and Urban Planning* 49 (1-2), 25-34. DOI: [10.1016/S0169-2046\(00\)00047-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00047-5)
- Holling, S.C. (1978) *Adaptive environmental assessment and management*. International Series on Applied Systems Analysis, Wiley & sons, 377 p.
- Johnson, C., Scott, G., Leibowitz, R., Hill A. (2019) Revising the index of watershed integrity national maps. *Science of the Total Environment* 651, 2615-2630. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.112>
- Lal, R. (2016) Soil health and carbon management. *Food and energy security* 5(4), 212-222. DOI: [10.1002/fes3.96](http://dx.doi.org/10.1002/fes3.96)
- Leach, W., Pelkey N.W., Sabatier, A.P. (2002). Stakeholder partnerships as collaborative policymaking: evaluation criteria applied to watershed management in California and Washington. *Journal of Policy Analysis and Management* 21 (4), 645-670.  
DOI: [10.1002/pam.10079](http://dx.doi.org/10.1002/pam.10079)

- Maass, J. M., Cotler, H. (2007). Protocolo para el manejo de ecosistemas en cuencas hidrográficas. En: Cotler H. (Compiladora) *Manejo integral de cuencas en México. Estudios y reflexiones para orientar la política ambiental*. 2da Edición, Instituto Nacional de Ecología, México, 41-58. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2008/06/El-Manejo-Integral-de-Cuencas-en-Mexico-segunda-edición.pdf>
- Mayer, A., Winkler, R., Fry, L. (2014) Classification of watersheds into integrated social and biophysical indicators with clustering analysis. *Ecological indicators* 45, 340-349. DOI: [10.1016/j.ecolind.2014.04.030](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.04.030)
- McFadden, E. J., Hiller, L.T., Tyre, J.A. (2011) Evaluating the efficacy of adaptive management approaches: Is there a formula for success? *Journal of Environmental Management* 92 (2011), 1354-1359. DOI: [10.1016/j.jenvman.2010.10.038](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.038)
- Ministerio de Agricultura y riego (MINAGRI) (2015). *Medición de Agua*, Manual n° 5, Lima-Perú. Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- Okamoto, M., Texeira, L.A., Moschini, E.L., de Oliveira, K.A. (2016). Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 216, 333-339. DOI: [10.1016/j.agee.2015.10.016](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.016)
- Ostrom, E. (2005) *Understanding institutional diversity*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Pahl-Wostl, C., Lebel, L. et al. (2012) From applying panaceas to mastering complexity: toward adaptive water governance in rivers basins. *Environmental Science & Policy*, 23, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.014>
- Porzecanski, I., Saunders, L.V., Brown, M.T. (2012) Adaptive Management Fitness of Watersheds. *Ecology and Society* 17(3), 29. <https://www.jstor.org/stable/26269090>
- Postel, S., Richter, B. (2010). *Ríos para toda la vida: la gestión del agua para las personas y la naturaleza*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático-The Nature Conservancy. Pág 40. Disponible en: <http://cambioclimatico.gob.mx:8080/xmlui/handle/publicaciones/210>.
- Revenga, C., Brunner, J., Henninger, N., Kassem, K., Payne, R. (2000). *Pilot Assessment of Global Ecosystems: Freshwater Systems*. World Resource Institute. USA. 78 P. Disponible en: <https://www.wri.org/publication-series/pilot-analysis-global-ecosystems>.

- Rogers, O.G., DeFee, B.B. (2005) Long-term impact of development on a watershed: early indicators of future problems. *Landscape and Urban Planning* 73 (2-3), 215-233. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.11.007>
- Sabatier, P.A., Focht, W., Lulbell, M., Trachtenberg, Z., Vedlitz, A., Matlock, M. (eds) (2005). *Swimming upstream: collaborative approaches to watershed management*. MIT Press, Cambridge.
- Salinas, S. (2011) *Guía rápida para la determinación de caudales ecológicos*. Fundación Gonzalo Rio Arronte-WWF-CONAGUA  
Disponibile en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/GUIA.pdf>
- So-Ahn, R., Kim S.J. (2017). Assessment of watershed health, vulnerability and resilience for determining protection and restoration priorities. *Environmental modelling & software* 1-19. DOI: [10.1016/j.envsoft.2017.03.014](https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.014)
- Stocking, M.A., Murnagham, N. (2001) *Handbook for the field assessment of land degradation*. Earthscan, London
- Torregrosa, M.L., Paré, L. et al. (2005) Administración del agua. En: Jimenez Blanca, Torregrosa Maria Luisa, Aboites Luis (eds) *El agua en México: cauces y encauces*. Academia Mexicana de Ciencias- CONAGUA, 595-620pp.  
<https://www.coniunctus.amc.edu.mx/libros/El%20aguaenMexicocaucesyencauces.pdf>
- Walters, C. (1997). Challenges in adaptive management of riparian and coastal ecosystems. *Conservation Ecology* 1(2), 1.  
<http://www.consecol.org/vol1/iss2/art1/>
- Williams, K. B., Brown, D.E. (2014) Adaptive Management: From More Talk to Real Action *Environmental Management* (2014) 53, 465-479. doi: [10.1007/s00267-013-0205-7](https://doi.org/10.1007/s00267-013-0205-7)

# CUENCAS, ACUÍFEROS Y RESERVAS DE AGUA: UNA RELACIÓN COMPLEJA. ESTUDIO CASO. USUMACINTA

Iris Neri-Flores<sup>1</sup>

Everardo Barba-Macías<sup>2</sup>

Patricia Moreno-Casasola<sup>3</sup>

Raúl Pineda-López<sup>4</sup>

Dulce Infante-Mata<sup>5</sup>

Sergio Salinas-Rodríguez<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Profesora-Investigadora. Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Mérida:  
[iris.neri@enesmerida.unam.mx](mailto:iris.neri@enesmerida.unam.mx)

<sup>2</sup>Investigador. Manejo sustentable de cuencas y zonas costeras, ECOSUR, unidad Villahermosa.  
[ebarba@ecosur.mx](mailto:ebarba@ecosur.mx)

<sup>3</sup>Investigador. Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. UAQ. [rufuspinedal@gmail.com](mailto:rufuspinedal@gmail.com)

<sup>4</sup>Investigadora. Ecología Funcional. Instituto de Ecología AC: [patricia.moreno@inecol.mx](mailto:patricia.moreno@inecol.mx)

<sup>5</sup>Investigadora. ECOSUR. Unidad Tapachula. [dinfante@ecosur.mx](mailto:dinfante@ecosur.mx)

<sup>6</sup>Investigador. ECOSUR. Unidad Villahermosa.: [ssalinas@ecosur.mx](mailto:ssalinas@ecosur.mx)

## Resumen

Las interacciones entre aguas subterráneas y superficiales son complejas y deben ser consideradas como elementos unificados de un continuo hidrológico. En México, para fines de gestión, se ha dividido el territorio nacional en 757 cuencas hidrológicas y 653 acuíferos. Las cuencas están definidas principalmente por la topografía de la zona y los acuíferos por límites convencionales, por lo que sus

límites espaciales son diferentes y esto hace más compleja su gestión. En 2018, se decretaron 13 reservas de agua que garantizan un volumen de agua para el ambiente que protege el 55 % del agua superficial como caudal ecológico y dota de seguridad hídrica a 45 millones de habitantes para su consumo humano. Sin embargo, es importante considerar para su manejo, la interacción con los sistemas de acuíferos. El objetivo de este trabajo es describir el contexto de la situación de reservas de agua en México e identificar la configuración de la red de flujo subterráneo con base en datos de piezometría y muestreos realizados en campo utilizando como estudio de caso el trabajo de caudal ecológico del río Usumacinta. La red de flujo subterráneo regional muestra una zona de recarga en la cuenca Lacantún, de almacenamiento en Catazajá y de descarga en Tres Brazos. Los flujos subterráneos locales tienen una variación estacional en donde el nivel del agua subterránea incrementa hasta 2 m entre la época de lluvias y secas, por lo que los acuíferos contribuyen al mantenimiento de los ríos y cuerpos de agua superficiales. Para una mejor gestión del agua, es necesario integrar el manejo agua superficial y agua subterránea, así como trabajar bajo una visión de socio-ecosistema.

**Palabras clave:** flujos locales, interacción agua superficial-subterránea, caudal ecológico.

### **Antecedentes**

Las interacciones entre aguas subterráneas y superficiales son complejas y deben ser consideradas como elementos unidos de un continuo hidrológico (Sophocleus, 2002). En particular, el agua subterránea es un elemento sustancial para la vida vegetal, ecosistemas como los humedales, la fauna y el ser humano, incluyendo la

seguridad alimentaria, con implicaciones sociales debido a su uso y aprovechamiento. La noción de socioecosistema está en la base de la vinculación entre los ecosistemas y la sociedad, donde el agua es un vínculo esencial entre todos estos elementos. El movimiento de agua en el subsuelo influye en zonas de recarga y descarga que actúa como agente geológico, además de tener una dimensión temporal; es decir, los flujos subterráneos locales se mueven a escala de días-años, los intermedios de décadas, siglos y los regionales en milenios (Toth, 1999). En la figura 2.1, se presenta un esquema de funcionamiento hidrogeológico.

**Figura 2.1** Movimiento del agua subterránea en el subsuelo



Fuente: <https://water.usgs.gov/gotita/earthgwdecline.html>

Este ciclo natural va mucho más allá de las condiciones y fases naturales que le confieren los estudios físicos, pues, en la circulación, el agua puede ser también una fuente de conflicto social y político que tiene una relación directa con los procesos encaminados a su apropiación, uso, distribución y organización social

(Hatch-Kuri,2017). El uso humano del agua y su gestión afectan dónde se almacena, cómo se mueve y qué tan limpia se encuentra (Corson-Dosch,2022).

En México, para fines de gestión se ha dividido el territorio nacional en 757 cuencas hidrológicas y 653 acuíferos. Según la Ley de Aguas Nacionales (DOF, 2020a), la cuenca hidrológica se define como el “territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien, el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que desemboquen en el mar” (Art.3,XVI) y los acuíferos como “cualquier formación geológica o conjunto de formaciones geológicas hidráulicamente conectadas entre sí, por las que circulan o se almacenan aguas del subsuelo que pueden ser extraídas para su explotación, uso o aprovechamiento y cuyos límites laterales y verticales se definen convencionalmente para fines de evaluación, manejo y administración de las aguas nacionales del subsuelo” (Art.3,II). Desde el año 2012, la Comisión Nacional del Agua en coordinación con la Alianza entre el Fondo Mundial para la Naturaleza (*World Wildlife Fund, WWF*) y la Fundación Gonzalo Río Arronte (FGRA) y el apoyo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas implementaron un nuevo modelo de manejo del agua en México a través del Programa Nacional de Reservas de Agua (PNRA) para el ambiente (Barrios Ordóñez et al., 2015).

La reserva de agua para el ambiente consiste en un volumen del total del susceptible de concesión en una cuenca, que se destina a una función exclusiva, en este caso para protección ecológica, determinada mediante un estudio de caudal ecológico.



Por lo anterior, cualquier asignación de agua al ambiente debe garantizar la variabilidad del régimen hidrológico; es decir, cómo contribuyen los gastos estacionales a mantener diferentes procesos ecológicos y servicios aportados por el ecosistema (Barrios Ordóñez et al., 2015).

La determinación de caudal ecológico se establece a través de la NMX-AA-159-SCFI-2012 y este se define como “la calidad, cantidad y régimen del flujo o variación de los niveles de agua requeridos para mantener los componentes, funciones y procesos de los ecosistemas acuáticos epicontinentales” (DOF, 2012, p. 5). Actualmente es una norma voluntaria y, a la fecha a través del PNRA, se han generado y sistematizado suficientes experiencias para actualizarla y robustecerla de forma que se garantice su tránsito hacia la obligatoriedad (Salinas-Rodríguez et al., 2018, 2021 y 2022).

Entre 2014-2018, México publica el establecimiento de 13 reservas de agua para la protección ecológica, uso doméstico y generación de energía hidroeléctrica sostenible que contribuyen de manera significativa a garantizar los derechos humanos a un medio ambiente sano y al agua; además, garantizan el volumen de agua para el ambiente, protegen 55 % del agua superficial como caudal ecológico y a su vez a 45 millones de habitantes para su consumo humano (WWF, 2018). Este logro se plantea como un nuevo modelo de manejo del agua en nuestro país; sin embargo, un sector de la población lo entendió como un paso a favor de la privatización del agua para favorecer intereses económicos industriales.

Por lo anterior, el 24 de agosto de 2018, se convocó a un foro Nacional para la Red de Apoyo Universitario para la operación de las Reservas de Agua en México. En este, se propuso la organización de la Red de Monitoreo de Reservas de Agua (REDMORA) y solicitar el apoyo de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES). El 26 de noviembre de 2018, en el seno del consejo nacional de la ANUIES, quedó reconocida como red nacional, formada por personal de universidades públicas y centros de investigación en 20 estados que cubren las reservas de agua del país. Posteriormente, se decidió que la red interviniera con proyectos de incidencia en cinco de las reservas donde se concentraba una mayor experiencia: Costa de Jalisco, San Pedro Mezquital, Pánuco, Papaloapan y Usumacinta. Estos fueron representados por coordinadores de Universidad de Guadalajara (UDG), Centro Interdisciplinario de Investigaciones para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN), Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), Instituto de Ecología A.C. (INECOL) y El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), respectivamente (REDMORA, 2018).

A pesar de que en 2019 se publicaron los lineamientos para incluir los volúmenes no comprometidos de aguas nacionales superficiales con el objeto de reglamentar su uso y no comprometa el objetivo de las reservas ni los derechos de particulares, en 2022 se derogaron dos de los decretos que agrupan cuencas en la Costa Chica de Guerrero y los ríos Actopan y Antigua para que el agua continuara en situación de veda (DOF 2019, 2022ab). La Ley de Aguas Nacionales (LAN) establece que “la cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión del recurso hídrico” (Art.3, XVI), por lo que es importante considerar su interacción con

los sistemas acuíferos, ya que los límites espaciales son diferentes. Para fines de la administración de las aguas nacionales, mediante instrumentos de concesión y asignación de derechos para su uso, se establece el término de disponibilidad de agua superficial y disponibilidad de aguas subterráneas, según la NOM-011-CONAGUA-2015.

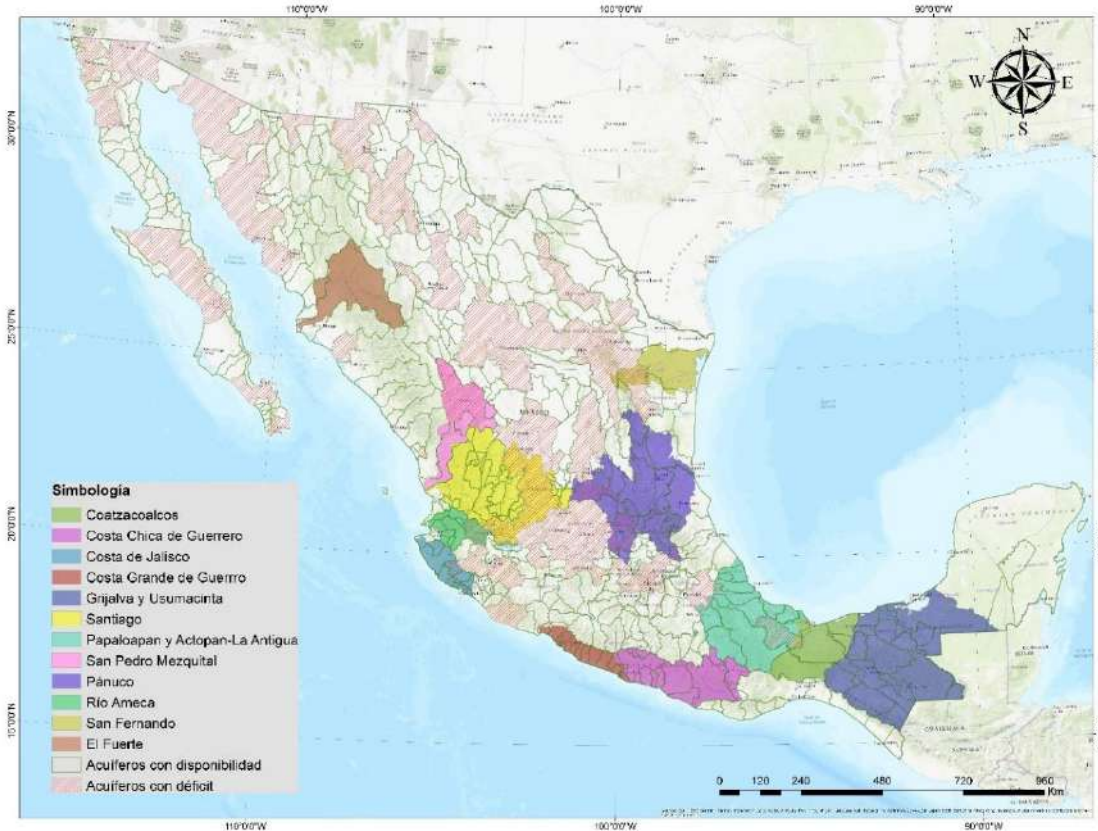
La condición de déficit de aguas subterráneas ocurre cuando la extracción supera la recarga. Así en la Reserva de San Pedro Mezquital, existen 5 acuíferos en condición de déficit: Vicente Guerrero (1004), Madero-Victoria (1005), Valle de Guadiana (1003) y Valle de Canatlán (1002). En la Reserva de Santiago, existen 22 acuíferos en condición de déficit: Toluquilla (1402), Cajitlán (1403), Poncitlán (1404), Encarnación (1422), Lagos de Moreno (1410), El Muerto (1411), Villanueva (3211), Jérez (3205), Valle de Juárez (1440), Ojo Caliente (3212), Valle de Aguascalientes (102), Valle Chicalote (102), Valle Calvillo (105), Altos de Jalisco (1403), Atemajac (1401), Arenal (1436), Poncitlán (1404), Cuquío (1446), Jalostotitlán (1415), Valle de Guadalupe (1416), Tepatitlán (1414).

En la Reserva Río Ameca, el acuífero Ameca (1409) tiene condición de déficit. En la Reserva de Costa de Jalisco, se cuenta con cuatro acuíferos con déficit: La Huerta (1430), Cihuatlán (1433), Santiago-Salagua (609), Jalipa-Tapeixtles (608). Misma condición se encuentra en la Reserva San Fernando: el acuífero Citrícola Sur (1914) y el acuífero Hidalgo-Villagrán (2803). En el mismo sentido, en la Reserva de Pánuco, se enlistan cinco acuíferos: Jaral de Berrios-Villa de Reyes (2412), Santa Ma. Del Río (2417), Tolimán (2207), V. San Juan del Río (2203), Huichapan-

Tecoautla (1307); también podemos mencionar la Reserva Papaloapan el acuífero del Cuenca Río Papaloapan (3019). En la Reserva Costa Grande de Guerrero, el acuífero Bahía de Zihuatanejo en la actualización 2020 pasó de una condición de déficit (DOF,2018) a disponibilidad: las Reservas de Costa Chica de Guerrero, Coatzacoalcos, Grijalva-Usumacinta y Río Fuerte sus acuíferos en aguas subterráneas (DOF, 2020).

En la Figura 2.2, se presentan las cuencas con reservas de agua en México y la delimitación de los acuíferos con déficit. En la Tabla 2.1, se muestran los datos de las 10 cuencas con reservas de agua, cuyos decretos fueron publicados el 5 de junio de 2018.

**Figura 2.2** Cuencas con decretos de Reservas de Agua y acuíferos con déficit



Fuente: Elaboración propia, con datos de WWF (2018) y capa temática de CONAGUA (2015)

**Tabla 2.1** Determinación de caudal ecológico (Qecol) y situación de los acuíferos de las 10 cuencas con reservas de agua decretadas en 2018\* (EMA= Escurrimiento Medio Anual)

Reserva	Área (km <sup>2</sup> )	No. cuencas	Acuíferos con déficit*	EMA (hm <sup>3</sup> )	% Qecol	Población al 2070 (hab)
1. <i>Costa Chica de Guerrero*</i>	35,923	27	0	16,588	44	4,0431,344
2. Costa Grande de Guerrero	8,017	17	1	4,269	43	426,369
3. Papaloapan	52,793	16	1	44,411	70	6,579,852
4. Pánuco	81,251	64	5	19,117	22	9,040,554
5. San Fernando-Soto La Marina	24,256	17	2	1,932	37	297,695
6. Santiago	75,852	33	22	7,349	50	4,561,114
7. Costa de Jalisco	11,011	8	4	3,040	50	122,781
8. Ameca	12,787	9	1	2,231	74	911,680
9. <i>Actopan-Antigua*</i>	5,490	2	0	2,983	36	2,372,994
10. Grijalva-Usumacinta	91,929	81	0	105,701	93	12,234,641

*\*En 2022 se derogan Costa Chica de Guerrero y Actopan-La Antigua*

*Fuente: Elaboración propia con datos de WWF(2018); CONAGUA (2015).*

En el contexto de reservas de agua, aunque son superficiales, estas contribuyen al mantenimiento de los acuíferos que al mismo tiempo retroalimentan a las reservas; es decir, el caudal ecológico de los ríos garantiza el caudal base de los acuíferos y viceversa. Durante 2017-2018, se realizó el estudio de campo para la evaluación de caudal ecológico en la cuenca del río Usumacinta, por lo que en este trabajo se presentan los resultados de la interacción agua superficial-agua subterránea para detallar sobre su funcionamiento hidrológico integral (DECE, 2018)

### **Objetivo General**

Identificar y caracterizar las subcuencas y acuíferos que pertenecen a la cuenca del Usumacinta, considerando la configuración de la red de flujo subterráneo regional,

su estacionalidad y las interacciones de los flujos locales con los cuerpos de agua superficiales, con objeto de generar una visión integral que aporte hacia una gestión del agua adecuada.

## **Método**

### **Configuración de elevación del nivel estático**

El flujo de aguas subterráneas va desde las tierras altas (zonas de recarga) hacia los valles (zonas de descarga). Para la configuración de curvas de igual elevación del nivel estático, se consideran datos de la red piezométrica de Conagua, que son pozos que en México generalmente están perforados a más de 10 m de profundidad; además, en ella, se puede representar el movimiento de flujos intermedios-regionales (escala espacial mayor 1:250,000) (Neri-Flores, 2017). La información de cuencas, acuíferos, red piezométrica, pozos del REPDA (Registro Público de Derechos de Agua), unidades hidrogeológicas y estaciones hidrométricas) se encuentra disponible en el portal de datos abiertos del gobierno federal (<https://www.datos.gob.mx/>); además, se organizó en un Sistema de Información Geográfica en el que se realizó los geoprocesos para la zona de estudio y georreferenciándola en UTM Zona 15 WGS 84. Para la configuración de elevación del nivel estático, se realizó la interpolación en Qgis (<https://qgis.org/es/site/>) considerando también puntos de elevación del nivel de los ríos y la identificación de las unidades hidrogeológicas. Se consideraron los datos de la estación hidrométrica EH 30019 Boca del Cerro de con información de observación de caudales diarios para el año 2017 (<http://hidrosuperf.imta.mx/bandas/>, INEGI, 2002).

### **Variación estacional flujos locales**

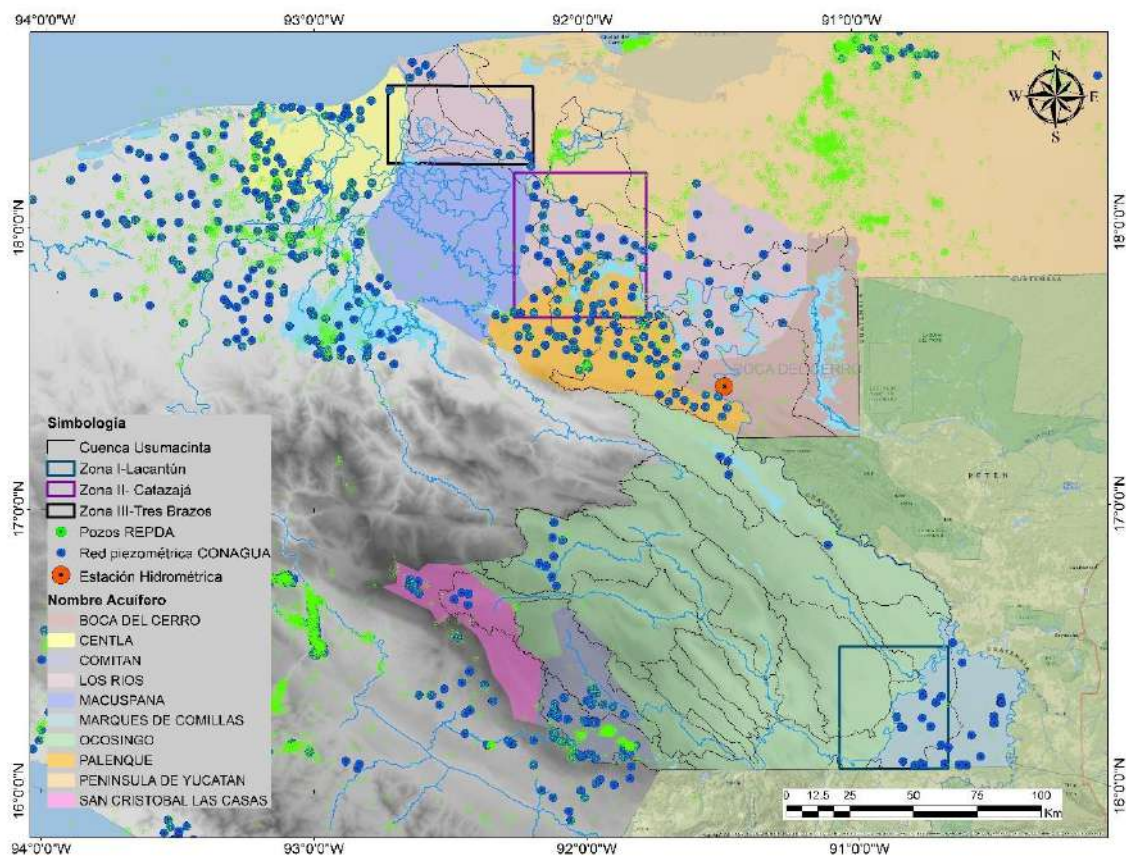
En zonas donde existen pozos artesanales (norias), generalmente perforados a menos de 10 m de profundidad, las mediciones del nivel estático se pueden utilizar para la configuración de sistemas de flujo locales (escala espacial menor 1:50,000). Para conocer la estacionalidad y su interacción con los ríos, se realizó la instalación de piezómetros someros e identificación de norias con monitoreos en temporadas climáticas de secas y lluvias. La construcción de un piezómetro consiste en instalar un tubo de PVC con un ademe ranurado y se describe en Neri-Flores (2017). En cada sitio, se recopiló información sobre localización utilizando un GPS Garmin, así como la profundidad del nivel estático en 13 norias, 6 piezómetros y un pozo profundo.

### **Resultados**

Con base en la delimitación de cuencas y acuíferos de CONAGUA, la cuenca Usumacinta está integrada por 23 subcuencas y 8 acuíferos. En la figura 2.3, se presenta la delimitación de la cuenca Usumacinta, los acuíferos que la integran y las redes de monitoreo existentes. Se observa que hay pozos fuera de los límites de la cuenca, por lo que se requiere una verificación. La red de monitoreo piezométrico no está distribuida en todo el acuífero, por lo que el cálculo de la disponibilidad se concentra en estas zonas. Se tiene que hacer una revisión detallada de los datos de la estación hidrométrica (aunque se encuentre en el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales) para organizar las series de tiempo y conducir los análisis de indicadores hidrológicos de relevancia ecológica. El tener

diferente delimitación de cuencas y acuíferos hace más complejo el análisis. Una estrategia realizada en el proyecto de reservas fue considerar a la cuenca hidrológica como límite de la zona de estudio y sobre esta cuenca identificar las unidades hidrogeológicas.

**Figura 2.3** Delimitación de la cuenca Usumacinta y redes de monitoreo



Fuente: Elaboración propia con capas temáticas de CONAGUA (2015) y de INEGI (2002)

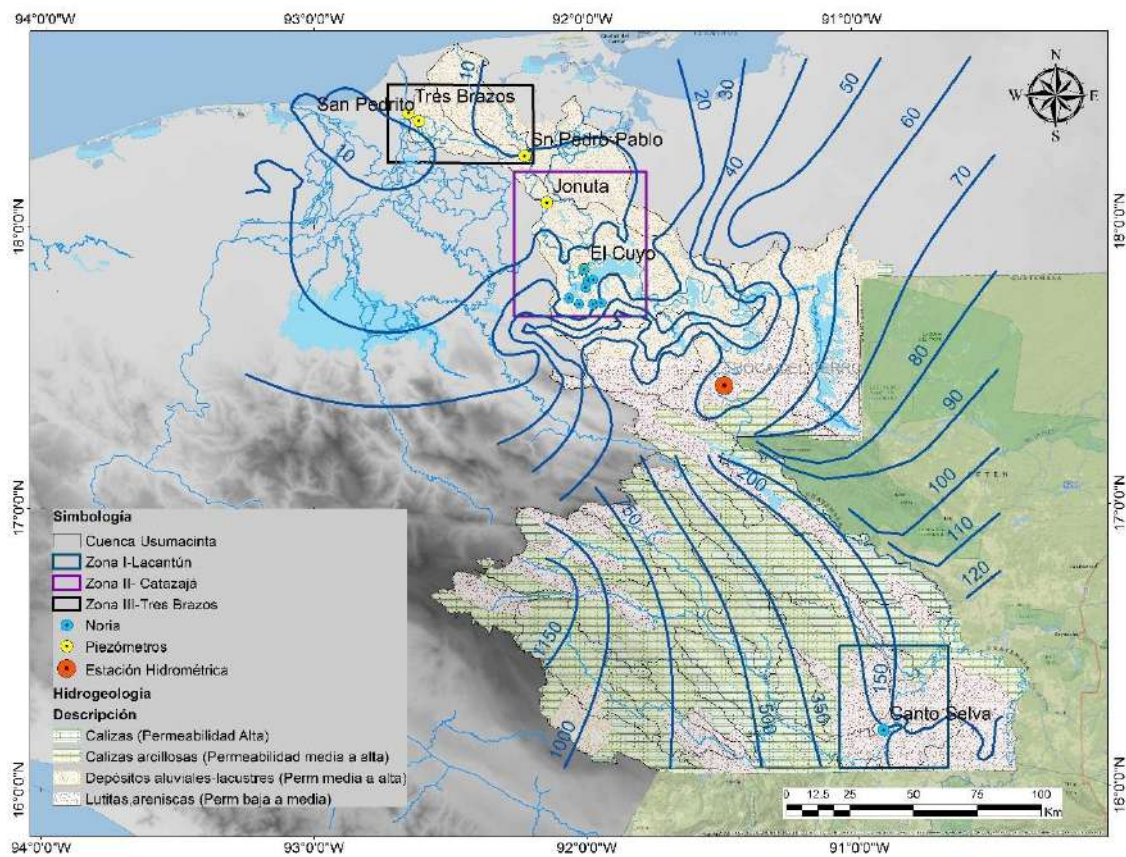
### Configuración de la red de flujo subterráneo

En la Figura 2.4, se presenta la configuración de la red de flujo subterráneo regional, en donde las calizas en la cuenca de Lacantún funcionan como zonas de recarga subterránea con una dirección Oeste-Noreste, y posteriormente las líneas de flujo



cambian hacia el NW, en la dirección del río Usumacinta. En la zona de Catazajá, se observa un menor espaciamiento que indica una zona de almacenamiento y conformado principalmente por areniscas y depósitos aluviales. Finalmente, hacia la zona de Tres Brazos, las curvas presentan un mayor espaciamiento con valores de 10 m sobre el nivel del mar. Lo anterior señala una zona de descarga de agua subterránea

**Figura 2.4** Configuración de la elevación del nivel estático



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2015) y de INEGI (2002)

### Esquemas de funcionamiento conceptual hidrogeológico

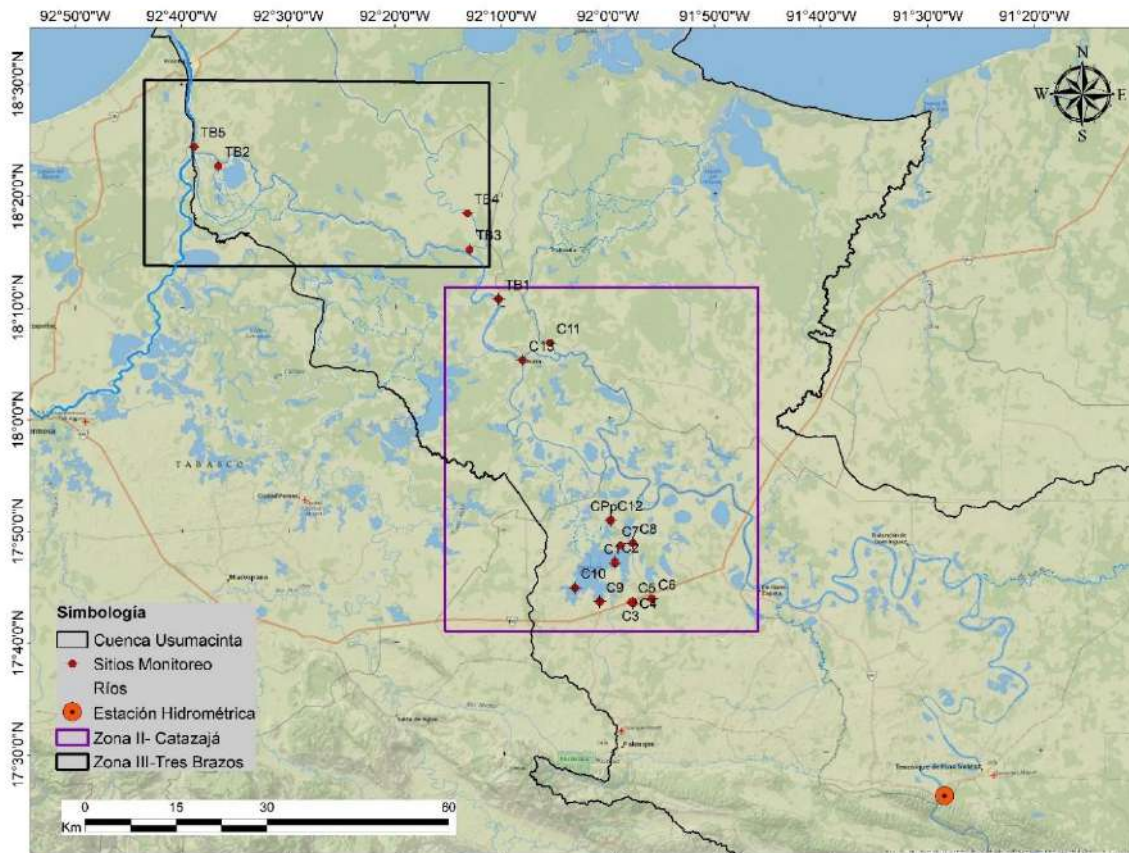
Los datos de monitoreo del agua subterránea están representados por norias (pozos artesanales), un pozo profundo (120 m) en la localidad El Cuyo y seis piezómetros

someros (Tabla 2.2). En la figura 2.5, se presenta su localización, a excepción del punto L1 que pertenece a la cuenca Lacantún.

**Tabla 2.2** Puntos de monitoreo del nivel estático (P.T.Profundidad Total)

ID	UTMx	UTMy	Broca		Secas	Lluvia	Tipo	Localidad	Zona
			I	P.T.					
L1	724238	1793199	1.95	ND	4.5	1.2	Noria	Canto Selva	ZI
C1	606686	1966530	0.7	5.98	3.25	2.78	Noria	Cz-Zaragoza	ZII
C2	606703	1966738	0.63	5	0.13	0	Noria	Cz-Zaragoza	ZII
C3	609733	1960125	0.82	5.42	3.37	1.49	Noria	Cz-E.Zapata	ZII
C4	609669	1959937	0.65	5.87	2.01	0.75	Noria	Cz-E.Zapata	ZII
C5	609455	1960122	0.45	4.76	2.53	1.1	Noria	Cz-E.Zapata	ZII
C6	612786	1960655	0.84	6.73	5.48	4.52	Noria	Cz.- L.Cárdenas	ZII
C7	607605	1969410	0.55	5.43	4.07	3.33	Noria	Cz.- CielitoLindo	ZII
C8	609666	1969847	0.74	3.64	4.34	2.69	Noria	Cz-EIRosario	ZII
C9	604180	1960194	0.64	ND 15.1	1.42	-0.07	Noria	Cz-Ciudad	ZII
C10	600151	1962455	0.78	6	1.94	1.06	Noria	Cz-PuntaArena	ZII
C11	595982	2002856	0.5	10	3.07	0.29	Noria Pozo	Palizada- SnRomán	ZII
CPp	605962	1973579	0.91	120	8.68	5.68	Conagua	El Cuyo	ZII
C12	606044	1973627	0.43	1.68	1	0.07	Piezometro	El Cuyo	ZII
C13	591446	2000019	0.8	3.2	2.62	0.45	Piezómetro	Jonuta	ZII
TB1	587492	2010124	0.28	5.72	1.12	0.62	Noria	Sn.José Jimbal	ZII
TB2	541234	2032083	1	3.59	2	1.08	Piezómetro	San Pedrito	ZIII
TB3	582718	2018301	1	4.11	1.45	-0.46	Piezómetro	Pochitocal	ZIII
TB4	582377	2024267	0.8	2.3	1.93	-0.04	Piezómetro	Pino Suarez	ZIII
TB5	537204	2035258	1.2	2.29	1.02	0.1	Piezómetro	Tres Brazos	ZIII

**Figura 2.5** Localización de sitios de monitoreo del nivel estático en norias y piezómetros

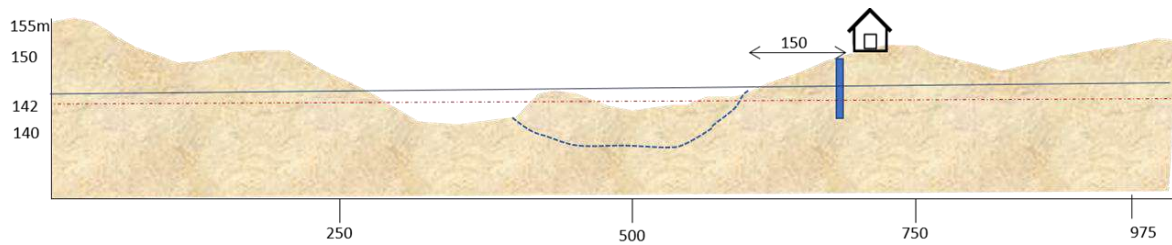


Fuente: elaboración propia con datos del DECE,2018

### **Zona I-Lacantún-Canto de la Selva**

Los flujos subterráneos locales indican una correlación río-acuífero, evidenciados en la noria localizada en Canto de la Selva que se encuentra a 150 m del cauce del río Lacantún (Figura 2.6). Se observa que el nivel de la noria indica las variaciones temporales del nivel del río, que registra una profundidad del nivel estático en abril de 4.7 m y en octubre de 1.2 m, por lo que existe un ascenso del nivel del agua subterránea de 3 m en promedio entre secas y lluvias dentro del año de análisis.

**Figura 2.6.** Esquema de funcionamiento hidrogeológico en Canto de la Selva



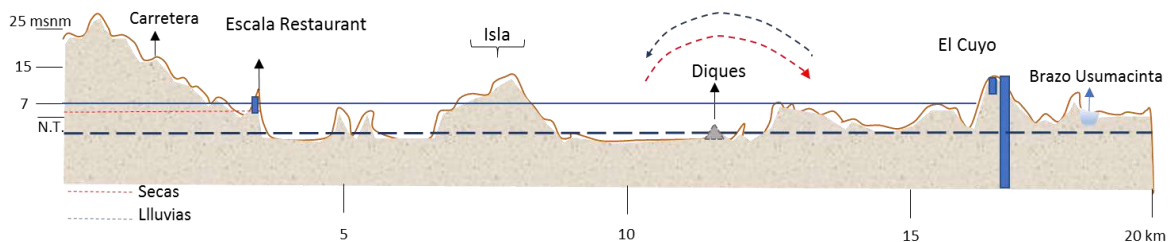
Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018)

## Zona II- Jonuta-Catazajá

Existen flujos locales registrados en las localidades con variaciones promedio de 1.3 m entre la época de secas y lluvias del ciclo hidrológico anual 2017-2018, con una mínima de 0.1 m y una máxima 2.8 m; en esto se observa inundaciones por agua subterránea. Este sistema es complejo debido a que se produce una dinámica entre el agua superficial y la subterránea, además de un intercambio de flujo debido a procesos de precipitación-evapotranspiración. Cabe señalar que en el año 1993 se construyeron 6 diques en el cuerpo de agua principal que implicó la transformación de la Laguna Grande de Catazajá de una de llenado estacional en temporada de lluvias que solía secarse en secas a una de inundación permanente (embalsamiento o represamiento). Durante el año de análisis, la Laguna Grande de Catazajá registró un tirante de agua 1.9 m (profundidad) respecto al nivel del terreno según escala de nivel en el embarcadero de la localidad. Asimismo, en el pozo profundo, se observó que el nivel en época de secas corresponde al flujo base del acuífero regional, por lo que las lagunas aledañas que conservan comportamiento de llenado/vaciado estacional tienen aportaciones de agua subterránea. En la época de secas, se produjo un flujo subsuperficial de la laguna hacia el río Usumacinta;

mientras que en lluvias dicho flujo se invirtió, es decir, el río aportó sus aguas al subsuelo. La información obtenida en el pozo profundo ubicado en la localidad El Cuyo permite entender la dinámica de conectividad río-acuífero ya que proporciona evidencia de que el acuífero regional contribuye al mantenimiento del caudal base del río. Por otra parte, la interacción de flujos locales en el piezómetro instalado indica las fluctuaciones temporales en el nivel del río (Figura 2.7). Estas condiciones deben tomarse en cuenta, ya que soluciones ingenieriles tradicionales como muros de contención no aplican en estas zonas por la interacción río-acuífero de flujos subterráneos locales.

**Figura 2.7** Esquema de funcionamiento hidrogeológico Catazajá

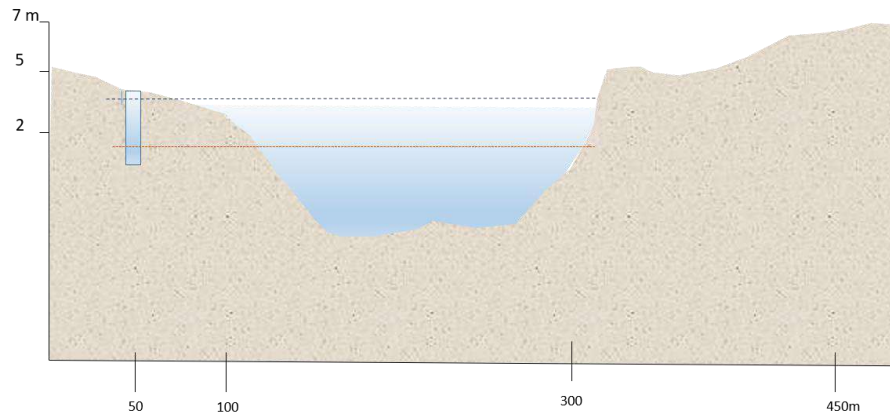


Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018)

Por otro lado, el piezómetro instalado en la localidad de Jonuta registró un valor de profundidad del nivel estático de 2.62 m en secas y de 0.45 m en lluvias repitiéndose el mismo patrón descrito en Catazajá. Estos resultados pueden servir para el monitoreo del nivel del río debido a su interacción con el acuífero. Por otra parte, el río Palizada recibe aportaciones del río Usumacinta, por lo que, en época de lluvias,

el cauce del río Palizada está a su capacidad. Lo anterior es observable en las norias que indican la presencia de niveles freáticos someros (Figura 2.8).

**Figura 2.8** Esquema de funcionamiento hidrogeológico en Jonuta



Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018)

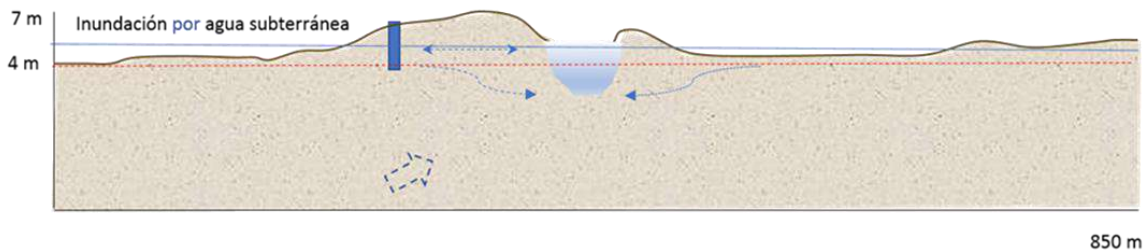
### **Zona III-Tres Brazos**

Corresponde al Río San Pedro y San Pablo. En esta zona el río Usumacinta, que aporta agua al río San Pedro y San Pablo; además, se presenta una inundación por agua subterránea de hasta 0.46 m, sin que exista desborde del río en la zona de la confluencia. La variación entre secas y lluvias presentó un ascenso del nivel freático de 1.9 m. Cabe enfatizar que estos cuerpos representan una dinámica anual observada en 2017-2018, sin que exista desbordamiento del río (Figura 2.9).

En el sitio Laguna San Pedrito, el piezómetro en el brazo del río registró una conexión del agua superficial y subterránea con la influencia de marea. Esto se observó en época de lluvias, cuando existe un flujo de la laguna hacia este brazo para desembocar en el río Usumacinta. En época de secas, el flujo es del río

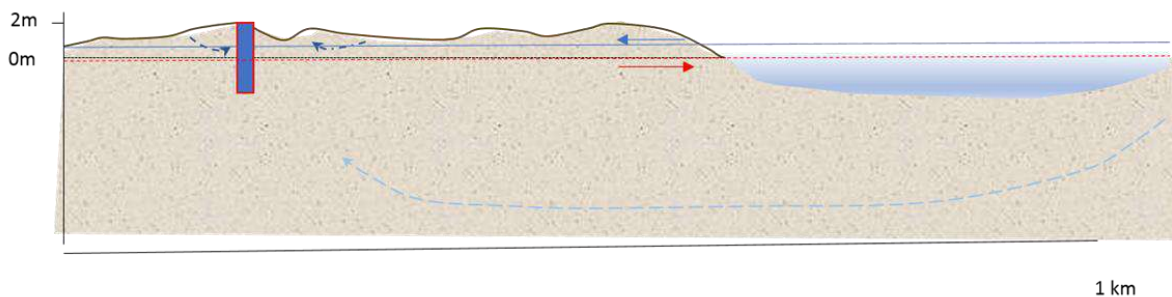
Usumacinta hacia la laguna con influencia de aportación marina identificada por la presencia de nódulos en el suelo; por lo que los flujos locales están en interacción con los cuerpos de agua superficiales. Por otra parte, existe un flujo regional del Sureste al Noroeste, que mantiene los cuerpos de agua superficiales. (Figura 2.10)

**Figura 2.9** Esquema de funcionamiento hidrogeológico en San Pedro y San Pablo



Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018)

**Figura 2.10** Esquema de funcionamiento hidrogeológico en la laguna de San Pedrito

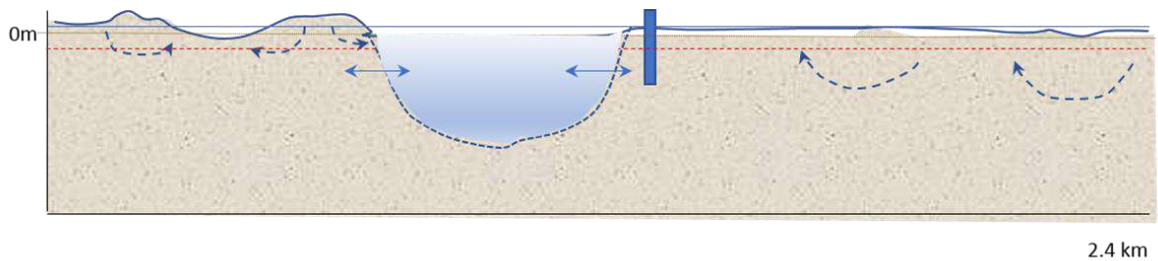


Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018)

El piezómetro del sitio Tres Brazos registró un nivel estático de -0.1 m en época de lluvias (octubre 2017) y 1.02 m en la de secas, lo que evidencia que es una zona de descarga de agua subterránea. El esquema de funcionamiento hidrogeológico conceptual indica que es una zona con una dinámica de agua subterránea-agua

superficial-agua marina. Existen zonas de altos topográficos propiciando zonas de interacción de flujos subterráneos locales. (Figura 2.11).

**Figura 2.11** Esquema de funcionamiento hidrogeológico en Tres Brazos



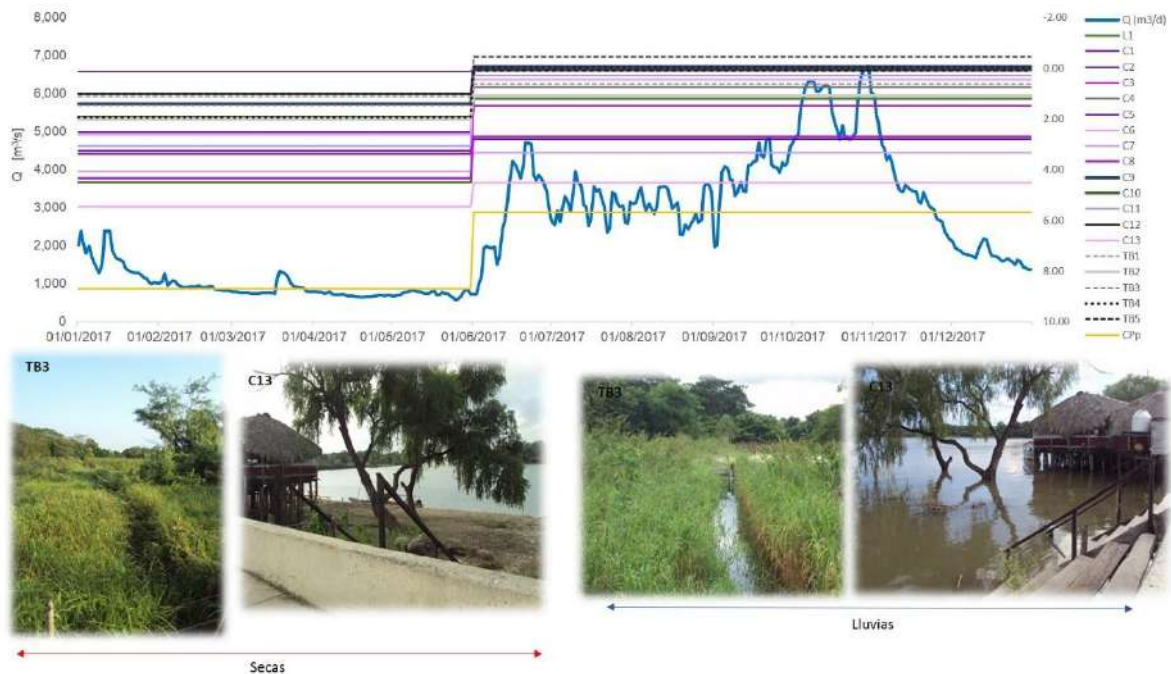
Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018)

### **Interacciones agua superficial-subterránea**

El hidrograma para el ciclo anual 2017-2018 de la estación hidrométrica de Boca del Cerro se presenta en la Figura 2.12. En este, se observa que de enero a junio se considera la época de secas con caudales menores a  $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ; a partir de junio existe un aumento con caudales pico de  $6,000 \text{ m}^3/\text{s}$  en noviembre y, además, presenta la variación estacional de los piezómetros. El pozo profundo en la zona de Catazajá, marcado como Cpp, presenta una profundidad de 8 m del nivel estático; esto alcanza, durante época de lluvias, una profundidad de 6 m. Las norias de Catazajá tienen un aumento del nivel estático de 1 m. En Tres Brazos, se presentó un aumento en promedio de 1.2 m y la noria de Lacantún, de 3.3 m. En las fotografías el sitio marcado como TB3 en la confluencia San Pedro-San Pablo, se presenta una inundación por agua subterránea. La zona de C13 es el sitio de Jonuta, donde se pone en evidencia el aumento del nivel del caudal del río.



**Figura 2.12** Variación estacional del caudal del río Usumacinta y niveles estáticos

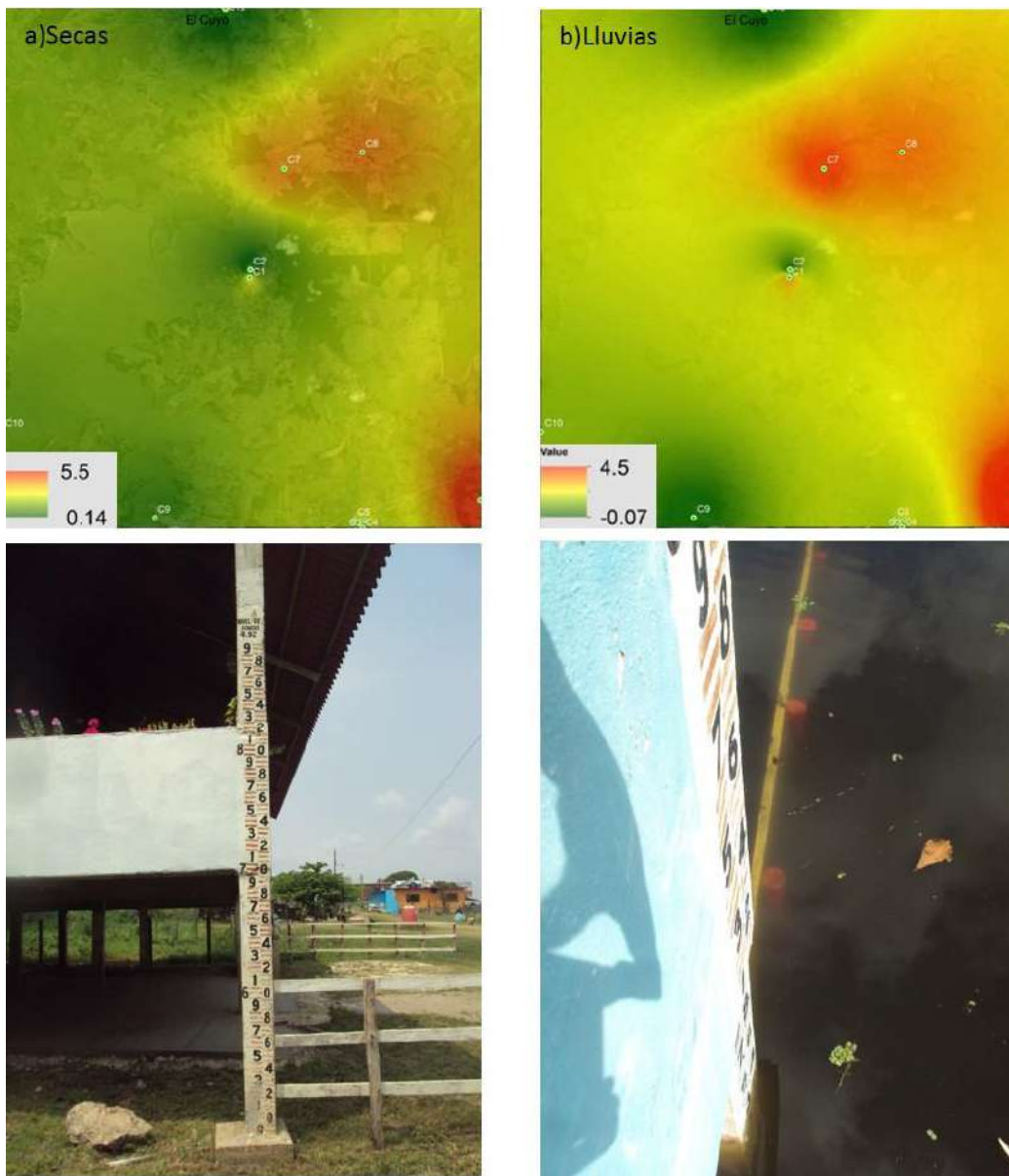


Fuente: Elaboración propia con datos del DECE( 2018).

### **Zona-Catazajá (lluvias, secas)**

La zona de lagunas de Catazajá presenta una dinámica con el agua subterránea. En este sitio, se observa que en época de seca las mayores profundidades se localizan al sureste (C6) y noreste (C7 y C8). En lluvias se produce un comportamiento similar, pero se observa un aumento generalizado del nivel freático que ocasiona inundaciones por agua subterránea que favorecen el mantenimiento de la laguna. En las fotografías inferiores, se muestra el sitio del restaurante conocido “La Toluqueña” donde se observa que, en la escala de medición, el tirante de inundación alcanza los 1.9 m (Figura 2.13).

**Figura 2.13.** Profundidad del nivel estático (lluvias, secas)



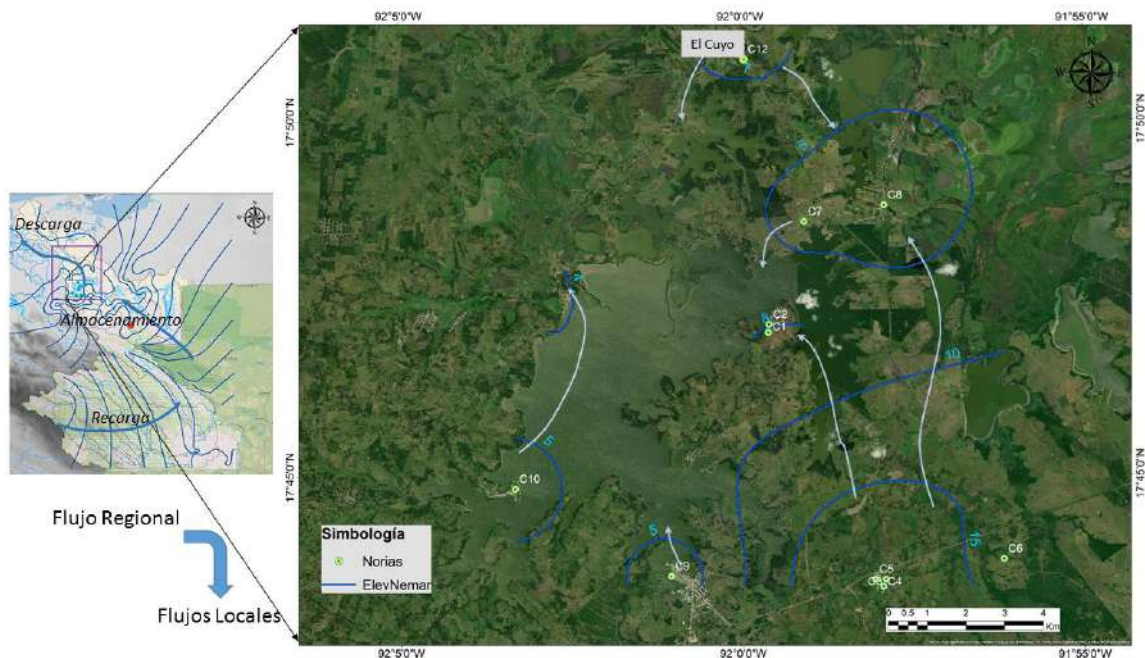
*Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018). Datos en metros.*

### **Red flujo subterráneo**

Con base en las norias de monitoreo, se realizó la configuración de la elevación del nivel estático considerando la topografía de la zona. Esta corresponde a los flujos locales, donde se observa que al Sureste se tiene las mayores elevaciones de 15

msnm, con una dirección hacia el Noroeste y Norte. En la zona de El Cuyo, existe un flujo subterráneo hacia el Sur, por lo que se infiere que las lagunas del Sistema Lagunar de Catazajá son alimentadas por los flujos locales de agua subterránea. Estas zonas de mayor elevación del nivel estático se consideran zonas de recarga locales de agua subterránea por lo que se deben conservar (Figura 2.14).

**Figura 2.14** Red de flujo subterráneo (sistema local) en lagunas de Catazajá



Fuente: Elaboración propia con datos del DECE (2018).

## Discusión

Una de las principales características en la cuenca baja del río Usumacinta es la presencia de zonas inundables, aun cuando el río no se ha desbordado. Estas zonas pueden estar influenciadas por la presencia de niveles freáticos someros. Estudios realizados en humedales en cuencas bajas en Veracruz, monitoreando el nivel del agua, muestran una clara interacción entre aguas superficiales y aguas profundas y una dependencia de estos ecosistemas en el agua subterránea

(Moreno-Casasola et al., 2009; 2010); por lo que este fenómeno se repite y valida el modelo desarrollado en el Usumacinta.

En este estudio se identificaron, a través del recorrido de la zona de estudio y del monitoreo de norias y piezómetros, las evidencias del comportamiento en temporada de lluvias (o crecidas) de niveles freáticos. Los sitios seleccionados fueron los que presentaron interés por la dinámica hidrológica y documentan las evidencias: la zona de Lacantún (Canto de la Selva), el Sistema Lagunar de Catazajá (humedales en Jonuta, Laguna Grande de Catazajá -sitio embalsado por los diques- y otros cuerpos de agua estacionales aledaños), la bifurcación del río Usumacinta-río San Pedro-Pablo, la zona de Tres Brazos y el canal de interconexión del río Usumacinta con la laguna de San Pedrito. Sin embargo, es posible extrapolar estos resultados a otras zonas de la cuenca.

El agua subterránea de flujos locales es fundamental para el mantenimiento de cuerpos de agua superficial y también para los humedales de la zona. Diferenciado de acuerdo con el comportamiento de los acuíferos, para la zona de Lacantún el dominio de humedales ribereños, por ser zona de recarga; mientras que para las zonas posteriores cuenca abajo se diversifican los tipos de humedales a ribereños, lacustres y palustres, por lo que estos últimos son los dominantes. Esto es consistente con trabajos previos sobre clasificación e inventario de humedales para Tabasco (Barba-Macías et al, 2006). Además, se puede establecer que las lagunas del Sistema Lagunar Catazajá y Pantanos de Centla tienen aportaciones subterráneas con un aumento de hasta 2 m de elevación de tirante de agua

subterránea. Esta dinámica representa una conectividad no sólo superficial a través de los escurrimientos de los ríos, sino también subterránea.

Debido a que en la zona se aprovecha el agua superficial para diferentes usos, es importante recomendar que las extracciones de los pozos deben ser monitoreadas, ya que pueden tener influencia sobre los cuerpos de agua superficial, con lo que se puede disminuir su aportación natural y ocasionar conos de abatimiento. La disminución de los niveles de agua subterránea, aunque sean mínimos, pueden alterar las aportaciones a los ríos, por lo que se puede establecer niveles críticos de agua subterránea según la extracción (De Graaf et al., 2019).

En la zona costera, tanto los flujos regionales como los locales tienen aportaciones hacia el mar, lo que representa su dinámica natural. Para un mejor manejo de los recursos se debe tener una regionalización que integre cuencas y acuíferos ya que en los sistemas actuales existen cuencas con disponibilidad y acuíferos con déficit. El actual concepto de acuífero se maneja como un “almacén” definido donde el agua subterránea puede ser aprovechada; por lo que esta interpretación, llevada al plano legal, requiere ser revisada y actualizada, ya que no refleja las condiciones reales del funcionamiento del agua subterránea (Hatch-Kuri, 2018).

Es importante verificar el REPDA (Registro Público de Derechos de Agua) y considerar la estacionalidad para determinar los volúmenes que deben ser aprovechados sin afectación a los niveles del acuífero. El volumen concesionado para el agua superficial en México representa el 60.9 % proveniente de ríos, arroyos

y lagos; mientras que el 39.1 % restante corresponde a fuentes subterráneas. Del total del volumen concesionado, el 90.4 % lo representan los usos agrupados agrícola y abastecimiento público (CONAGUA, 2018).

La integración del agua superficial con el agua subterránea permitirá un mejor ordenamiento territorial, una gestión adecuada del agua y la conservación de los ecosistemas acuáticos y de humedales que dependen de la dinámica hidrológica. Los Pantanos de Centla constituye una reserva de biósfera; tiene una gran biodiversidad biológica y sus servicios ecosistémicos son de importancia ecológica para la sociedad (DECE, 2018). Además, constituye un depósito muy importante de carbono en el suelo y un sitio donde se secuestra carbono, mitigando el cambio climático (Moreno et al., 2002; Sjogersten et al., 2021).

Estos resultados muestran la importancia de la interacción entre el agua dulce superficial y subterránea en las planicies costeras. Las reservas de agua son una estrategia para limitar la alteración de flujos y conservar la integridad ecológica de las cuencas que plantea una estrategia de seguridad hídrica (Salinas-Rodríguez et al., 2019). La estimación de caudales ambientales y los decretos de reservas de agua han sido un primer paso fundamental, ahora es necesario integrar el agua subterránea a estos modelos. Ello lleva a la necesidad de replantear los términos de cuencas hidrológicas y acuíferos de conceptos separados, con distintos mapas para el país y como dos especialidades distintas en la formación de ingenieros, a su entendimiento y a la formación integral de capacidades en el contexto del continuo agua superficial-agua subterránea.

Se requieren desarrollar visiones integrales que reconozca y pongan en práctica a la gestión del agua como el instrumento social. Lo anterior es importante debido a que brinda soporte al funcionamiento ecológico y vida a los socioecosistemas, ya que es un sistema único con distintos componentes que interactúan permanentemente y que además cambian a lo largo del año y a través de estos.

El régimen de caudales en los ríos es esencial para los ecosistemas acuáticos; proveen servicios ecosistémicos y los requerimientos ambientales hidrogeológicos que deben ser parte de la evaluación de los recursos hídricos (De Graaf et al., 2019). Solo bajo esta visión se puede tener una gestión adecuada del agua que garantice que nuestro país seguirá contando con este preciado recurso. Las reservas de agua para protección ecológica y el modelo empírico desarrollado en este capítulo muestran que este nuevo paradigma de gestión del agua es el camino correcto. En este sentido, la REDMORA plantea una iniciativa para el monitoreo y evaluación de desempeño de las reservas de agua con el propósito de incidir sobre la gestión integrada de cuencas y acuíferos, integrada por investigadores y sociedad civil de diferentes zonas del parte del país fundamentada en su funcionamiento ecohidrológico y socioecosistémico.

## **Bibliografía**

Barba-Macías, E., Rangel-Mendoza J. y Ramos-Reyes R. (2006). Clasificación de los humedales de Tabasco. *Universidad y Ciencia*. 22 (2),101-110.

<https://www.redalyc.org/pdf/154/15422201.pdf>

- Barrios- Ordóñez, J. E., Salinas- Rodríguez, S. A., Martínez, A., López -Pérez, M., Villón-Bracamonte, Ricardo., Rosales-Ángeles, F. (2015). Programa Nacional de Reservas de Agua en México: Experiencias de Caudal Ecológico y la Asignación de Agua al Ambiente. Nota Técnica No. BID-TN-864. <https://doi.org/10.18235/0000215>
- CONAGUA (2015). Capa temática de Red piezométrica. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/red-piezometrica-mapas>
- CONAGUA (2018). Estadísticas del Agua en México. CONAGUA-SEMARNAT. México. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM2018.pdf>
- DECE (2018). Documento de Evaluación de Caudal Ecológico Río Usumacinta. ECOSUR. <https://sii.ecosur.mx/Content/ProductosActividades/archivos/25805/textocompleto%200.pdf>
- De Graaf, IEM., Gleeson, T., Rens van Beek, LPH., Sutanudjaja, EH., y Bierkens, MFP. (2019). Environmental flow limits to global groundwater pumping. *Nature*, 574(7776), 90–94. doi: 10.1038/s41586-019-1594-4
- Moreno-Cáliz, E., Guerrero-Peña A., M. C., Gutiérrez-Castorena Ma.C., Ortiz-Solorio C.A Palma-López, D. J. (2002). Los manglares de Tabasco, una reserva natural de carbono. *Madera y Bosques*, 115-128. doi: 10.21829/myb.2002.801295.
- DOF (2012). Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. (20-septiembre-2012). [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5269489&fecha=20/09/2012#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5269489&fecha=20/09/2012#gsc.tab=0)
- DOF (2018). Actualización de disponibilidad de acuíferos: (4-enero-2018) [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04/01/2018#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510042&fecha=04/01/2018#gsc.tab=0)
- DOF (2019). Lineamientos para incluir volúmenes no comprometidos de aguas nacionales superficiales en los 10 decretos de reserva de agua. (27 junio 2019). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5564306&fecha=27/06/2019#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5564306&fecha=27/06/2019#gsc.tab=0)
- DOF (2020a). Ley de Aguas Nacionales. Última Reforma: 06-enero-2020. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131792/37.\\_LEY\\_DE\\_AGUAS\\_NACIONALES.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131792/37._LEY_DE_AGUAS_NACIONALES.pdf)
- DOF (2020b). Actualización de disponibilidad de acuíferos: 17-septiembre-2020. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5600593&fecha=17/09/2020#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600593&fecha=17/09/2020#gsc.tab=0)
- DOF (2022a). Decreto por el que se deja insubsistente el diverso por el que se suprimen las vedas existentes en las cuencas hidrológicas Río Actopan y Río La Antigua. (17 mayo 2022). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5652171&fecha=17/05/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5652171&fecha=17/05/2022#gsc.tab=0)



- DOF (2022b). DECRETO por el que se deja sin efectos el diverso por el que se suprimen las vedas existentes en las cuencas hidrológicas Río Papagayo, 1, Río Petaquillas, Río Omilán, Río Papagayo 2, Río Papagayo 3, Río Papagayo 4, Río Nexpa 1, Río Nexpa 2, Río La Arena 1 y Río La Arena 2, pertenecientes a la Región Hidrológica número 20 Costa Chica de Guerrero. (3 mayo 2022). [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5650819&fecha=03/05/2022#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650819&fecha=03/05/2022#gsc.tab=0)
- Hatch, G. (2017). Agua subterránea en México: retos y pendientes para la transformación de su gestión. En Christian Denzin, Federico Taboada y Pacheco-Vega Raúl (Eds) *El Estado del Agua en México. Actores, Sectores y Paradigmas para una Transformación Social-Ecológica* (pp. 149-170 ) Fundación Friedrich Ebert Stiftung-, , [http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/libro/aguaen\\_mexico.pdf](http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/libro/aguaen_mexico.pdf)
- INEGI (2002). Conjunto Nacional de Aguas Subterráneas. Escala 1:250 000. Serie II.: <https://www.inegi.org.mx/>
- Moreno-Casasola, P., López-Rosas, H., Infante-Mata, D., Peralta, L. A., Travieso-Bello, A. C., Warner, B. G. (2009). Environmental and anthropogenic factors associated with coastal wetland differentiation in La Mancha, Veracruz, Mexico. *Plant Ecology*, 200(1), 37-52. <https://doi.org/10.1007/s11258-008-9400-7>
- Moreno-Casasola, P., Cejudo-Espinosa, E., Capistran-Barradas, A., Infante-Mata, D., López-Rosas, H., Castillo-Campos, G., Pale-Pale, J., Campos-Cascaredo, A. (2010). Floristic composition, diversity and ecology of freshwater marshes in the central coastal plain of Veracruz, Mexico. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 87, 29-50. <https://www.botanicalsciences.com.mx/index.php/botanicalSciences/article/view/292>
- Neri-Flores, I. (2017). Dinámica del agua subterránea-agua superficial y su relación con las inundaciones en zonas costeras. Tesis Doctoral.UNAM. <https://hdl.handle.net/20.500.14330/TES01000761047>
- REDMORA. (2018). Propuesta para la conformación de una Red Nacional para el Monitoreo de Reservas de Agua en México (REDMORA). México. <https://redmora.mx/index.php>
- Salinas-Rodríguez, S. A., Barrios-Ordóñez, J. E., Sánchez-Navarro, R., y Wickel, A. J. (2018). Environmental flows and water reserves: Principles, strategies, and contributions to water and conservation policies in Mexico. *River Research and Applications*, 34(8), 1057–1084. <https://doi.org/10.1002/rra.3334>
- Salinas-Rodríguez, S. A., Barba-Macias, E., Infante Mata, D., Nava-López, M. Z., Neri-Flores, I., Domínguez Varela, R., y González Mora, I. D. (2021). What Do Environmental Flows Mean for Long-term Freshwater Ecosystems' Protection? Assessment of the Mexican Water Reserves for the Environment Program. *Sustainability*, 13(3), 1240. <https://doi.org/10.3390/su13031240>

- Salinas-Rodríguez, S. A., van de Giesen, N. C., y McClain, M. E. (2022). Inter-Annual and Seasonal Variability of Flows: Delivering Climate-Smart Environmental Flow Reference Values. *Water*, 14(9), 1489. <https://doi.org/10.3390/w14091489>
- Sjogersten, S., Batista de la Barruda, B., Brown, C., Boyd, D., Lopez-Rosas, H., Hernández, E., Rincón, M., Vane, C., Moss-Hayes, V., Hoyos-Santillan, J., Moreno-Casasola, P. (2021). Coastal wetland ecosystems deliver large carbon stocks in tropical Mexico. *Geoderma*, 403 115173. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115173>
- Sophocleous, M. (2002). Interactions between groundwater and surface water: The state of the science. *Hydrogeology Journal*, 10, 52–67. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8>
- Toth J. (1999). Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*, 7, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s100400050176>
- Corson-Dosch, H., Nell, C., Volentine, R., Archer, A.A., Bechtel, E., Bruce, J.L., Felts, N., Gross, T. A., Lopez-Trujillo, D., Riggs, C. E., Read, E. K.(2022).El ciclo del agua.USGS.: <https://www.usgs.gov/media/images/el-ciclo-del-agua-water-cycle-spanish-png>
- WWF. (2018). Reservas de agua para el ambiente y la gente: una contribución de la FGRA a la transformación de la gestión del agua en México.WWF-FGRA-CONAGUA. México. <https://remexcu.org/documentos/2018-06-05-Alianza-WWF-FGRA-Resumen-Reservas-Agua-REMEXCU.pdf>
-

# GESTIÓN DE AGUA EN SISTEMAS COMUNITARIOS EN LA CUENCA DEL RÍO LERMA

Citlalli Aidee Becerril-Tinoco  
Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT)  
Investigadora por México. CONAHCyT-CentroGeo  
Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial A. C.  
[cbecerril@centrogeo.edu.mx](mailto:cbecerril@centrogeo.edu.mx)

José Luis Miranda Jiménez  
Profesor-Investigador Invitado  
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas  
Universidad Autónoma de Querétaro

## Resumen

El manejo del agua en México tiene múltiples jerarquías, escalas, niveles y actores. Hay territorios en donde el agua se gestiona a nivel estatal, a nivel municipal o a nivel comunidad; pero, hay territorios en donde se lleva a cabo por cuenca. En cada nivel existe una diversidad de actores e instituciones que interactúan para tomar decisiones relacionadas con la provisión del servicio y aprovechamiento del agua; así también, en cada contexto existen leyes y reglas legales plurales legítimas que permiten hacer uso de dichos recursos. Por lo anterior, el objetivo de este capítulo es analizar la gestión de agua en sistemas comunitarios localizados en la cuenca del río Lerma, para entender su organización, el manejo del agua y lo correspondiente a la toma de decisiones para enfrentar las transformaciones del sistema. También, es importante identificar sus características y, con ello, las coincidencias que permiten el aprovechamiento sociocultural de las aguas superficiales y subterráneas. La cuenca del río se caracteriza por ser una región rica en agua subterránea, con calidad suficiente para ser consumida por la población y para desarrollar actividades agrícolas, por mencionar una de las actividades de mayor importancia. Este análisis permitirá entender estas otras formas de

organización social aún vigentes, dentro del sistema socioecológico, conocer la vida de las poblaciones, la calidad del servicio que reciben y cómo se adapta la población ante los cambios y formas de acceso al agua. Se espera que los resultados contribuyan a explicar cómo la población se involucra con acciones que favorecen la gestión del agua en la comunidad en que habitan y cómo estas pueden contribuir a mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

**Palabras clave:** manejo comunitario, gestión del agua, pluralismo legal, curso alto de la cuenca del río Lerma, sistema socioecológico.

## **Introducción**

Aunque en México el agua es un recurso natural cuya posesión compete al ámbito federal, reconocido así por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM, 2022), al establecer que las tierras y aguas son propiedad de la nación, su gestión para la provisión de un servicio público es delegada a instituciones de diferentes niveles; por ejemplo, el estatal o municipal. En algunos casos, esta gestión se concesiona a empresas privadas o se asigna a miembros de las comunidades.

La gestión del servicio de agua potable presenta estructuras administrativas diferentes que, a su vez, dan origen a diversas formas de manejo, con múltiples jerarquías, escalas, niveles y actores. Es importante mencionar que el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM, 2022),

establece cuáles son las funciones y servicios públicos que están a cargo de los municipios. No obstante, dado que para los municipios es insuficiente la capacidad técnica, administrativa y financiera, no llegan a proveer de infraestructura hidráulica a las áreas periféricas o a prestar el servicio al cien por ciento de la población; en otras palabras, quedan excluidas, o recibiendo un servicio de menor calidad, las localidades más vulnerables (barrios pobres, alejados y marginados) de las zonas rurales, periurbanas y urbanas. Por esta razón, el municipio también ha recurrido a otras autoridades locales para asignar la responsabilidad de gestionar un recurso público urbano, como es el del agua potable (Anzures, 2016, 2020).

Hay territorios en donde el agua se gestiona a nivel estatal, municipal o a nivel comunidad; en otros casos, a nivel de cuenca. En cada uno participa una diversidad de actores e instituciones que interactúan para tomar decisiones relacionadas con la gestión y aprovechamiento del agua. En diversos contextos, existe normativas legales y consuetudinarias que permiten hacer uso de recursos hídricos a diferentes actores que complejizan su gestión. La cuenca del río Lerma se caracteriza por tener esta pluralidad de marcos de gestión y prácticas socioculturales en torno al manejo del agua tanto subterránea como superficial.

Se ha encontrado estudios importantes de la cuenca del río Lerma en los programas de posgrado, de Maestría y Doctorado en Ciencias del Agua, del Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Entre las investigaciones, destacan aquellas sobre comités comunitarios, comunidades autónomas, comités en

situación especial, cargos cívico-religiosos, gobernanza hídrica, así como de gestión integrada de la cuenca del río Lerma con enfoque GIRH (Ramírez, 2020).

Entre los aportes de las investigaciones mencionadas se tienen los de Hinojosa (2014), Anzures (2016), Gómez, Romero y Vizcarra (2017), Jaimes Pulido (2018), Campuzano (2019), Ramírez (2020), Anzures (2020), Ramírez (2020), entre otros. Otras publicaciones sobre gestión comunitaria del agua, comités de agua potable y comunidades autogestivas han sido identificadas en Estrada y Franco (2004), Gómez Peralta (2005), Domínguez (2007), Becerril-Tinoco (2012), Bastian y Duarte (2015), Ruiz (2017), Pliego y Guadarrama (2019), Sandoval (2001), Domínguez (2023), por mencionar trabajos realizados en el contexto mexicano. Casos sobre gestión comunitaria también se ha mencionado en India, países de América Latina, incluyendo México. Además, estudios sobre las formas no oficiales válidas que, a su vez, son un eje importante se encontraron en publicaciones de Dik, Boelens Zwarteveen (2015) y Von Benda-Beckmann (1995, 1998).

Como se observa, el manejo del agua en la cuenca del río Lerma tiene múltiples jerarquías, escalas, niveles y actores y en los municipios que la integran, llega a ser diversa entre las localidades. En algunas, el líquido para consumo humano es gestionado de manera autónoma a través de comités de agua. En otras, la gestión es asumida por una regiduría a nivel municipal, organismo operador (institución pública descentralizada del estado), por el sector privado o de forma mixta. Dado que las escorrentías superficiales de la zona presentan problemas importantes de contaminación y explotación, las aguas subterráneas se constituyen como la fuente principal para el consumo humano, producción agrícola y uso industrial.

Por lo anterior, la pugna entre las actividades industriales y de consumo humano en la zona, acentúan la insuficiencia de agua en comunidades locales, a pesar de su histórica disponibilidad y calidad. Sin embargo, el agua para uso doméstico (llamado “público-urbano” en la Ley de Aguas Nacionales), obtenida de la extracción de agua subterránea, se gestiona de manera distinta a la que se ocupa para fines agrícolas e industriales (por ejemplo, son distintas las autoridades responsables de asignarla y distribuirla entre los usuarios correspondientes). En este marco de legalidad, se ha identificado tres formas de gestión en este tipo de agua: a) regidurías de agua (controladas por el ayuntamiento de los municipios), b) comités comunitarios (integrados por miembros de la localidad o de la comunidad en que habitan y son quienes mantienen el control del agua) y c) organismos operadores (instituciones públicas descentralizadas del Estado). A continuación, se definen estas tres formas:

### **1. Regiduría con comisión de agua**

Se refiere a aquella institución o modelo de gestión del agua representado por el ayuntamiento municipal. Sus autoridades son quienes administran directamente los recursos hídricos, ya sea por medio de una coordinación o dirección municipal o mediante una regiduría con Comisión de Agua que administra los recursos hídricos del municipio. Bajo este modelo, los gobiernos locales entregan el control y la administración del agua mediante la comisión a alguno de los miembros del cabildo (regidor o síndico), con todas las funciones y responsabilidades.

Cabe aclarar que, aunque en el municipio existan otras formas de gestión tales como “organismo operador” o “comité comunitario” (o ambos modelos simultáneamente), siempre existe la figura del regidor con Comisión de Agua. Su papel en estos casos es solamente como gestor de recursos ante instancias de gobierno o como autoridad auxiliar; en ocasiones, forma parte de los miembros del consejo directivo del Organismo Operador de Agua, que se encarga de fiscalizar al Organismo de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ODAPAS) (Jaimes, 2018).

De los 125 municipios reconocidos en el Estado de México, se ha identificado que en 62 de estos, el modelo de gestión del agua es mediante el ayuntamiento. Este último es responsable de controlar y administrar directamente el agua, ya sea con una coordinación o dirección municipal, o mediante una Regiduría con Comisión de Agua (Jaimes, 2018).

## **2. Comité comunitario (CC)**

Se entiende aquel modelo de gestión integrado por un grupo de miembros comunitarios, mismo que ha asumido el control de la operación, administración, mantenimiento del servicio de agua potable de su comunidad. Esta se organiza para elegir, por consenso y votación en la asamblea General del Pueblo, a los integrantes del comité que administrará, operará y dará mantenimiento a los sistemas de agua durante el tiempo acordado y especificado en dicha comunidad. El CC es un grupo de ciudadanos, habitantes de la comunidad quienes fungen como autoridad



consuetudinaria para gestionar el agua potable. Existen varios modelos de comités, sin embargo la mayoría coincide con tres figuras importantes: presidente, secretario, tesorero. En algunas ocasiones, hay un suplente para cada uno y un pocero; también es posible encontrar un técnico, ingeniero o alguna otra figura entre los integrantes del equipo de gestión. Una característica esencial de los comités comunitarios es que no forman parte de una institución oficial. Es la comunidad la que se organiza de manera autónoma.

Históricamente, los habitantes del Alto Lerma han llevado a cabo prácticas de autogestión y gobernanza y han buscado alternativas de organización para abastecerse de agua y hacer frente a las transformaciones políticas, ambientales en el sistema en que habitan. La autogestión se realiza con la integración de comités de agua potable (Anzures, 2020). Los comités son parte de un sistema social conocido como sistema de cargos cívico-religioso, cuya estructura es de las más importantes de origen antiguo en México (Estrada y Romero, 2004; Hinojosa, 2014; Bastian y Vargas, 2015; Pliego y Guadarrama, 2019).

Se han encontrado registros que indican que los comités aparecieron por primera vez en la década de 1930, con la anuencia del Estado Mexicano quien impulsaría su consolidación, cuando se entregó a la población local el consentimiento sobre el recurso hídrico. En ese momento, los comités se rigieron por los usos y costumbres de cada pueblo y ejercieron ese derecho a través del derecho consuetudinario (marco jurídico mesoamericano informal) (Estrada y Romero, 2004; Hinojosa, 2014:

Anzures, 2020), que incluye normas sociales, castigos morales, acuerdos no escritos, asambleas comunitarias y cargos honoríficos.

En México, coexisten diversos comités localizados en zonas rurales, periurbanas y urbanas y, entre todos, forman una gran tipología; algunos ejemplos identificados son los siguientes:

a) Comités formales: conformados como asociaciones civiles con escasa o nula relación con el gobierno (estatal y municipal).

b) Comités ilegales: no reconocidos legalmente ante el estado, pero legítimos ante sus propios usuarios, debido a un acuerdo comunitario donde se comparte la identidad, la historia y la gobernanza hídrica.

c) Comités nuevos: de reciente creación localizados generalmente en fraccionamientos urbanos recientes.

d) Comités especiales: producto de los trasvases del Sistema Cutzamala y Lerma que transporta agua hacia la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (Ramírez, 2020).

A pesar de la importancia de los comités, no se cuenta con un número exacto de ellos, ni de su distribución a lo largo del país. No obstante, se tiene certeza de que continúan otorgando el servicio de agua potable en las áreas con limitada capacidad de gestión por parte del estado (capacidad técnica, operativa, administrativa, financiera). Aunque no existen modelos ideales y, además, se ha encontrado diversidad en la calidad de su administración, llega a haber coincidencias con otros

sistemas de gestión oficiales; por ejemplo, en aspectos tales como falta de reglamentos, falta de integridad, problemas de transparencia y de rendición de cuentas (Ramírez, 2020). En el Estado de México, se sabe que, de los 125 municipios, existen 35 municipios en donde hay presencia de comités comunitarios en algunas de sus localidades.

Esto significa que los sistemas municipales de agua potable no solo son operados por el ayuntamiento, sino que parte de los recursos son administrados directamente por la población, total o parcialmente, a través de un comité del agua (Jaimes, 2018).

### **3. Organismos operadores (OO)**

Un tercer modelo de gestión del agua en México, corresponde a los organismos operadores. Estos pueden ser descentralizados, o no, del gobierno municipal. La estructura de este sistema le permite atender problemas operativos, financieros o administrativos. Es un sistema que se caracteriza por ser formal, con la capacidad para vincularse con otros sectores (Jaimes, 2018). Los organismos operadores, a diferencia de las regidurías, es que estas no son descentralizadas y dependen de manera directa del ayuntamiento municipal; mientras que los organismos operadores son instituciones principalmente descentralizadas del gobierno municipal con cierta autonomía para administrar el servicio de agua, hacer el cobro de las tarifas autorizadas y hacerse cargo del mantenimiento y reparaciones.

En el Estado de México, se identifican 46 organismos operadores, de los 2,517 registrados a nivel nacional (INEGI, 2009). Estos OO están legalmente constituidos

y, la Comisión de Aguas de cada estado, posee un área de fortalecimiento para los organismos y constantemente trabaja con ellos para ayudarlos a gestionar los recursos que pueden emplearse para mejorar las áreas que así lo requieran (Jaimes, 2018). Aunque hay organismos que trabajan para el sector privado se encuentran 46 para el sector público en dicho estado.

Generalmente, el análisis de las instituciones responsables de la provisión de agua potable se ha hecho a nivel municipal; aunque el territorio real de actuación, en repetidas ocasiones, es menor, quizás a nivel localidad. Es importante mencionar que dentro de la gestión del agua, se sugiere “no” generalizar desde un inicio. Se ha visto que cada caso debe ser estudiado de manera independiente porque posee características particulares que lo hacen ser único y diferente a los demás. Por supuesto, puede haber algunas coincidencias que ayudarán a tener una mejor comprensión de contextos más amplios, como el de la cuenca. Así como se sabe de casos de faltas en el desempeño de algunos comités comunitarios, también se han identificado fallas y limitaciones en cada uno de los sistemas de gestión; por ejemplo, deficiencias en materia de integridad, transparencia y rendición de cuentas. Cada uno de los modelos tiene problemas pero también ventajas que favorecen su continuidad con respecto a otros (Jaimes, 2018).

Por todo lo anterior, este capítulo busca contribuir con el estudio del tipo de instituciones existentes que gestionan el agua en la cuenca del río Lerma para entender su organización, manejo del agua y lo correspondiente a la toma de decisiones que ayudan a la población a enfrentar las transformaciones del sistema.

De la misma manera, es importante tener un acercamiento a los patrones de manejo que caracterizan el aprovechamiento sociocultural de las aguas superficiales y subterráneas, así como los retos y oportunidades a los que se enfrentan estos sistemas socioecológicos y su población. La presente investigación toma como área de estudio comunidades del Estado de México que forman parte de la cuenca del río Lerma: Santiaguillo Tlalcilcali, San Francisco Tlalcilcalpan y San Mateo Oztzacatipan. Dentro de ellas, se realizaron entrevistas semiestructuradas, grupos focales y recorridos campo para observar la forma de vida de las poblaciones y las actividades cotidianas prestando atención al uso de agua potable.

Es importante añadir que para estudiar la gestión del agua público-urbana, a nivel localidad, es necesario comprender cómo se organizan las jerarquías (jurídicas, administrativas e institucionales) en la cuenca del Lerma. Cabe señalar que este trabajo considera casos de estudio de comunidades localizadas al interior de la cuenca, pero no en la cuenca completa; lo que busca es mostrar otras formas de gestión distintas a la formal. Es por ello que, en este capítulo, se caracteriza la organización regional en torno al agua, la forma de vida de las poblaciones, la calidad del servicio de agua que reciben y las formas de adaptación de la población para tener acceso a este recurso a pesar de las presiones externas de explotación. Se espera que los resultados contribuyan a explicar cómo la población se involucra con acciones que favorecen la gestión del agua al interior de una cuenca y si estas pueden contribuir a mejorar condiciones de calidad de vida de los habitantes.

En el contexto histórico, el análisis del marco jurídico de la gestión del agua y de los servicios de saneamiento en México refleja un sector hídrico complejo; en este, se

encuentra permisibilidades, similitudes entre niveles de gobierno, omisiones, contradicciones y retos que requieren solución. Dicha complejidad tendría no solo que entenderse, sino resolverse, pero no se ha logrado porque existen condiciones particulares, por comunidad, que requieren prácticas específicas según su ubicación geográfica, características físicas y orográficas, así como las prácticas socio-culturales, usos y costumbres que requieren ser consideradas al momento de tomar decisiones institucionales.

El conocimiento del entorno social, cultural y político de cada unidad de gestión (llámese comunidad, cuenca, municipio, estado) favorecería la comprensión del manejo comunitario del agua en función de las necesidades de las poblaciones. También es clave conocer las atribuciones y responsabilidades que tienen cada uno de los niveles de gobierno (federal, estatal y municipal), para entender la integración y decisiones de los comités de autogestión, así como las posibles articulaciones entre cada nivel. En este sentido, es innovador caracterizar el manejo comunitario del agua en la cuenca del río Lerma, para entenderlo como un proceso socioecológico en donde el aspecto cultural juega un papel importante en la gestión del agua.

El capítulo se estructura en cuatro partes. La primera define el pluralismo legal, también conocido en la literatura como “pluralismo jurídico”, y es definido como un enfoque para entender la existencia e interacción de regímenes de diferente origen; por ejemplo, entre uno oficial y uno legitimado por usos y costumbres. En la segunda parte, se hace una caracterización de la cuenca del río Lerma tanto física como

socioecológica y cultural. La tercera discute las medidas de adaptación de la población para tener acceso al agua. Finalmente, el capítulo presenta acciones que favorecen la gestión del agua potable en la cuenca alta del río Lerma. Este capítulo forma parte de una obra que busca contribuir con el conocimiento de cuencas en México y demostrar la importancia de la gestión integrada de cuencas, para el manejo y conservación de los recursos naturales, así como a la mejora en la calidad de vida de la población.

### **Normativas legales y consuetudinarias: convivencia legal plural**

Junto con las leyes, están las autoridades al igual que la política o las políticas a seguir. Se cometería un error si se considera que todos los territorios y en todos los niveles de gobierno se tiene las mismas reglas, actores y decisiones. En cada país y en cada nivel jerárquico existe reglas específicas que no necesariamente son escritas. Entre los tipos de reglas identificadas en la literatura académica están las provenientes del derecho estatal (legal, oficial, escrito), las sociolegales (no oficiales, no escritas, legitimadas por usos y costumbres y transmitidas verbalmente de generación en generación), la normatividad religiosa, las normas mercantiles y el derecho del mercado. Las reglas validadas por usos y costumbres son parte de lo que se conoce como derecho consuetudinario (Boelens, 2009). Entre las reglas sociolegales se encuentran las del derecho ancestral, indígena o tradicional.

Además, hay juegos de poder legítimos que involucran a las distintas autoridades (Boelens, 2011). En este sentido, es fundamental considerarlos para entender la

lógica de las negociaciones y, por tanto, las decisiones e implementación, así como las dinámicas e integración de los grupos que gestionarán la extracción, el aprovechamiento y la dotación de agua. En países como México, la convivencia de regímenes de gestión de distinto origen (del estado, religioso, civil, de mercado) todavía es constante; especialmente, cuando se trata de la gestión del agua porque en esta complejidad interactúan derechos de agua (federal, estatal, municipal, comunitario, indígena, familiar), derechos de acceso, derechos de propiedad y reglas de gestión tanto del estado como locales (Boelens, 2011).

El manejo y gestión del agua es un mundo diverso y cada caso es único. En especial, el manejo comunitario es complejo porque existe el interés de mantener el control del agua. Esto requiere de interacciones constantes entre usuarios de agua, autoridades locales, federales, comités comunitarios y, quizás, otros grupos de poder que buscan moldear las leyes para legitimar sus reglas y la implementación de las decisiones que les favorecen. Dicha legitimidad se reconocerá de acuerdo con las leyes válidas del grupo al que pertenezcan. No todos los actores mencionados interactuarán al mismo tiempo ni en todos los contextos. Hay casos que varían de territorio en territorio, por lo cual es importante contextualizar. A esta interacción de actores legitimados de formas diferentes se conoce como “pluralismo legal”, también es llamado “pluralismo jurídico” (Benda-Beckmann et al., 1998; Boelens, 2009; Boelens, 2011; Boelens y Vos, 2014; Roth et al, 2015).

El pluralismo legal se ha entendido como la combinación e interacción de sistemas oficiales y no oficiales, incorporados en la especificidad de contextos históricos y



culturales y con características socioecológicas especiales (Benda-Beckmann et al., 1998). En este sentido, los habitantes buscan tener y formalizar derechos para el control y acceso a recursos naturales, tales como el agua, bosques, entre otros. El agua ha ido consolidando su importancia por el valor que tiene en cada contexto (natural, vital, cultural, económico), así como fuente de dominio, por lo que se considera un recurso esencial y una comodidad que frecuentemente deriva en confrontaciones entre grupos de poder, pero también en sólidas colaboraciones entre grupos sociales (Boelens y Doornbos, 2001). Es decir, en sistemas locales de gestión que usan marcos normativos adaptados a su contexto para regular el agua con los conocimientos, herramientas y necesidades de su comunidad. Estos reglamentos o marcos normativos con identidades hídricas tradicionales, son legitimados por la población de la comunidad donde se propone, vota y legitima en asamblea comunitaria.

El pluralismo legal permite aceptar la convivencia de regímenes diferentes; es decir, el oficial, consuetudinario, religioso, de mercado en un mismo espacio para permitir la administración del agua de manera única. No en todos los niveles jerárquicos el agua se gestiona de la misma forma; hay municipios en donde se conoce por el trabajo de las autoridades municipales y por el de las regidurías de agua. Sin embargo, hay comunidades dentro del mismo municipio, en donde el agua es gestionada por ellas mismas, por su población, a través de la formación y del trabajo de los comités de agua. También se encuentran comunidades que han optado por tener un sistema mixto, en donde hay participación de la población comunitaria, organismos operadores, actores privados, por mencionar algunos. Allí es donde

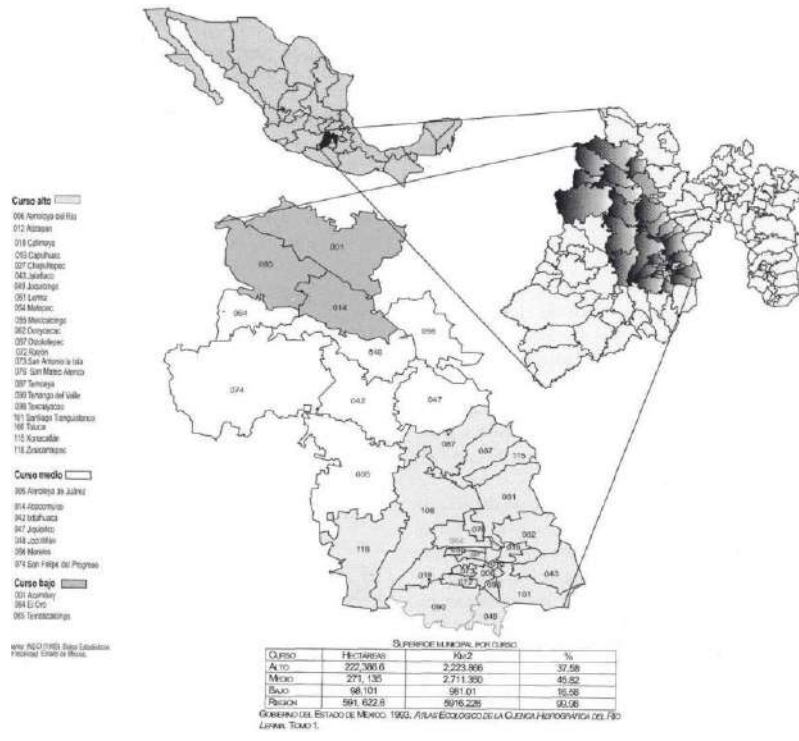
radica la importancia y reconocimiento de marcos normativos plurales para el manejo del agua, en donde la interacción entre lo oficial, no oficial y de mercado, le dan vida al aprovechamiento y uso del agua; pero también a conflictos asociados a esta convivencia.

## **Caracterización de la cuenca del río Lerma: variables geográficas**

### *Características físicas*

La cuenca del río Lerma es el espacio geográfico que alimenta al Lerma-Santiago-Pacífico. En términos hidrológicos es una de las regiones más extensas de México porque cruza por territorios de los siguientes estados: Estado de México, Querétaro, Michoacán, Guanajuato, Jalisco, Aguascalientes, Zacatecas y Nayarit. La cuenca completa se ha nombrado 'Lerma-Chapala-Santiago. La parte de la cuenca que atraviesa el Estado de México hacia el Noroeste y que limita con Querétaro y Michoacán se conoce como cuenca de Lerma y, para su estudio, ha sido dividida en tres partes: curso alto, curso medio y curso bajo. Para este capítulo se considerará el curso alto de la cuenca del río Lerma, cuyo flujo atraviesa las tierras altas, alrededor de la ciudad de Toluca, con altitudes que varían de los 2,360 msnm a los 2600 msnm, aproximadamente (Wester, 2008).

**Figura 3.1** Ubicación de la cuenca del Lerma, México.



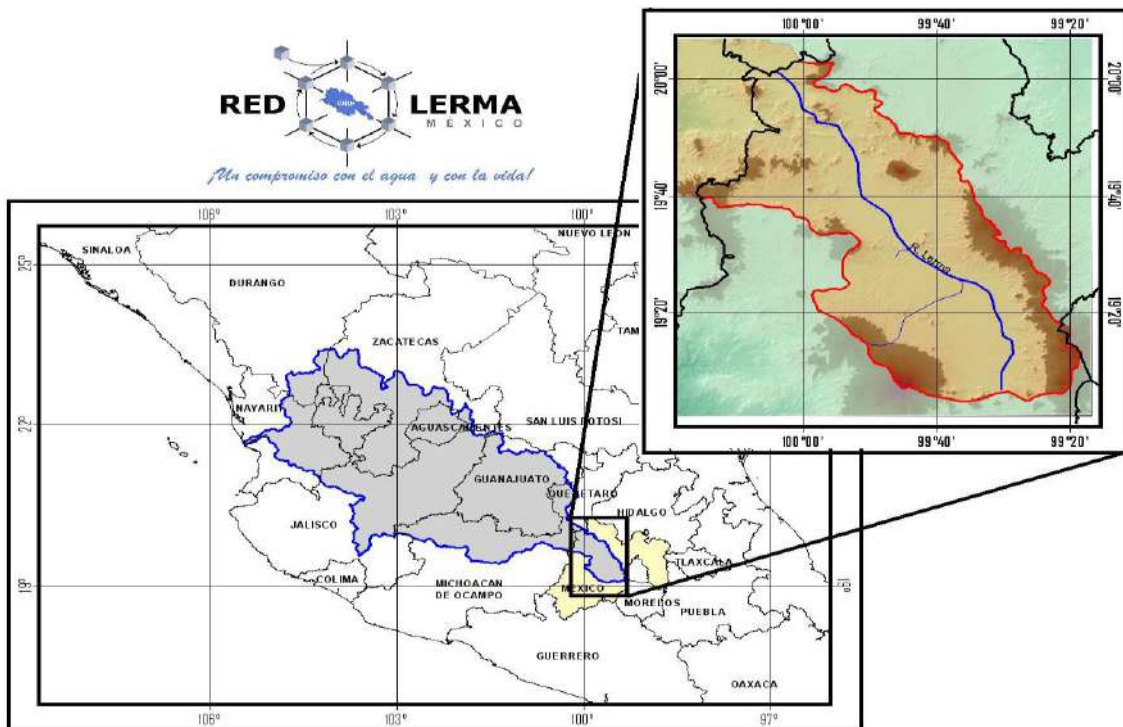
Fuente: Orozco y Sánchez (2004).

La cuenca del Lerma tiene un área aproximada de 5,146 km<sup>2</sup> y el cauce una longitud de 177.8 km. La altitud en el nacimiento del río es de 2,570 msnm y en la salida es de 2,360 msnm. En cuanto a especificidades del curso alto de la cuenca, se conoce que esta tiene una superficie de 900 Km<sup>2</sup> con una longitud del cauce de 60 Km. En ella se ha registrado que la precipitación media es de 700 mm/año. El 90 % de la precipitación cae entre los meses de mayo y octubre. La zona registra una temperatura media de 14°C, en la que resulta como máximo una temperatura de 17°C y mínima de 0°C. No obstante, en las áreas cercanas puede haber microclimas en donde también se registran temperaturas superiores a los 17°C e inferiores a los

0°C, en invierno. La evaporación es de entre 83 -150 mm (Red Mexicana de Recursos Hídricos, 2019)

La región del Lerma inicia en la cabecera del río, al Este de la cuenca, cerca de la ciudad de Toluca y 55 Km al Oeste de la Ciudad de México. El río Lerma inicia en el territorio del Estado de México y termina en el límite que colinda con Michoacán y Querétaro. Este límite cruza la presa de Solís, en Guanajuato (Red Mexicana de Recursos Hídricos, 2019). El río Lerma se alimenta de los afluentes provenientes de las laderas del volcán Xinantécatl o Nevado de Toluca y, a su vez, es una fuente que alimenta el acuífero.

**Figura 3.2** Localización del curso alto de la cuenca del Río Lerma



Fuente: Red Mexicana de Recursos Hídricos (RMRH, 2019).

En 1989, Contreras Domínguez estimó que el Estado de México tenía una disponibilidad de agua de 3929.1 millones de m<sup>3</sup>. De esta cifra, 18% aproximadamente (709.8 millones de m<sup>3</sup>) estaba disponible en acuíferos y cuerpos de agua superficiales localizados en la región del alto Lerma (GEM, 1984), que es un área rica en aguas. En esta parte de la cuenca el agua subterránea es la principal fuente de agua potable para consumo humano y para el desarrollo de actividades industriales, mientras que las aguas superficiales alimentan el ecosistema y desafortunadamente también recibe las aguas de desecho del sector industrial, la mayoría sin tratamiento previo. En esta zona, hay 2 acuíferos principales: a) Toluca, b) Ixtlahuaca-Atlacomulco, los cuales reciben ese nombre por el área en la que se localizan. Los principales cuerpos de agua superficiales son a) río Lerma, b) lagunas de Lerma (conocidas así por la población, aunque en términos geográficos son conocidos como lagos), c) la presa Antonio Alzate y d) la presa Ignacio Ramírez. A continuación, se describe las características geológicas, climatológicas y socioecológicas.

### *Geología y clima*

La cuenca alta del Lerma es un área de captación importante debido a su estructura geológica y la topografía montañosa que la rodea. Las rocas ígneas extrusivas son las predominantes y cubren el 57.5% del área de la región (Contreras Dominguez et al. 1989); otro 23.6% es cubierto por suelo aluvial, residual y lacustre, y un 18.9% representa rocas sedimentarias (SARH 1983). Estas características permiten la acumulación de agua superficial y subterránea. Cabe resaltar que el área, además,

se localiza sobre un sistema volcánico. En cuanto a la topografía, el 40.8% de la región es montañosa; 34.5% planicie, y el 24.7%, ondulado, con pequeños lomeríos. Las altitudes varían: 2570 msnm en el nacimiento del río; en las planicies se registran altitudes de aproximadamente 2580 msnm y, en el pico más alto del volcán nevado de Toluca, se llega a los 4680 msnm (CNA 1992; IMTA 2002).

Climatológicamente, en la región de Toluca y a lo largo de la cuenca del río Lerma se registra una variación que va de semiárido a subhúmedo, con 90 % de lluvias registradas en la temporada entre mayo y octubre; por lo tanto, es el periodo con mayor disponibilidad de agua, gracias a la recarga natural de los acuíferos. No obstante, las lluvias son variables fuera de este periodo. Durante la estación seca, de noviembre a abril, es cuando se conoce el mayor número de problemas de disponibilidad de agua, y frecuentemente se tiene problemas de abastecimiento por parte de las instituciones que participan en la gestión y dotación de agua potable. Este decremento en su disponibilidad genera mayores costos para el acceso al agua por parte de los usuarios y el incremento en el costo del agua por parte del sector privado que la comercializa en un mercado privado local.

Como se mencionó anteriormente, en la década 1991-2001, las estadísticas mostraron un promedio de precipitación media anual de 722 mm/año. El dato de la precipitación mínima registrada ha sido de 494 mm, en 1999, y una máxima de 1022 mm, en 1958 (IMTA 2002). Por otro lado, las temperaturas mensuales varían de los 14.6°C en enero a los 21.3°C en mayo (Wester 2008).

## Características demográficas

**Tabla 3.1** Población total de la cuenca del río Lerma

MUNICIPIO	TOTAL	HOMBRES	MUJERES
<b>Estado de México</b>	<b>16,992,418</b>	<b>8,251,295</b>	<b>8,741,123</b>
<b>Curso alto</b>			
Almoloya del Río	12,694	6,150	6,544
Atizapán	12,984	6,287	6,697
Calimaya	68,489	33,388	35,101
Capulhuac	36,921	17,778	19,143
Chapultepec	12,772	6,165	6,607
Xalatlaco	30,687	14,952	15,735
Joquicingo	15,428	7,543	7,885
Lerma	170,327	83,968	86,359
Metepec	242,307	115,997	126,310
Mexicaltzingo	13,807	6,753	7,054
Ocoyoacac	72,103	35,221	36,882
Otzolotepec	88,783	43,447	45,336
Rayón	15,972	7,749	8,223
San Antonio la Isla	31,962	15,421	16,541
San Mateo Atenco	97,418	47,481	49,937
Temoaya	105,766	51,532	54,234
Tenango del Valle	90,518	44,490	46,028
Texcalyacac	5,736	2,821	2,915
Tianguistenco	84,259	40,847	43,412
Toluca	910,608	439,173	471,435
Xonacatlán	54,633	26,758	27,875
Zinacantepec	203,872	99,506	104,366
<b>TOTAL</b>	<b>2,378,046</b>	<b>1,153,427</b>	<b>1,224,619</b>
<b>Curso medio</b>			
Almoloya de Juárez	174,587	87,130	87,457
Atlacomulco	109,384	52,218	57,166
Ixtlahuaca	160,139	76,775	83,364
Jiquipilco	76,826	36,464	40,362
Jocotitlán	69,264	33,245	36,019
Morelos	33,164	15,970	17,194
San Felipe del Progreso	144,924	69,328	75,596
<b>TOTAL</b>	<b>768,288</b>	<b>371,130</b>	<b>397,158</b>
<b>Curso bajo</b>			
Acambay de Ruíz Castañeda	67,872	32,617	35,255
El Oro	36,937	17,918	19,019
Temascalcingo	66,414	31,897	34,517
<b>TOTAL</b>	<b>171,223</b>	<b>82,432</b>	<b>88,791</b>
<b>TOTAL CUENCA</b>	<b>3,317,557</b>	<b>1,606,989</b>	<b>1,710,568</b>

Fuente: Elaboración propia con base en el Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI.

Dentro de la cuenca del río Lerma, se localizan las localidades objeto de estudio de este documento: Santiaguito Tlalcalcali, San Francisco Tlalcalcalpan y San Mateo Oztzacatipan.

### *Características socioecológicas y culturales*

México es un país al que se le reconoce una importancia histórica por las tradiciones de 'alta cultura' por la riqueza natural que se tiene, la diversidad paisajística, alimentaria, culinaria, socioecológica y cultural; además, porque también se le conoce por la experiencia y prácticas que han tenido los pueblos milenarios en términos culturales. Estos conocen y recaban sus pensamientos, tecnologías, lengua, modelos económicos y arte para definir el mundo, su mundo, en un ambiente de respeto, amor por la naturaleza y sus elementos, entendiéndose como parte de ella y no sobre ella. Los pueblos originarios reconocen la importancia de la vida en el planeta Tierra; se identifican con sus raíces, son partícipes de las dinámicas sociales y naturales y hacen sinergia entre ambos sistemas, el social y el natural, al que reconocen como uno (Hinostraza y Dudet, 2011).

Estas características permiten al país recibir la denominación de 'alta cultura'. Casos similares también se han identificado en Indonesia, Perú, Guatemala, Bolivia, India y, dentro de México, también en el sistema de organización social hídrica en la cuenca alta del río Lerma. En este espacio geográfico, la organización social de las áreas rurales y urbanas ha estado estrechamente relacionada con la irrigación y la producción de alimentos que abastecían a las zonas urbanas y rurales de la cuenca de Lerma y la zona metropolitana de la Ciudad de México. Junto con estos elementos, sigue vigente la organización del agua a nivel comunitario y la autogestión no solo para regular el agua y quiénes tienen los derechos sobre ésta



para usos sociales, sino también para legitimar los derechos del agua que se usa para la agricultura (Korsback, 1982; Korsback, 1995; Sandoval Forero, 2001; Gómez Peralta, 2005; 2015; Gómez et al., 2017;). Casos parecidos a este han sido estudiados en otros territorios mexicanos (Gómez Carpinteiro, 2002), así como en territorios andinos (Boelens y Doornbos, 2001). En pleno siglo XXI, todavía hay gobiernos de los países herederos de tradiciones de alta cultura que siguen limitando que sus pueblos originarios se incorporen a la vida nacional respetando la autodeterminación que por tradición han adquirido (Hinostroza y Dudet, 2011), lo que genera desigualdades en el acceso a recursos naturales.

Para entender mejor el manejo comunitario del agua en el curso alto de la cuenca del río Lerma, es indispensable conocer los diferentes regímenes legales plurales que tienen participación en la gestión del agua. Estos han posibilitado procesos socioecológicos que dan cabida a la participación ciudadana, a los gobiernos, al sector privado y a sistemas de gestión híbridos. De esta manera, en estudios académicos, se ha encontrado que los orígenes historicoculturales del sistema de organización social hídrica en la cuenca alta del río Lerma tiene tres formas: 1) comités de agua, 2) regidurías de agua y 3) organismos operadores (Estrada y Franco, 2004; Campuzano, 2015; Campuzano, 2019). Es decir, en este territorio es posible encontrar las 3 formas de organización hídrica. No todas se vinculan al mismo tiempo ni aplica por igual en todas las comunidades ni municipios, pero sí es posible identificar una u otra en distintos espacios; incluso, es posible encontrar sistemas mixtos, híbridos, dentro de una comunidad, para gestionar el agua y los distintos usos de este recurso.

Para contextualizar el acceso y gestión del agua a nivel comunitario, y comprender su importancia socioecológica y cultural, es relevante decir que la cuenca Lerma-Chapala-Santiago es considerada una región estratégica para México, dada su importancia económica y social (Red Mexicana de Recursos Hídricos, 2019). Sin embargo, la abundancia natural de la zona y la calidad de los recursos hídricos y de suelo, han hecho que el aprovechamiento y explotación de ellos sea excesiva y, por tanto, se han ido desarrollando y acentuando distintos problemas a lo largo de la cuenca. Entre estos problemas se encuentra la explotación excesiva de los acuíferos, aunque los manantiales también han tenido daños severos; la contaminación constante de cuerpos de agua; las aguas superficiales son las que registran los niveles más altos de contaminantes; acceso inequitativo al agua; incremento en la demanda de esta y contextos de escasez creada por falta de acceso al agua potable; además, el uso ineficiente del agua también acentúa problemas y detona conflictos. Así mismo, han sido identificados problemas de gestión relacionados con la falta de experiencia y el frecuente déficit financiero al que se enfrentan algunas instituciones del agua.

Para hacer frente a estos problemas, tanto la población como las autoridades de los comités de agua han tenido que encontrar medidas que les faciliten el acceso al agua así como la generación de formas de adaptación ante los constantes problemas de agua que a diario enfrentan. La siguiente sección discutirá sobre las formas de algunas comunidades que autogestionan su acceso al agua.

## **Adaptación de la población para tener acceso al agua**

Distintas comunidades localizadas a lo largo del curso alto de la cuenca del río Lerma se organizan por usos y costumbres para asumir la gestión del agua. Aun cuando es posible conocer varios casos de autogestión, también es importante decir que en el Estado de México, la autogestión no es la única forma de organizar el aprovechamiento del agua. En este territorio, se han identificado tres formas de gestión: 1) por regidurías del agua, 2) a través de organismos operadores, y 3) por comités de agua comunitarios.

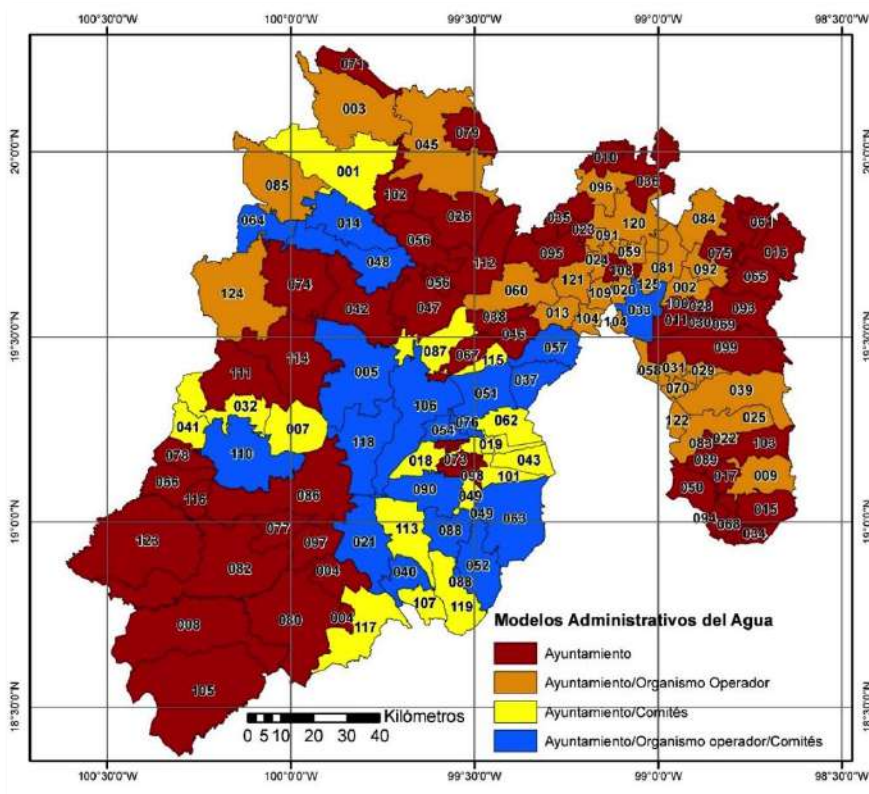
De estos rubros, de los 125 municipios que integran el Estado de México, aunque no todos forman parte del curso alto de la cuenca del río Lerma, en 35 se han encontrado formas de gestión del agua con la presencia de comités comunitarios. Esto significa que los sistemas de dotación de agua potable, su operación, administración y mantenimiento son operados totalmente por el comité comunitario elegido por su población y no por el ayuntamiento. Los comités se rigen en su mayoría por el derecho consuetudinario o por el sistema de cargos (Anzures, 2016, Jaimes, 2018). Es frecuente que en un municipio se encuentren varios casos en donde las comunidades asumen la responsabilidad del servicio de agua potable. También es importante decir que se identifican casos de éxito y casos con problemas en el abastecimiento de agua y, ante esos casos, la población ha tenido que adaptarse para lograr tener acceso al agua. Más adelante se discutirá sobre las formas de adaptación de la población.

Por un lado, en 46 municipios, el manejo del agua se hace a través de organismos operadores, que son un modelo de gestión descentralizado, con una estructura organizacional que tiene capacidades para operar el servicio y atender los aspectos financieros y administrativos, así como generar vinculación con otros sectores. Por otro lado, en 62, se ha identificado que el ayuntamiento es quien controla y administra los recursos hídricos, lo hace a través de una coordinación o dirección municipal o una regiduría con comisión de agua (Jaimes, 2018) (Ver Figura 3.2). Los tres modelos de gestión anteriormente mencionados tienen ventajas y también dificultades.

No en todos los municipios ni en todas las comunidades se encuentra los tres tipos de gestión. Hay municipios, principalmente al Suroeste del Estado, en donde el ayuntamiento municipal es el único gestor del agua. En varios de los municipios que limitan con la Ciudad de México se ha encontrado, además del ayuntamiento, presencia de organismos operadores. A lo largo del curso alto de la cuenca del Río Lerma, también se suman a los modelos de gestión los que son dirigidos por un comité comunitario. En la figura 3.2, se identifica que la mayor parte de municipios que reportan tener presencia de comités comunitarios son los que se localizan en la cuenca del Río Lerma. No significa necesariamente que los tres modelos interactúan y se comunican entre sí para administrar los recursos hídricos, pero sí, que dentro del territorio municipal existen los tres tipos de gestión trabajando en diferentes niveles. El comité comunitario lo hace dentro de su localidad, de tal manera que en un municipio pueden identificarse varios comités en los que, incluso, se llegan a identificar dos o más comités en un mismo municipio y hasta en una

misma localidad. Cada localidad tiene sus propias experiencias con casos especiales. Entre los tipos de interacciones se han encontrado las siguientes: ayuntamiento y organismo operador, ayuntamiento y comités comunitarios, comité comunitario y organismo operador.

**Figura 3.3** Modelos de gestión del agua en el Estado de México



Fuente: Jaimes Pulido (2018). Trabajo de campo. Elaborado con base en datos proporcionados por la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM), 2017.

Finalmente, aunque no hay cifras exactas, también se ha identificado sistemas mixtos, en donde puede haber interacción de organismos operadores, comités comunitarios o regidurías de agua (Jaimes Pulido, 2019) que comparten la

administración con las autoridades que representan alguno de estos modelos o con todos; es decir, se presentan casos en donde hay comités comunitarios que proveen el servicio de agua, mientras que el ayuntamiento municipal recaba las finanzas por el abastecimiento del agua. No obstante, la existencia de instituciones especializadas en temas de agua y dedicadas enteramente a la gestión de este recurso, con frecuencia, tienen registros de fallas en la provisión del servicio de agua potable, en el manejo de recursos financieros, en el cobro por los derechos de acceso al agua, entre otros problemas. También es sabido que un punto débil que tienen en común, es que, en todos los modelos de gestión, se tiene problemas de transparencia y rendición de cuentas (Becerril Tinoco, 2012; Jaimes Pulido, 2019). En los tres modelos, se han encontrado casos de éxito y también casos con conflictos.

En el curso alto de la cuenca del río Lerma, el agua que gestionan los comités es la de los acuíferos de Toluca e Ixtlahuaca-Atlahcomulco y para poder hacer uso de este recurso, es necesario cumplir con los requisitos que se solicitan legalmente, tal como tener un permiso, un título de concesión vigente otorgado por la Comisión Nacional del Agua (CNA) o un documento formal histórico que acredite a la institución comunitaria que tiene los permisos necesarios para hacer uso de un volumen específico y asumir el control del manejo, operación y mantenimiento del servicio de agua potable para su comunidad. Además, es importante que exista al menos un comité comunitario legítimo que le permita ser reconocido como la autoridad responsable de la provisión del servicio de agua en la comunidad.

La forma de organización de un comité está compuesta principalmente por un presidente, un secretario y un tesorero. Existen comunidades en las que además eligen un suplente para cada puesto y, dependiendo de las necesidades de la comunidad y el equipo de gestión, incluyen un técnico que apoya con las revisiones y reparaciones, todas tienen un pocero (quien tiene el conocimiento técnico del manejo del pozo y el sistema de bombeo). A pesar de la organización y los sistemas tradicionales de gestión, se sabe que múltiples casos tienen problemas en el abastecimiento del agua a las viviendas. Los principales problemas derivan del escaso manejo de las finanzas y las constantes pérdidas económicas resultantes de la falta de integridad de algunos miembros del comité. También se ha encontrado que la mayoría enfrenta déficits económicos por la falta de pago de los usuarios del agua (Becerril Tinoco, 2012), lo que provocan deudas del comité con otras instituciones como la Comisión Nacional de Electricidad (CFE) por no completar para el pago de luz por el bombeo de agua potable y la probable suspensión del servicio. Esto acarrea consecuencia como la interrupción del suministro en la población por un tiempo prolongado y, por lo tanto, varios usuarios deciden suspender el pago al comité (debido a la falta de agua y porque se generan gastos extras para pagar pipas por ser más costosa, y dependiendo de la comunidad y la estación del año el costo del agua también incrementa).

Ante los problemas mencionados, son planteadas las estrategias por parte de la población para adaptarse a situaciones de insuficiencia o escasez de agua para consumo humano. Entre las principales medidas se enuncian las siguientes:

- Adaptación ante la instalación de la red de agua potable, cuando la familia tenía resuelto el acceso al agua en un pozo familiar.
- Adaptación ante la insuficiencia o falta de agua potable a través de la red
- Adaptación al incremento en los costos por el agua

### *Adaptación a la red de agua potable*

La capacidad de adaptación de la población a una red de agua potable ha sido lenta. En México, la red de agua comenzó a instalarse, en la mayor parte de municipios a mediados del siglo XX, cuando el modelo económico buscaba sentar las bases para promover el desarrollo industrial. Ante esa medida, no todas las comunidades se adaptaron inmediatamente a este requerimiento porque sus necesidades y estructura era diferente a los estándares señalados a nivel nacional e internacional. Múltiples comunidades parecían manejar mejor sus recursos hídricos subterráneos cuando cada familia tenía su propio pozo o noria en casa o tenía uno para el aprovechamiento de varias familias.

### *Adaptación ante insuficiente agua*

Las familias que habitan en viviendas donde frecuentemente se carece de agua potable han tenido que adaptarse a las contingencias y también desarrollar capacidades de adaptación para enfrentar los problemas de insuficiencia. La acción que más se ha identificado es la compra de agua embotellada, en garrafones de 20 litros. También se tiene registros de la compra de agua potable a los piperos locales,



es decir, el agua en venta se transporta en pipas de 10,000 o 15,000 litros; a su vez, los piperos compran el agua a concesionarios privados. Esta medida la han normalizado los habitantes con constantes reestricciones en la dotación de agua a través de la red, para abastecerse y tener reservas de agua almacenada en sus hogares. Además, otra medida que han tomado los habitantes es pedir apoyo a vecinos o familiares cercanos para poder tener acceso a la fuente de agua de la que ellos disponen; es decir, para aquellos que sí reciben el líquido a través de la red de agua potable, algunos vecinos piden autorización a los dueños de la vivienda para poder tener acceso a su toma y transportar agua, ya sea en algunos contenedores o recipientes chicos, hasta su vivienda. Las tres medidas mencionadas regularmente son utilizadas para cubrir necesidades básicas (beber y preparar alimentos); sin embargo, en algunas comunidades, por otras necesidades y satisfactores, se ha optado por la recolección de agua de lluvia como medida para tener otras cantidades que puedan ser utilizadas para irrigación de plantas y cultivos, crianza de animales domésticos, baños, entre otros.

La construcción de cisternas, instalación de tinacos o alguna otra fuente de almacenamiento de agua son otras medidas que, implementadas no solo en la cuenca del río Lerma, sino en México, ayuda a los usuarios domésticos a resolver necesidades básicas sin tener que preocuparse por los días de dotación del servicio de agua potable. Este tipo de observaciones lleva a Bourguett Ortiz et al. (2007) argumentar que la presencia de cisternas y tinacos son un reflejo de la baja calidad del servicio de agua potable que la población recibe. Hallazgos obtenidos del trabajo de campo sugieren que almacenar agua potable no únicamente ayuda a los usuarios

domésticos a ahorrar en la compra de agua, también significa que quienes la almacenan tienen agua cuando la necesitan (Becerril Tinoco, 2012). Aun así, es importante decir que no todos los ciudadanos que habitan en el alto Lerma tienen y pueden pagar la compra de agua en pipas o la construcción de cisternas porque implica destinar un presupuesto extra que no todos pueden financiar. En la zona de estudio, la presencia de pipas de agua, cisternas o contenedores para almacenar agua no únicamente es evidencia de una baja calidad en el servicio de agua potable. También, refleja las diferencias financieras que hay entre los usuarios domésticos (los habitantes con menos recursos económicos), mismas que limitan su presupuesto para poder y estar dispuestos a pagar por el servicio de agua potable. A su vez, si no hay pago suficiente colectado por los comités de agua, la gestión del servicio de agua potable se ve afectada y, con ello, la gestión y reputación de la institución responsable que, en el caso de múltiples comunidades a lo largo de la cuenca, recae en los comités comunitarios.

#### *Adaptación al incremento en los costos por el agua*

A pesar de la desventaja económica que los usuarios de agua de las comunidades peri-urbanas llegan a enfrentar, con respecto a los de las zonas urbanas de la cuenca del río Lerma, también son quienes más recursos económicos gastan en el pago por tener acceso al agua potable porque, recurrentemente, se ven en la necesidad de comprarla. Ellos afirman que los vendedores privados de agua les permiten tener acceso a este recurso vital, cuando los procedimientos de gestión y manejo del agua por parte de las autoridades consuetudinarias u oficiales generan

cortes en la provisión del servicio y reestrcciones constantes que impiden que el agua sea distribuida a través de la red. La compra tiene un costo diferente entre las regiones: en algunos puntos del curso alto, los costos del agua de la pipa, de 10,000 litros, varía de entre \$350 pesos mexicanos (MXN) a los \$450, en temporada de lluvias; sin embargo, este costo podría incrementar en temporada de secas. Hoy en día, en 2024, con los periodos extensos del periodo de secas y la disminución general de agua en cuerpos de agua superficiales y subterráneos, según lo observado en campo y en distintos puntos del Estado de México y cuenca alta del río Lerma, el costo de la pipa de 10,000 litros llega a costar \$1000 MXN. El precio del agua también varía dependiendo del área donde se ubique la vivienda o de si existe buena accesibilidad al lugar o de la alta demanda de agua para consumo humano en una temporada específica.

En entrevistas realizadas a algunos habitantes de la región, se comentó que el agua de una pipa puede llegar a durar, en promedio, un mes. Esto también dependerá del uso y el número de habitantes. La compra de agua en pipa o embotellada para los habitantes de las comunidades es vista como un alivio y menor estrés, a pesar del elevado costo que deben pagar por ella; de lo contrario, coinciden en que sería una dependencia total si tuvieran que esperar a los días de abastecimiento y que el agua realmente llegue a través de la red de agua potable. Sandoval y Günther (2015) muestran un caso de éxito, en donde la organización social de manera coordinada para el manejo del agua, permite resaltar los conocimientos tradicionales de autogestión de las comunidades. En la actualidad, estos aportan a la sostenibilidad del sistema socioecológico local, a la preservación cultural y al

ambiente en general. Además, es capaz de enfrentar con éxito las necesidades de abasto de agua para la población. Casos similares se encuentran en Bastian y Vargas (2015) y Ruíz Meza (2017).

### **Acciones que favorecerían la gestión en la cuenca alta del río Lerma**

Dado que no existe un único modelo de gestión para el manejo de agua a nivel cuenca, que permita proveer un servicio con calidad, es importante tener presentes algunas acciones para su mejora. Entre ellas, se podrían enumerar las siguientes:

- 1) Consideración de la cuenca como unidad de planeación y gestión de recursos hídricos (Cotler Helena y Caire Georgina, 2009).
- 2) Involucrar a la población local en la toma y legitimación de las decisiones y, en las comunidades que ya lo hacen, se sugiere no perder comunicación con sus habitantes. La participación ciudadana fortalece las capacidades locales para resolver problemas y complejidades internas y externas y, con ello, facilitar el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes.
- 3) Es importante la participación de los usuarios en decisiones importantes relacionadas con la infraestructura, gestión y provisión del servicio de agua. En comunidades donde sí se ha hecho, se ha facilitado la implementación de las decisiones.
- 4) El proceso de desarrollo y fortalecimiento social no es inmediato, es de largo plazo y de adopción voluntaria de prácticas, usos y costumbres aceptadas por la población (Cotler Helena y Caire Georgina, 2009).

- 5) Otra medida se relaciona con el pago oportuno de los usuarios (supone que únicamente cubre lo correspondiente al costo de la operación). Además, el pago del servicio permitiría: a) recabar suficiente presupuesto para otros pagos derivados de la provisión del servicio de agua; entre estos, se encuentran el de electricidad y los derechos de agua (cuando se tiene que renovar el título de concesión aceptado por la Comisión Nacional del Agua). También hay pagos extraordinarios que deben ser cubiertos para dar mantenimiento a la red y a los pozos, así como hacer las reparaciones correspondientes cuando es necesario.
- 6) Se sugiere que los miembros del comité puedan recibir un salario por el servicio que prestan a la comunidad. De esta manera reciben un ingreso que les permitiría proveer a su familia y dedicar tiempo de calidad a la gestión del agua comunitaria. Esta actividad, en la mayoría de casos, se provee solo en tiempos fuera de los laborales porque los miembros del comité asisten primero a su lugar de trabajo (el reenumerado) y en otros horarios y fines de semana prestan el servicio comunitario.
- 7) Legitimar tanto las decisiones como a las autoridades es indispensable para que haya respeto a los acuerdos que se tienen entre las autoridades locales y los habitantes comunitarios.
- 8) También es importante que haya adaptaciones y mejoras en la legislación, para reconocer la existencia de comunidades con autogestión y facilitar que los miembros de los comités puedan tener acceso a talleres de actualización para reforzar la comprensión del ciclo hidrológico, finanzas y otros temas que les sean indispensables para la gestión del agua. Asimismo, sería importante

que la legislación actualizada esté pensada para alcanzar ventajas sociales comunes adaptadas a los continuos requerimientos sociales, más allá de los intereses políticos o personales de algunos gobernantes o de las promesas hechas en campañas electorales.

- 9) Finalmente, es importante ser sensibles a cada contexto. Al hablar de territorios hidrosociales y socioecosistemas, hay aspectos únicos que deben ser considerados, en la medida de lo posible, para que las decisiones y su implementación estén orientadas a las necesidades de las diferentes poblaciones.

### **Consideraciones finales**

Con el análisis hecho en este capítulo, se puede identificar que el manejo de cuencas es importante para contextualizar y comprender la dinámica de gestión del agua a nivel comunitario. Conocer y entender el espacio geográfico de una cuenca, subcuenca o microcuenca ayuda a contextualizar de mejor manera los temas de manejo de agua, las dinámicas de gestión, acuerdos, actores, ciclo hidrológico y el espacio físico de donde se obtiene el agua. De acuerdo con Pineda (2019), hay procesos sociales y culturales que no pueden separarse de la integridad de una cuenca. Por ello, es importante continuar con los estudios de este tema, analizar su integridad y no centrarse únicamente en la salud física de esta.

Como se mencionó anteriormente, la presencia de pipas de agua, así como otras facilidades para almacenarla refleja diferencias socioeconómicas y desigualdades.

De acuerdo con el trabajo de campo realizado en la cuenca alta del Lerma, la mayoría de viviendas tienen una pileta, tinaco o algún contenedor de agua. La presencia de cisternas, tinacos, contenedores dentro o fuera de la vivienda, cubetas de almacenamiento resultan ser una acción colectiva implementada a través de los años por los usuarios domésticos, para lidiar con las constantes irregularidades en el suministro de agua e insuficiencia de la misma; a partir de estas previsiones, tener agua con suficiente presión para los momentos en que la necesitan, independientemente de si el servicio que reciben se suministra diariamente, cada tercer día, semanal o mensualmente. Es una acción colectiva porque, aunque la construcción de los tanques para almacenar agua no se hizo al mismo tiempo, sí es una forma de enfrentar las dificultades y escasez creada, causada por la provisión variable de un servicio público.

Asimismo, se requiere considerar a la pluralidad de actores involucrados en el proceso de gestión porque contribuye a una mejor comprensión de las dinámicas socioculturales y legales plurales. La interacción entre, al menos, dos sistemas legales plurales dedicados a la gestión del agua pueden fortalecer y mejorar la calidad del servicio potable, solo si las responsabilidades y tareas correspondientes a cada actor e institución se definen y se cumplen apropiadamente. No obstante, se requieren recursos financieros para implementar las decisiones legitimadas por la población. De esta manera, también se necesita una inversión dedicada exclusivamente al mantenimiento y reparaciones de la infraestructura, así como una recolección exitosa del pago de los usuarios para cubrir los gastos de operación, mantenimiento y reparación.

Los resultados del trabajo de campo también permitieron identificar que los incentivos para pagar por el servicio son importantes, de tal manera que sean viables y financiables para los usuarios domésticos con menores ingresos, variables o condiciones económicas desfavorables. Los miembros de los comités comunitarios, además, piensan que es importante ofrecer incentivos a los usuarios que no tienen la capacidad de pago porque los animan a hacer un esfuerzo por pagar parte de la deuda que van acumulando y que deben al comité. Para cerrar este capítulo se sugiere que para futuras investigaciones se profundice en estudiar qué tan dispuestos están los usuarios a pagar por el servicio de agua que reciben.

Finalmente, es importante destacar que una contribución importante de este capítulo es el reconocimiento y definición de tres formas de gestión del agua identificadas en el curso alto de la cuenca del río Lerma: por regiduría, por sistema comunitario y por organismo operador del agua potable.



## Bibliografía

Aguilar A, E. (2011). Gestión comunitaria de los servicios de agua y saneamiento. Su posible aplicación en México. *MDG Achievement fund*. Naciones Unidas. México, D. F.

Anzures V., E. (2016).: *Procesos de Gobernanza en el Municipio de Toluca. Comparación de la Gestión del Servicio de Agua Potable: Organismo Operador y Comités Comunitarios*. [Tesis de maestría, CIRA, UAEMex].

Anzures V, E.(2020). *Diseño táctico integrado de un comité comunitario de agua para la gobernanza e integridad con enfoque de GIRH*. [Tesis de Doctorado, presentada para obtener el grado de Doctor en ciencias del agua. Línea de investigación Gestión Integrada del Agua. Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA), Universidad Autónoma del Estado de México].

Bastian, Á. y Vargas, S. (2015). Entre la ley y la costumbre. Sistemas normativos y gestión comunitaria del agua en Tetela del volcán, Morelos. *Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, núm. 5. pp 45-73.

Becerril-Tinoco, C.A. (2012). *Governance of the drinking water supply service: a case study of three mexican communities*. [PhD thesis. University of East Anglia]. UK. [https://scholar.google.com.mx/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=kcev1SsAAAAJ&citation\\_for\\_view=kcev1SsAAAAJ:u5HHmVD\\_u08C](https://scholar.google.com.mx/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=kcev1SsAAAAJ&citation_for_view=kcev1SsAAAAJ:u5HHmVD_u08C)

Benda-Beckmann, F.; K. Benda-Beckmann; y Spiertz, J. (1998). Equity and legal pluralism: taking customary law into account in natural resource policies. En Boelens and Dávila (Coords). *Searching for equity. Conceptions of justice and equity in peasant irrigation*. Ed. Van Gorcum, Assen.

Boelens, y Doornbos, Bernita (2001). The battlefield of water rights: Rule making amidst conflicting normative frameworks in the Ecuadorian highlands. *Human organization*, 60 (4), 343-355.

Boelens, R. (2009). Aguas diversas. Derechos de agua y pluralidad legal en las comunidades andinas, *Anuario de Estudios Americanos*, 66 (2), 23-55.

Boelens, R. (2011). Luchas y defensas escondidas. Pluralismo legal y cultural como una práctica de resistencia creativa en la gestión local del agua en los Andes/ Hidden Struggles and Defences. Legal and cultural pluralism as a creative Resistance Practice in local Andean water Management. *Anuario de Estudios Americanos*, 68 (2), 673-703, ISSN: 0210-5810.

Boelens, R y Vos, Jeroen (2014). Legal pluralism, hydraulic property creation and sustainability: the materialized nature of water rights in user-managed systems. *Current opinion in environmental sustainability*. 11, 55–62.

Bourguett O., V., Romero, García, y Alcocer (2007). Indicadores de gestión para la evaluación del desempeño de prestadores de servicio a través de un ente regulador. en Martínez, Bourguett, Donath de la Peña, y Cruz [Eds.], *Gestión y Regulación de los servicios de agua potable y saneamiento. La experiencia mexicana e internacional* (210), IMTA.

Campuzano Salazar, A. J. (2015). *AEPA social en la GIRH conceptualización y jerarquización con análisis multicriterio: caso Toluca de Lerdo*. [Tesis de Doctorado en Ciencias del Agua no publicada. Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)], Toluca, México.

Campuzano, A. J. (2019). Sistemas de cargos y manejo del agua potable en los comités de Toluca de Lerdo. Artículo. *Tecnología y Ciencias del agua*. 10(1), 52-84. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua DOI: 10.24850/j-tyca-2019-01-03

CNA (1992). *Estudio Geohidrológico de algunas porciones de la cuenca del Río Lerma*. [Informe Final. Volumen 1. Texto. Contrato No. SGAA-91-11], EXYCO, S.A.

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) (2022). *Constitución publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de febrero de 1917. Texto vigente*. (Última reforma publicada DOF 18-11-2022 vista en línea: 6/04/2023). <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>

Contreras Domínguez, W., Serrano B., R., Madrigal Uribe, D., Carpinteyro I., E. y Rodríguez P., M. (1989) *Situación actual y perspectivas de los recursos forestales, suelo y agua de la región valle de Toluca, Toluca, México*. Facultad de Planeación Urbana y Regional. UAEM.

Cotler y Caire (2009). *Lecciones aprendidas del manejo de cuencas en México*. Instituto Nacional de Ecología (INE), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., WWF, la Organización Mundial de Conservación. ISBN: 978-968-817-904-8.

Estrada, A. y Franco, H. (2004). Entre la ley y la costumbre: El uso y manejo del agua potable en el municipio de Temoaya, Estado de México, *Páramo del campo y la ciudad*, núm. 7, diciembre, Centro de estudios sobre marginación y pobreza del Estado de México.

GEM (1984). *Esquema Hidráulico del Estado de México*. (Informe preliminar. Unpublished document), México: SARH.

Gómez C., F. C. (2002), Costumbres comunes, derechos individuales. Barrios y agua en Izúcar, Puebla. *Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad* [en línea] 2002, XXIII (invierno): [Fecha de consulta: 13 de marzo de 2019] Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13708902>> ISSN 0185-3929

Gómez C., B; Romero C, A. T. y Vizcarra B, I (2017). Visibilización de la participación femenina en los comités comunitarios de agua potable de Toluca, Estado de México. *Sociedad y ambiente*. Año 5, núm. 15, noviembre 2017- febrero 2018.

Gómez P. (2005). Los usos y costumbres en las comunidades indígenas de los Altos de Chiapas como una estructura conservadora. *Estudios Políticos*, núm. 5, Octava época, mayo-agosto, 2005.

Hinojosa, A. (2014). *Estudio comparativo de gestión del agua entre el derecho consuetudinario y la ley en qanats* [Tesis de Doctorado en Ciencias del Agua, Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)], Toluca, México.

Hinostroza G., L y Dudet Peraldi, M. (2011). *Chamanismo: medicina y religión de los pueblos originarios de tradición de alta cultura americana (maya, mexihka-azteca e inca)*. Bloomington, IN: Palibrio.

IMTA (2002) *Revisión y adecuación del modelo dinámico de la Cuenca Lerma-Chapala y aplicación de diversas políticas de operación y manejo integrado del agua*. [Informe final. Proyecto TH-0240. Unpublished document].

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) (2009). *Panorama censal de los Organismos operadores de agua en México*. INEGI. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/economicos/2009/agua/Mono\\_Orgs\\_operadores\\_agua.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/economicos/2009/agua/Mono_Orgs_operadores_agua.pdf)

Hernández, M. G. (2016). *Planificación hídrica y gobernanza del agua: su implementación en la subcuenca hidrográfica del río Amecameca, Valle de México* [Tesis de Maestría en gestión integral del agua. El colegio de la frontera norte]. Monterrey, N.L. México. 195 pp.

INEGI (2020). *Censo de Población y Vivienda 2020 (Censo 2020)*. INEGI. En línea: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

Jaimes P., C. E. (2018). *GIRH, Gobernanza e integridad en los organismos operadores de agua, caso: odapas Valle de Bravo*. [Tesis de la Maestría en Ciencias del Agua. Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/98967/Examen%20de%20grado%20MCA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Korsbaek, L.(1982). *El desarrollo del sistema de cargos de San Juan Chamula: el modelo teórico de Gonzalo Aguirre Beltrán y los datos empíricos*. [Ponencia presentada en la reunión "Cuarenta años de investigaciones Antropológicas en Chiapas" San Cristóbal de las Casas, Chipas]. Julio 1982.

Korsbaek, L. (1995). La historia y la antropología: El sistema de cargos. *Ciencia Ergo Sum*, 2(2). 1005. DOI: 10.22201/ia.24486221e.1987.1.10005

Orozco H., E. y Sánchez S., M. T. (2004). Organización socioeconómica y territorial en la región del Alto Lerma, Estado de México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, (53), pp. 163-184. UNAM ISSN 0188-4611.

Pineda-López, R. F., Tinoco-Navarro, C. M. y Dorantes-Castro, C. (2019). *Las zonas periurbanas de la ciudad de Querétaro: la exhibición de la desigualdad social y la posibilidad de su disminución mediante el enfoque de manejo integrado de cuencas*. [Ponencia presentada en la X Reunión Internacional. Programa y libro de resúmenes. "Luchas por el Agua: Interseccionalidades de Clase, Género y Etnicidad" Concepción, Bio Bio, Chile. Taller 4. Gestión del agua, relaciones desiguales, vulnerabilidad y pobreza: resistencias y luchas sociales].

Pliego A., E. y Guadarrama S., G. J. (2019). Gobernanza y derecho al agua: Prácticas comunes y particularidades de los comités comunitarios de agua potable. *Sociedad y Ambiente*, año 7(20), pp. 53-77. Doi: 10.31840/sya.v0i20.1992. ISSN: 2007-6576.

Ramírez D, J. Y. (2020). *Caracterización de la gestión y gobernanza de los Comités de Agua derivados de los sistemas Lerma y Cutzamala dentro de la CARL*. [Tesis de Maestría en Ciencias del Agua. Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx)].

Red Mexicana de Recursos Hídricos (2019). *Planificación para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Caso de estudio: Cuenca Lerma-Estado de México*. (Curso-Taller. Módulo 3. Caracterización de la Cuenca). ITTCA, UAEMex.

Romero Contreras, A. T. (2019). *Planificación para la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. Caso de estudio: Cuenca Lerma-Estado de México*. (Curso-Taller. Módulo 4, Tema 8: Características histórico-culturales y trabajo de campo para la GIRH. Cuenca Lerma-Edo México). Red Mexicana de Recursos Hídricos. ITTCA, UAEMex.

Roth, Dik, Boelens y Zwartveen (2015). Property, legal pluralism, and water rights: the critical analysis of water governance and the politics of recognizing 'local' rights. *The Journal of Legal Pluralism and Unofficial Law*, [1]47(3), 456-475, DOI: 10.1080/07329113.2015.1111502

Ruiz M., L. E. (2017). Incorporando la perspectiva de género en la gestión del agua: lecciones aprendidas desde Chiapas, México. *Sustentabilidade em Debate - Brasília*, 8(3), 37-50.

Sandoval F., E. A. (2001). *La ley de las costumbres en los indígenas mazahuas* Universidad Autónoma del Estado de México-Universidad del Cauca Popayan, Colombia. 166 pp.

Sandoval M., A. y Günther, M. G. (2015). Organización social y autogestión del agua. Comunidades de la ciénega de Chapala, Michoacán. *Política y Cultura*. 44, 107-135.

SARH (1983) *Diagnóstico general de distritos. Anexo Cartográfico*. (Mapa Número 7 y 8). SARH.

Von Benda-Beckmann, F. (1995). Anthropological approaches to property law and economics. *European journal of law and economics*, 2, 309-336.

Wester, P. (2008). *Shedding the waters: Institutional change and water control in the Lerma-Chapala Basin, Mexico* (unpublished document). IMTA.

# EVALUACIÓN DE RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS EN LA MICROCUENCA DE QUECHULTENANGO, GUERRERO

Carmela Xochitla Castrejón<sup>1</sup>

Rafael Germán Urbán Lamadrid<sup>2</sup>

Alfredo Méndez Bahena<sup>3</sup>

Vicente Alfredo Sereno Chávez<sup>4f</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: [xochitla95@hotmail.com](mailto:xochitla95@hotmail.com)

<sup>2</sup> Instituto de Investigación Científica Área Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: [german\\_u@hotmail.com](mailto:german_u@hotmail.com)

<sup>3</sup> Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: [amendezbahena@gmail.com](mailto:amendezbahena@gmail.com)

<sup>4</sup> Instituto de Investigación Científica Área Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: [hincheni@gmail.com](mailto:hincheni@gmail.com)

## Introducción

Las investigaciones sobre riesgos y desastres socionaturales son fundamentales para la planeación del territorio. Es importante contar con información precisa sobre los riesgos que pueden presentarse en territorios con alta exposición a fenómenos hidrometeorológicos, como es el caso de la microcuenca de Quechultenango, en el estado de Guerrero. Los eventos extremos ocurridos en 2013, con la presencia casi simultánea de las tormentas tropicales Ingrid (desde el Golfo de México) y Manuel (en la costa del Pacífico) provocaron desastres en la mayor parte del estado de Guerrero y evidenciaron la falta de información que permitiera mitigar los impactos ocasionados por

dichos meteoros. Dada la alta vulnerabilidad de la microcuenca de Quechultenango se consideró pertinente realizar un estudio de riesgos hidrometeorológicos con la finalidad de obtener la zonificación de mayor susceptibilidad y vulnerabilidad.

Durante 2017, mediante mapas booleanos, *buffers* y perfiles topográficos (usando Ilwis v. 3.3) se zonificaron las áreas susceptibles a inundación; se realizó el cálculo de tormentas tropicales (CENAPRED, 2006) y una caracterización socioeconómica utilizando el Índice de Marginación (IM) (CONAPO, 2015).

Se encontró que en valles y planicie aluvial existen cuatro localidades propensas a sufrir afectaciones, donde alrededor de 5,000 habitantes (41% de la población total de la microcuenca) podrían verse afectados. Se estimó que el cauce principal tiene un área hidráulica insuficiente para un evento de tormenta con periodo de retorno de 10 años o superior. Considerando variables de educación, vivienda e ingresos económicos, el 17.5% de la población se encuentra en el segmento de mayor vulnerabilidad ante los desastres.

**Palabras clave:** Vulnerabilidad, inundaciones, tormentas tropicales.

### **Antecedentes**

El estudio de las cuencas hidrográficas ha cobrado importancia en el estado de Guerrero, en particular el que atañe a riesgos siconaturales es de suma importancia en términos de prevención, mitigación y ordenamiento territorial. El riesgo es la posibilidad de que una sociedad sufra daños, ya que se origina a partir de la materialización de un

peligro en condiciones de debilidad social y física (Núñez Pellara, 2019). En los siguientes párrafos se mencionan algunos estudios sobre riesgos y desastres naturales en el estado.

Bedolla et al. (2021) elaboraron un análisis del impacto social de las afectaciones del huracán Max, ocurrido en 2017, en la comunidad de La Vigas, municipio de San Marcos. Considerando variables ambientales, sociales y económicas se aplicaron entrevistas a la población afectada en las que fueron evidenciados los principales daños y la desvinculación que existe entre la sociedad y las instancias gubernamentales en situaciones de emergencia.

Manrique González (2018) realizó una evaluación de la dinámica espacial y temporal de la vulnerabilidad social y susceptibilidad ante inundaciones del puerto de Acapulco, (en Guerrero, México) durante los años 2000-2010. El análisis se basa en la construcción de índices, a partir de información proveniente de censos de población y cartografía temática. Los resultados obtenidos revelan un aumento de la susceptibilidad y vulnerabilidad social, en mayor medida en lugares que históricamente han sido afectados por inundaciones.

De la Peña y Santiago (2012) en su trabajo de tesis en la cuenca San Luis Acatlán - Marquelia, Guerrero, llevaron a cabo un estudio de evaluación de multiamenazas provocadas por erosión hídrica, inundaciones y deslizamientos. Utilizaron diversos métodos: para la primera aplicaron la Ecuación Universal de pérdida de Suelo Revisada (RUSLE); para deslizamientos emplearon el Método Ponderado de Mora 2004; por

último, para la zonificación de áreas susceptibles a inundaciones utilizaron el método establecido en la guía del CENAPRED, 2006.

Salmerón Rojas (2007) realizó un atlas de inundaciones históricas en el estado de Guerrero, donde inventarió los fenómenos y eventos que han ocurrido y provocado daños desde tiempos históricos. Contiene información organizada y sistematizada de manera breve, precisa y relevante, lo que facilita la interpretación congruente y pertinente de las inundaciones históricas en el estado de Guerrero.

Para establecer los procedimientos básicos para la integración de la formación disponible de peligros naturales y los riesgos generados que afectan a las zonas urbanas, Urbán et al., (2004), diseñaron una *Guía metodológica para la elaboración de atlas de peligros naturales en el puerto de Acapulco, Guerrero*.

### **Objetivos**

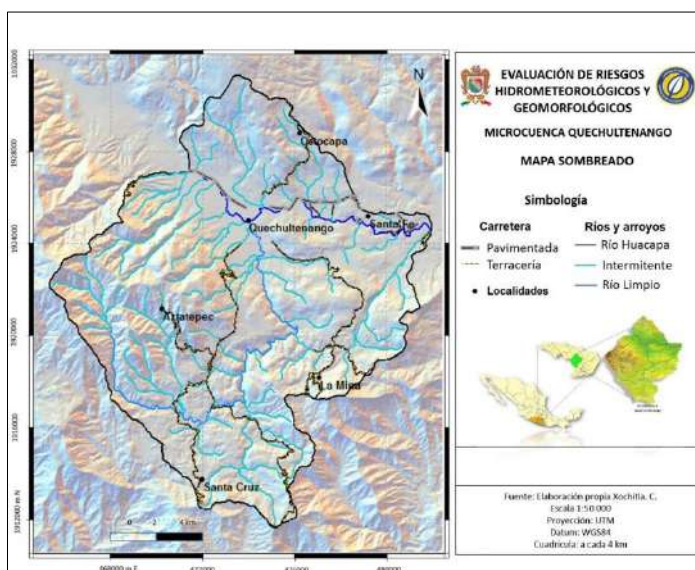
El objetivo general de este estudio fue evaluar los riesgos hidrometeorológicos por inundaciones y tormentas tropicales en la microcuenca Quechultenango para obtener la zonificación de áreas de mayor susceptibilidad y vulnerabilidad. De ahí se desprenden dos objetivos particulares: a) zonificar áreas y localidades de mayor afectación ante posibles riesgos hidrometeorológicos; y b) analizar los principales factores que incrementan la vulnerabilidad ante riesgos hidrometeorológicos.



## Área de estudio

La microcuenca de Quechultenango está ubicada en la vertiente interior de la Sierra Madre del Sur del estado de Guerrero, México. Comprende el sector Quechultenango-Santa Fe, donde se seleccionaron los cauces principales de la margen derecha del río Azul que desembocan en las cercanías de Quechultenango (Figura 4.1). 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 y fue seleccionado debido a que ha presentado eventos de inundación; sus límites son fisiográficos marcados por los parteaguas circundantes. La microcuenca 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; cuya población alcanza un total de 11, 969 habitantes (INEGI, 2010).

**Figura 4.1** Localización de la microcuenca Quechultenango



Nota. Fuente. Elaboración propia con base en INEGI (2015).

## **Métodos**

El análisis subregional de la microcuenca Quechultenango, por unidades de relieve, fue el apoyo para delimitar áreas de mayor o menor peligro según la naturaleza del fenómeno hidrometeorológico (tormentas tropicales o inundaciones) que se pueden presentar. Posteriormente se realizó el análisis de corrientes para identificar aquellos ríos o arroyos que pueden presentar desbordamientos, los mapas de hipsometría y pendientes facilitaron el análisis. A partir de la metodología establecida por CENAPRED (2006), se elaboró el cálculo de tormentas y se trazaron perfiles topográficos transversales de los principales cauces, lo que permitió dimensionar el ancho de los *buffers* para los diferentes caudales calculados en diferentes avenidas máximas y poder zonificar las áreas de mayor susceptibilidad ante los riesgos; además se complementó con las visitas de campo para comprobar los niveles de inundación.

A continuación, se presentan las herramientas aplicadas para obtener la información:

**Caracterización hidrológica y geomorfológica de la microcuenca.** Mediante la aplicación del SIG se determinaron los principales parámetros físicos de la microcuenca, área de la microcuenca, orden de la red de drenaje, pendiente de la microcuenca y pendiente del cauce principal.

**Caracterización geomorfológica de la microcuenca.** La caracterización geomorfológica es la base para definir las zonas con mayor susceptibilidad a inundaciones. Los mapas, sombreado, hipsométrico, de pendientes y el mapa geológico

constituyen los insumos cartográficos para la delimitación de unidades geomorfológicas las cuales se elaboraron en el programa Ilwis v. 3.3.

**Cálculo de tormentas.** El cálculo se realizó con base en la Guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos de CENAPRED (2006). Se estimó el escurrimiento total de la salida de la cuenca: a partir de la estimación previa del gasto líquido, que es el volumen de agua que pasa por una sección en un cierto tiempo.

La secuencia lógica para establecer los caudales máximos en una microcuenca inicia con la estimación del tiempo de concentración utilizando la fórmula de Kirpich (fórmula 4.1). Además, se calcularon las láminas de lluvia asociadas a los diferentes periodos de retorno a partir de los mapas de isoyetas de 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250 y 500 años con una duración de 24 horas y una hora; esto con la finalidad de obtener la intensidad de la precipitación para una duración igual al tiempo de concentración ( $t_c$ ). Posteriormente, se llega a la determinación de los escurrimientos correspondientes a los periodos mencionados, mediante la Fórmula Racional (fórmula 4.2). Con estos datos, se construye una tabla con las dimensiones de las áreas hidráulicas permisible (fórmula 4.3) por donde es factible que fluyan los caudales máximos.

**Fórmula 4.1** Estimación tiempo de concentración (fórmula de Kirpich)

$$t_c = 0.000325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

S= es la pendiente media del cauce principal

L= es la longitud del cauce principal, en m

$T_c$  es el tiempo de concentración, en horas

Fuente. CENAPRED, 2006.

Para determinar el escurrimiento se utilizó la fórmula racional.

#### **Fórmula 4.2** Determinación del escurrimiento

$$Q_p = 0.278 C_e i A$$

Donde:

$Q_p$ = gasto máximo o de pico, en  $m^3/s$ .

$C_e$ = Coeficiente de escurrimiento

$i$ = Intensidad media de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca, en mm/h

$A$ = Área de la cuenca, en  $km^2$ .

Fuente. CENAPRED, 2006.

#### **Fórmula 4.3** Área hidráulica permisible

$$A_h = \frac{QT}{V}$$

Donde:

$A_p$ =área hidráulica requerida

$QT$ =gasto total en  $m^3$

$V$ =es la velocidad del flujo en m/s

Fuente. CENAPRED, 2006.

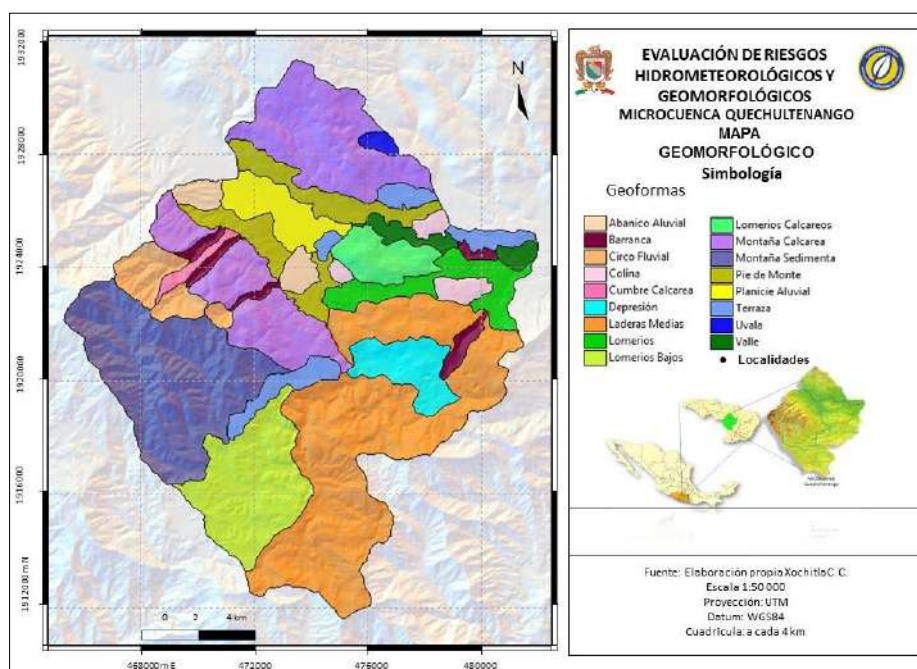
**Caracterización de aspectos socioeconómicos.** La base metodológica para estimar la vulnerabilidad consistió en el índice de marginación (IM) elaborado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2015). En este, se considera tres dimensiones: educación, vivienda e ingresos, los cuales reflejan el estado de fragilidad socioeconómica ante los eventos de índole natural. En la construcción del IM, se toman variables pertinentes del censo de población y vivienda 2010 del INEGI.

## Resultados

### Unidades geomorfológicas

La microcuenca presenta formas peculiares en cuanto a la morfología de su relieve. Estas son el resultado de la interacción entre el tipo de roca, los procesos tectónicos y la influencia de los agentes atmosféricos. Por ello, se ha delimitado 17 unidades geomorfológicas para un mejor análisis (Figura 4.2).

**Figura 4.2** Mapa geomorfológico de la microcuenca Quechultenango.



Nota. Fuente. Elaboración propia.

### Riesgo por tormentas tropicales

Se presentan los principales parámetros físicos de la microcuenca (Tabla 4.1), los cuales nos permiten conocer parte del funcionamiento de los procesos hidrológicos.

**Tabla 4.1** Parámetros físicos de la microcuenca

Área: 175.45 km <sup>2</sup>
Perímetro: 50.046 km
Pendiente media: 40 %
Longitud del cauce principal (Río Limpio): 22.978 km
Pendiente media del cauce principal: 8 %

Nota. Fuente. Elaboración propia.

Los fenómenos naturales de tipo meteorológico como los huracanes, ciclones o tormentas tropicales han dado lugar a afectaciones que impactan negativamente en las ciudades o comunidades. Lo anterior se manifiesta debido a que provocan estragos materiales de grandes magnitudes (Molina y Gutiérrez, 2020).

**Tabla 4.2** Láminas de lluvia y gasto líquido del cauce principal

Láminas de lluvia			Gasto líquido	
tr (años)	Duración		cauce principal	
	24 h	1 h	d=tc	
	hp(mm)	hp(mm)	hp(mm)	i
				Qp
				(mm/h) (m <sup>3</sup> /s)

<b>2</b>	100	40	54	24.88	236.95
<b>5</b>	140	68	85	39.17	277.88
<b>10</b>	175	100	118	54.37	517.8
<b>25</b>	240	120	149	68.66	653.89
<b>50</b>	275	140	172	79.26	754.85
<b>100</b>	340	150	196	90.32	860.18
<b>250</b>	400	170	226	104.14	991.8
<b>500</b>	500	175	254	117.05	1114.75

Nota. tr= Periodos de retorno; tc= Tiempo de concentración; i= intensidad de precipitación; Qp= Gasto líquido, hp= Lamina de lluvia. Fuente. Elaboración propia.

La información de los valores de la lámina de lluvia para el cauce principal (río Limpio) en los diferentes periodos de retorno y las avenidas máximas (Tabla 4.2), permite determinar la concentración de lluvia que se puede acumular en un sitio determinado. Los valores nos indican que, dadas las condiciones hidrológicas de la microcuenca, los ríos y arroyos principales, cuentan con poca capacidad para las avenidas máximas probables. En la Tabla 4.3, se muestran los valores de las áreas hidráulicas para los diferentes periodos de retorno considerados.

**Tabla 4.3** Área hidráulica permisible

<b>Tr años</b>	<b>Ap.(m<sup>2</sup>)</b>
2	78.98
5	92.62
10	172.6
25	217.96
50	251.6
100	286.72
250	330.6
500	371.58

Nota. Tr= Periodos de retorno; Ap= área hidráulica requerida. Fuente. Elaboración propia.

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 4.3, 4.4 y 4.5). 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). Los perfiles muestran profundidades y ancho del cauce. El perfil del arroyo Buena Vista (Figura 4.3) muestra en el borde izquierdo material más



resistente y pequeñas pozas; además, el área hidráulica (19.48 m<sup>2</sup>) que presenta sería insuficiente para una lluvia con periodo de retorno de dos años, con una intensidad de lluvia de 24,88 mm/h y una avenida máxima de 236.95 m<sup>3</sup>. Por la tanto, las viviendas asentadas en los márgenes podrían tener un riesgo medio de inundación.

**Figura 4.3** Perfil topográfico transversal del arroyo Buenavista



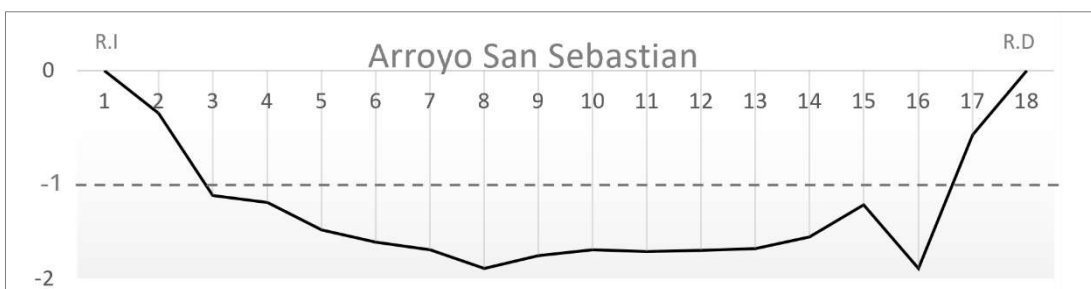
Nota. Fuente. Elaboración propia.

**Área hidráulica:** 19.48 m<sup>2</sup>

8.7 m de ancho

El arroyo San Sebastián en 2016, registró desbordamientos que han modificado el cauce del arroyo. Por ello en la verificación de campo se obtuvo el perfil topográfico (Figura 4.4) con la cual se calculó que 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>. El cauce principal (río Limpio) resulta deficiente para el desalojo de flujos mayores a periodos de retorno a 10 años.

**Figura 4.4** Perfil topográfico transversal arroyo San Sebastián

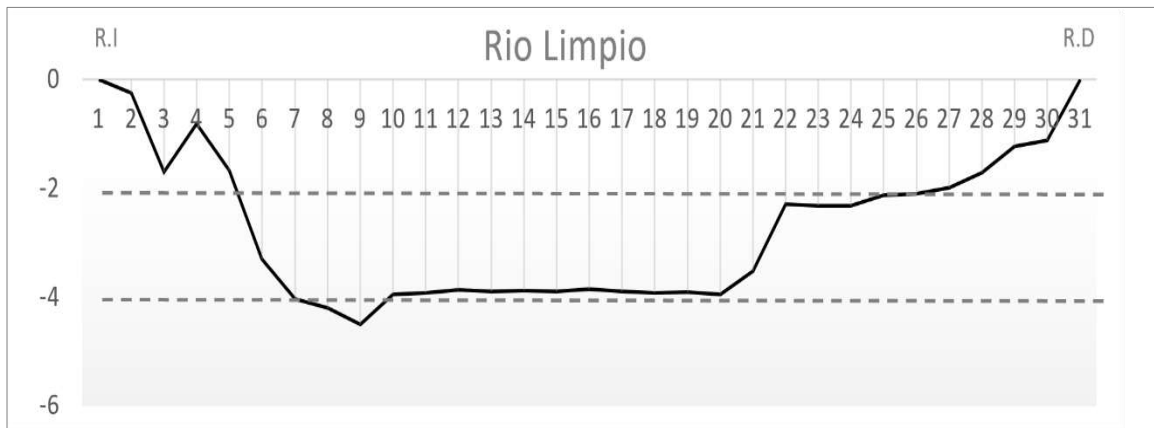


Nota. Fuente. Elaboración propia.

**Área hidráulica:** 29.71 m<sup>2</sup>

8.28 m de ancho

**Figura 4.5** Perfil topográfico transversal río Limpio



Nota. Fuente. Elaboración propia.

**Área hidráulica:** 126.34 m<sup>2</sup>

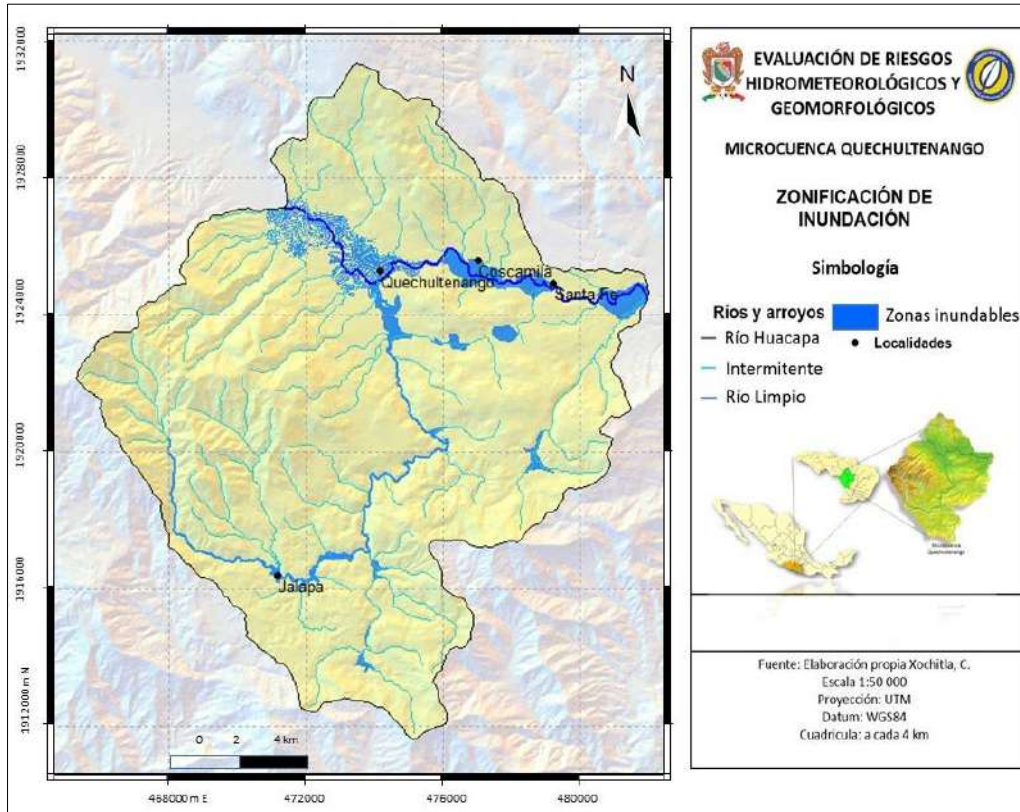
36.8 m de ancho

### **Zonificación de áreas susceptibles a inundaciones**

Con la idea de analizar desde otra perspectiva la susceptibilidad a inundaciones, se realizó la zonificación con base en la lógica booleana (Figura 4.6), donde las geformas de planicie aluvial y valles son las más susceptibles; esto también ligado a la pendiente de dichas zonas que es menor a 6 %. En dicha zonificación, 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 4.7, 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.

Los fenómenos meteorológicos en la actualidad son atribuidos a los cambios que el ser humano produce sobre el medio ambiente, derivados de una conjugación de factores sociales y físico-geográficos que pueden llegar a producir pérdidas materiales y humanas. Actualmente las geotecnologías (como los *buffers*) permiten realizar un diagnóstico sobre el estado de los asentamientos humanos con respecto a una amenaza, que puede ser de gran ayuda para la prevención y ordenación territorial; además como una solución a las deficiencias de las políticas y estrategias públicas (Vallejo et al., 2020). Los buffers indican las áreas en riesgo de inundación ya que se localizan en las cercanías de los principales afluentes. En el siguiente mapa (Figura 4.7), se muestra las áreas de la zona urbana de la localidad de Quechultenango, afectadas a partir de una avenida máxima de 517.8 m<sup>3</sup>/s y una intensidad de precipitación de 54.37 mm/h con un periodo de retorno de 10 años. Para cada uno de los cauces, se utilizaron rangos diferentes de distancia en metros, dependiendo de la capacidad de concentración manifestadas en cada periodo de retorno. 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 corresponde a 3,000. Por tanto, es una zona de riesgo alto y riesgo medio a posible inundación.

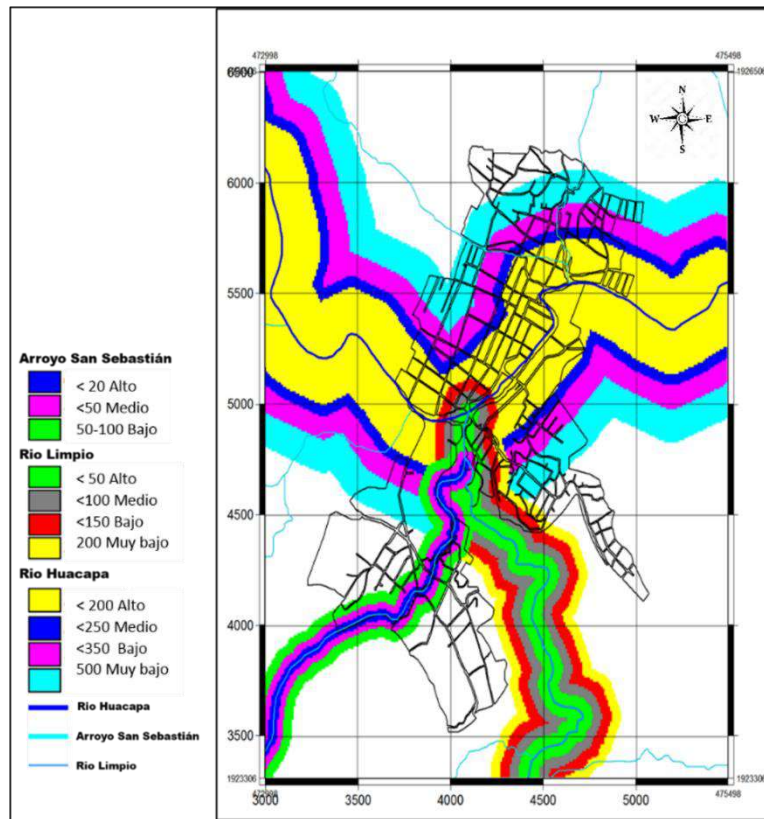
**Figura 4.6** Mapa de zonificación de inundaciones



Nota. Fuente. Elaboración propia.

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.

**Figura 4.7** Mapa de zonificación de inundaciones con franjas buffer



Nota. Fuente. Elaboración propia.

### **Aspectos socioeconómicos**

La marginación se concibe como un problema estructural de la sociedad, donde no están presentes ciertas oportunidades para el desarrollo, ni las capacidades para adquirirlas. Si tales oportunidades no se manifiestan directamente, las familias y comunidades que viven en esta situación se encontrarían expuestas a ciertos riesgos y vulnerabilidades, lo que les impediría alcanzar determinadas condiciones de vida y seguridad ante las amenazas naturales.

**Tabla 4.4 Aspectos demográficos**

<b>Localidad</b>	<b>Población Total</b>	<b>Población de 0-2 años</b>	<b>Población de 60 años y más</b>	<b>Población Vulnerable (%)</b>
<b>1. Quechultenango</b>	5720	341	695	18.1
<b>2. Aztatepec</b>	990	78	74	15.4
<b>3. Coscamila</b>	643	48	61	17.0
<b>4. Jalapa</b>	462	20	62	17.7
<b>5. Naranjitas</b>	433	24	37	14.1
<b>6. El Naranjo</b>	165	7	28	21.2
<b>7. Ostocapa</b>	694	72	55	18.3
<b>8. Las Palmitas</b>	124	10	12	17.7
<b>9. Santa Cruz</b>	711	37	105	20.0
<b>10. Santa Fe</b>	994	73	80	15.4
<b>11. Tolixtlahuaca</b>	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>	<b>11969</b>	<b>780</b>	<b>1319</b>	<b>17.5</b>

Nota. Se presentan los datos referidos a la población total de cada una de las localidades, así como la población potencialmente vulnerable por razones etarias. Fuente. Elaboración propia, con base en INEGI, (2010).

Como se puede apreciar, el promedio para la zona de estudio es que un 17.5 % de la población se encuentra en el segmento de mayor vulnerabilidad ante posibles fenómenos naturales. La Tabla 4.4 muestra los segmentos de población considerados en este caso como más vulnerable: 0-2 años y mayores a 60 años.

**Tabla 4.5** Índice de marginación

<b>Localidad</b>	<b>Índice de marginación escala 0 a 100</b>	<b>Grado de marginación</b>
<b>Quechultenango</b>	10.5	Alto
<b>Aztatepec</b>	17.9	Alto
<b>Coscamila</b>	14.3	Alto
<b>Jalapa</b>	17.9	Alto
<b>Naranjitas</b>	19.4	Alto
<b>El Naranjo</b>	14.7	Alto
<b>Ostocapa</b>	19.8	Alto
<b>Las Palmitas</b>	19.3	Alto
<b>Santa Cruz</b>	14.7	Alto
<b>Santa Fe</b>	13.4	Alto
<b>Tolixtlahuaca</b>	15.8	Alto
<b>Cuadrilla Nueva</b>	80.9	Muy alto
<b>La Mina</b>	11.0	Alto
<b>Buenvista</b>	17.0	Alto

Nota. Fuente. CONAPO, (2010).

El índice de marginación busca establecer un parámetro analítico que permita entender cuándo un sector de la sociedad se muestra en una situación cuyas oportunidades para el desarrollo no están presentes, ni la capacidad para encontrarlas, así como la vulnerabilidad en la respuesta ante los desastres (Tabla 4.5). Se evidencia que Cuadrilla Nueva tiene un índice extremo de marginación, mayor al 80 %. Al eliminar el valor extremo de Cuadrilla Nueva, en las 13 localidades restantes el IM oscila en un rango de variación de 9.3 %. Con esto, se observa que son muy semejantes entre sí, con una media de 15.88 % y una desviación estándar de 3.07. Cabe resaltar que esta semejanza del IM en la zona de estudio es tal, que la cabecera municipal cuenta con un

grado de marginación alto, lo cual indica que el municipio completo tiene deficiencias en cuanto a educación, vivienda e ingresos.

### **Discusión**

Los modelos de riesgo son un instrumento cartográfico que permite identificar, delimitar (zonificar) y evaluar, en este caso semicuantitativo y cualitativamente las áreas de posible ocurrencia de un fenómeno natural que ponga en riesgo la integridad física y el bienestar socioeconómico de las poblaciones. Un desastre puede pensarse como el resultado de la confluencia en el tiempo y espacio de procesos naturales y procesos sociales, que llevara a la interrupción o el colapso de estos últimos. En el análisis de riesgos, a esos procesos sociales tanto materiales como inmateriales, se conocen como vulnerabilidad; mientras que al conjunto de procesos naturales, se los engloba dentro de la peligrosidad (Toscana y Villaseñor, 2020).

El estudio intenta proveer de información para mitigar los efectos en eventos de origen hidrometeorológico como las inundaciones y las tormentas tropicales. Además, se ha estimado la probabilidad y las posibles consecuencias de estos riesgos en una ubicación determinada; con esto, se puede evaluar el riesgo que dichos sucesos presentan para la gente y sus propiedades. El índice de marginación fue una herramienta útil para determinar la vulnerabilidad de la población, dado que las variables socioeconómicas y educativas consideradas son factores que influyen en la resiliencia de los individuos y comunidades frente a los desastres.

Las actividades humanas modifican la estructura de la microcuenca al afectar considerablemente 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, como se muestra en el mapa de *buffer* de la zona urbana de Quechultenango. En 2017, de las 202 ha que abarca la zona urbana, 100 ha (50%) se encuentran ubicadas en zona de riesgo por inundación. Sin embargo, durante los últimos 16 años, la localidad Quechultenango comprende 18 ha; de esas, 11 ha (61 %) se extendieron en la zona de riesgo alto y medio. Esto muestra una tendencia de crecimiento urbano sobre las zonas de mayor susceptibilidad, lo cual evidencia la necesidad de tomar medidas urgentes de prevención.

Los mapas muestran zonas susceptibles a inundaciones a lo largo de arroyos y ríos, áreas de alto riesgo para la urbanización en un futuro próximo. Por ello, es de suma importancia que el gobierno municipal adopte planes de gestión en las planicies de inundación señalada. A partir de ello, es necesario minimizar los daños ocasionados por eventos meteorológicos que en un periodo corto se pudieran presentar en la zona. Dicho de otra forma: hay zonas en las que no se pueden evitar las inundaciones, por lo que sólo resta tratar de minimizar los daños que éstas puedan causar, restringiendo la urbanización.

Con este trabajo, se pretende alertar a la población y a las autoridades municipales sobre las consecuencias que tiene la construcción de viviendas en zonas de alto riesgo, específicamente en las riberas de los ríos Huacapa y Limpio, ya que las crecientes de la

cuenca alta generan avenidas máximas al llegar a la planicie aluvial y a los valles. Además, se busca que sea un instrumento útil para la planificación y el manejo del territorio, puesto que los mapas de zonificación de áreas susceptibles permiten 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. Disponer de información confiable debería servir para la toma de decisiones, tanto de autoridades como de ciudadanos, que permitan disminuir la vulnerabilidad ante los riesgos.

## **Bibliografía**

- Bedolla Solano, R., Miranda Esteban, A., Bedolla Solano, J. J., y Sánchez Adame, O. (2021). Análisis prospectivo-educativo del impacto del huracán Max en una comunidad de Guerrero. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 11(22). <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.877>.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). Conceptos Básicos sobre Peligros, Riesgos y su Representación Geográfica. Primera ed. México D.F.: s.n.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2006). Guía Básica Para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligro y Riesgo. Fenómenos Hidrometeorológicos.
- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2015). Índice de Marginación. [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos\\_Abiertos\\_del\\_Indice\\_de\\_Marginacin](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacin)
- Cotler Ávalos, H., Galindo Alcántar, A., González Mora, I. D., Pineda López, R. F., y Ríos Patrón, E. (2013). Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión. *Cuadernos de Divulgación ambiental, México, DF., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales/Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable/Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.*

- De La Peña, G. K. A. y 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. Universidad Autónoma de Guerrero].
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática (INEGI). (2010). Censo de población y vivienda.
- Manrique González, I. R. V. I. N. G. (2019). *Vulnerabilidad y susceptibilidad ante inundaciones en la ciudad de Acapulco de Juárez, Guerrero, 2000 y 2010*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma del Estado de México].  
<http://hdl.handle.net/20.500.11799/95367>
- Maskrey, A. (Ed.). (1998). *Navegando entre brumas: la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgos en América Latina*. Soluciones Prácticas. LA RED
- Molina-Aguilar, J. P., y Gutiérrez-López, A. (2020). Daños económicos y sociales por huracanes e inundaciones en México: periodo de 2010 a 2015. *Aqua-LAC* Volumen 12 (2). DOI:10.29104/phi-aqualac/2020-v12-2-06.
- Núñez Pallara, N. I. (2019). *Plan de adaptación a la variabilidad climática por fenómenos hidrometeorológicos extremos mínimos en base a pronósticos termo pluviométricos y la cultura preventiva de la comunidad altoandina de santa rosa, melgar, puno*. [Tesis de maestría Universidad Peruana Unión Facultad de Ingeniería y Arquitectura].
- Salmerón, R. G. (2007). *Atlas de Inundaciones Históricas en el Estado de Guerrero*. Universidad Autónoma de Guerrero, Unidad Académica de Ingeniería, p. 437.
- Urbán, L. R. G., Rosales Gómez, J., Uribe Luna, J. y 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.
- Vallejo, I., Navarro, M., & Navarro, D. (2020). Análisis de la vulnerabilidad social a los riesgos naturales mediante técnicas estadísticas multivariantes. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (74), 29-49. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.NVN>.

# EVALUACIÓN MULTICRITERIO PARA LA CONSERVACIÓN DEL AGUA EN LA CUENCA MEDIA GUERRERENSE DEL RIO BALSAS

Alma Gladis Rendón Sandoval<sup>1</sup>,

Rafael Germán Urbán Lamadrid<sup>2</sup>,

Alfredo Méndez Bahena<sup>2</sup>,

Alfredo Amador García<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Alumno, Maestría en Ecología y Recursos Naturales, Facultad de Ecología Marina. Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: [biol.gladis@gmail.com](mailto:biol.gladis@gmail.com)

<sup>2</sup>Profesor-Investigador, Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Inst. de Inv. Científica-Area Ciencias Naturales-Universidad Autónoma de Guerrero. E-mail: [german\\_u@hotmail.com](mailto:german_u@hotmail.com); [amendezbahena@gmail.com](mailto:amendezbahena@gmail.com)

<sup>3</sup>Profesor -Retirado, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. E-mail: [amador.umich@gmail.com](mailto:amador.umich@gmail.com)

## Introducción

La selección de zonas o regiones prioritarias para la conservación del agua es de gran relevancia para planificar y prever escenarios de futuras afectaciones por actividades antrópicas que puedan impactar las cuencas y acuíferos. Esencialmente, los estudios a este nivel requieren del enfoque de cuencas para dimensionar las fronteras de actuación, así como la elección de criterios con importancia significativa. Estos últimos pueden ser mezclados bajo procesos de Evaluación Multicriterio manejados en un ambiente de SIG.

A partir de lo anterior, este estudio tiene el propósito de ensayar dichos efectos y la determinación de las mejores posibilidades para la conservación del recurso hídrico

en la cuenca media del río Balsas. Dicha porción resulta de gran relevancia ante los nuevos hallazgos de potenciales riquezas minerales. ¿Hasta dónde se puede o debe aprovechar un recurso sacrificando otro? Sería una pregunta que merece respuesta bajo este enfoque.

La topografía de la cuenca del río Balsas es útil de forma natural para la generación de energía eléctrica; por ello se vedó el aprovechamiento de sus aguas, afluentes y subafluentes para otro tema que no fuera la generación de energía. Sin embargo, lo anterior generó marginación y rezago social en la región, al no poder dotar de agua a la población para que pudiera satisfacer sus necesidades básicas. Para este problema, se ha considerado como necesario el crecimiento e intensificación de actividades productivas para lograr una serie de objetivos estratégicos, por ejemplo el combate a la pobreza, el crecimiento económico y la seguridad alimentaria. No obstante, se ha empezado a encontrar con límites en la disponibilidad del agua; por consecuencia, está generando diferentes grados de sobreexplotación y escasez.

De continuar con esta tendencia, el uso insostenible de los recursos hídricos será, sin lugar a duda, un factor que impondrá límites al desarrollo económico y social, puesto que es uno de los mayores problemas que se presenta, no sólo en el estado de Guerrero y en la cuenca media del río Balsas, sino en todo el mundo. Por esta razón, hoy se busca sentar las bases para que se cuente con seguridad en el suministro del agua que requiere para su desarrollo, que se utilice de manera eficiente, se reconozca su valor estratégico y económico, se protejan los cuerpos de agua, que las áreas que cuenten con mayor cantidad de captación sean

destinadas para su conservación y, por ende, asegurar este recurso para las futuras generaciones (Valencia, 2015).

Los resultados presentados en forma de mapas y gráficos son muy ilustrativos y confirman el gran valor natural de las serranías guerrerenses, tanto las del norte (Taxco-Tetipac), como las del centro (Tlacotepec - Totolapan – Chichihualco). Por último, se considera a la cuenca del Cutzamala con valores intermedios, la cual está siendo sometida a extracciones de grandes caudales para trasvase al estado de México y CdMx.

**Palabras clave:** evaluación multicriterio, subcuencas, conservación.

### **Antecedentes**

En la región y el estado se han producido una serie de estudios, algunos siguiendo el enfoque de cuencas y otros con fines particulares de conservación o restauración. Monico y Catalán (2019) realizan un diagnóstico de paisaje base a cambio de uso de suelo, en un lapso de 10 años, en una región de dimensiones aproximadamente similares y enclavada en la porción media del río Balsas. Una vez identificadas las principales coberturas vegetativas, se confronta con los rasgos principales del paisaje y se profundiza en la mayor o menor modificación del mismo, tomando como base estas unidades. Se concluye que las zonas de montaña con bosque de *Pinus-Quercus* y mesófilo resultan ser las menos modificadas hasta 2011. Por otra parte, las montañas y laderas sedimentarias cálidas con selva baja son las más afectadas por diversas actividades.

## **Objetivos**

Siendo este estudio parte de proyectos de mayor alcance en cuanto al análisis por cuencas, se ha planteado aquí un objetivo más particular en cuanto al recurso agua: evaluar y seleccionar las áreas con mayor potencial para la conservación del servicio hidrológico de la porción media del río Balsas.

## **Método**

Ante lo agreste del terreno y la baja posibilidad de verificación de campo, se siguen métodos de análisis regional de gran visión. En estos, se utilizan bases de datos previamente procesadas, imágenes satelitales, ingreso data básica a un sistema de información geográfica para así ser procesado con base a criterios previamente determinados y técnicas de EMC.

Para la delimitación del área de la cuenca media guerrerense del río Balsas (CMGRB) fue de gran apoyo la información disponible del Simulador de Flujos (SIATL-INEGI) y se aplicaron correcciones a mayor detalle, con lo que se atendió las definiciones para la región RH-18 estipuladas por el Diario Oficial de la Federación (DOF). Como paso siguiente, se procedió a la subdivisión en subcuencas, que resultó en un número total de 16 unidades. Para cada una de estas, se colectó y detalló información básica y analítica, que posteriormente se utilizaría para el análisis y evaluación multicriterio. En todos estos procedimientos, se aplicó la información disponible y adaptada a escala 1: 250 000 procesados en paquetes de Idrisi y Qgis.

En el caso particular para el balance hídrico, se utilizaron la mayor cantidad de estaciones meteorológicas e hidrométricas en y al exterior de la zona de estudio. En el caso de la precipitación, se utilizaron datos de atlas digital climatológico UNAM (<http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>); asimismo, se realizaron los cálculos de Evapotranspiración (Thornthwaite). Siguiendo la metodología de NOM-011-CONAGUA-2015, se determinó el volumen medio anual de escurrimiento.

**Formula 5.1** Cálculo para la evapotranspiración (ETP) mediante la fórmula de Thornthwaite

1. Se calculó un índice de calor mensual (*i*) a partir de la temperatura media mensual (*t*):

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

2. Se calcula el índice de calor anual (*I*) sumando los 12 valores de *i*:

$$I = \sum i$$

3. Se calcula la ETP mensual “sin corregir” mediante la fórmula:

$$ETP_{sin\ corr.} = 16 \left( \frac{10t}{I} \right)^a$$

Donde ETP sin corregir = ETP mensual en mm / mes para mes de 30 días y 12 horas sol (teóricas).

T= temperatura media mensual, °C

I= índice de calor anual, obtenido en el punto 2°

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$$

4. Corrección para el n° de horas sol:



$$ETP = ETP_{sin\ corr.} \frac{N}{12} \frac{d}{30}$$

Donde ETP= Evapotranspiración potencial corregida

N= número máximo de horas sol. Dependiendo del mes y de la latitud

d = número de días del mes

Fuente: Almorox, J, 2008.

### Cálculo de precipitación

Debido a que, en la zona de estudio, se cuenta con escasa información pluviométrica, la precipitación anual se obtuvo mediante los productos disponibles en la plataforma del Atlas Digital climatológico de México, del Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México. (<http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>).

### Fórmula 5.2 Cálculo de escurrimiento

$\text{Volumen de escurrimiento anual en una cuenca} = \text{Precipitación Media Anual} * \text{Área de la cuenca} * \text{Coeficiente de escurrimiento}$
---

Fuente: fuente: NOM-011-CONAGUA-2015

### Fórmula 5.3 Coeficiente de escurrimiento

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

Fuente: NOM-011-CONAGUA-2015

**Disponibilidad de acuíferos:** se seleccionaron un conjunto de datos vectoriales, estos representan digitalmente, mediante polígonos, la disponibilidad de las aguas

subterráneas, es decir de los acuíferos en el año 2018 (*CONAGUA, 2018*). Se extrajo directamente un recorte de la CMGRB, para posteriormente ser procesada.

**Distancia a fuentes de usos consuntivos:** se obtuvo de los datos vectoriales obtenidos de información disponible de la *CONAGUA 2018* y procesados mediante *buffers* a cada 1000 metros de distancia en QGis

**Calidad de agua:** para obtener este insumo, se extrajo conjunto de datos vectoriales de la Comisión Nacional del Agua (*CONAGUA*), mismos que se representan digitalmente mediante puntos la ubicación de los sitios de monitoreo con el indicador de Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días (DBO5), en 2018; mediante un proceso de interpolado en QGis, se obtuvo el presente insumo utilizado como criterio para la evaluación multicriterio.

El análisis de evaluación multicriterio es un método efectivo de síntesis de conocimiento para apoyar la toma de decisiones explorando sistemáticamente los pros y los contras de diferentes alternativas.

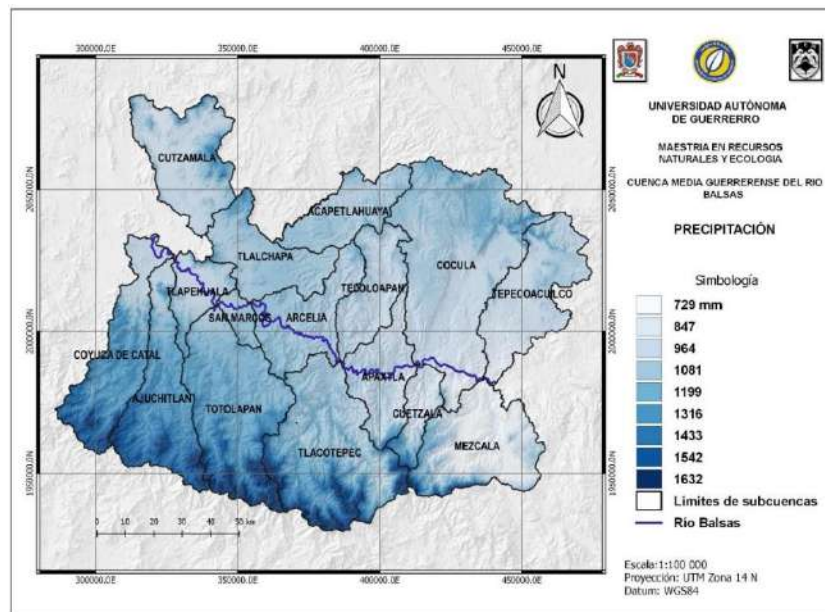


pero dominando en las porciones marginales de montaña. En tanto que los luvisoles, cambisoles y feozems están presentes en zonas de menor pendiente o las planicies de los grandes ríos.

Por otro lado, predominan ligeramente los climas cálidos y semicálidos, principalmente en los fondos de las subcuencas que rodean o derivan hacia el río Balsas. Se presentan secos en las partes más bajas (menos de 600 msnm.) de la porción oriental (Zumpango-Mezcala) y climas templados en las cumbres de las sierras, tanto al sur como al norte.

Como parte del análisis básico, las menores precipitaciones de 729 mm se ubican al fondo de los valles y planicies del río Balsas y Cutzamala. Se alcanzan los máximos valores de 1630 mm de precipitación media anual, en las cumbres de la Sierra Madre del sur (Figura 5.2).

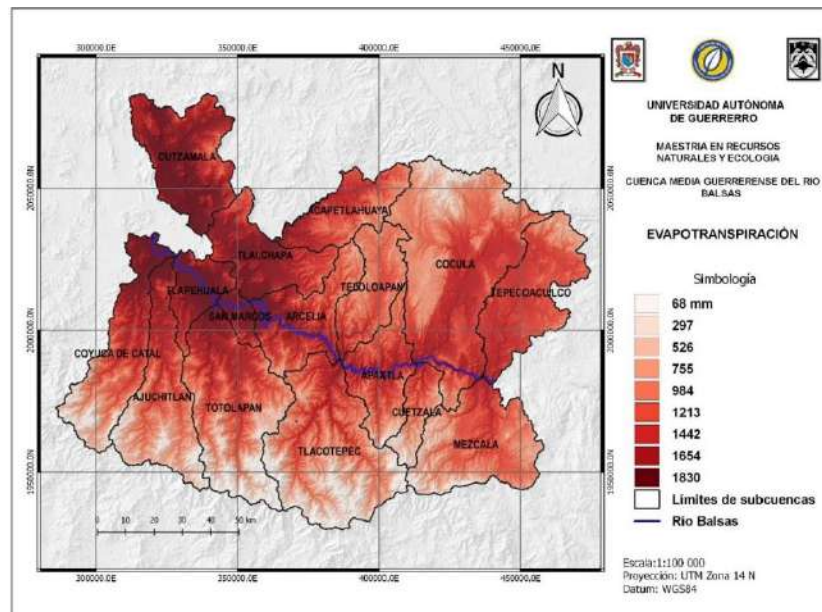
**Figura 5.2** Mapa de Precipitación



Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia.

## Mapas resultados de la aplicación de la metodología para cumplir los objetivos

Figura 5.3 Mapa de Evapotranspiración



Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia.

De manera contrastante la evapotranspiración mayor ocupa los fondos de los valles y planicies arriba mencionados, los que alcanzan un máximo de 1830 mm. Los mínimos se presentan en las cumbres serranas con menos de 100 mm (ver Figura 5.3).

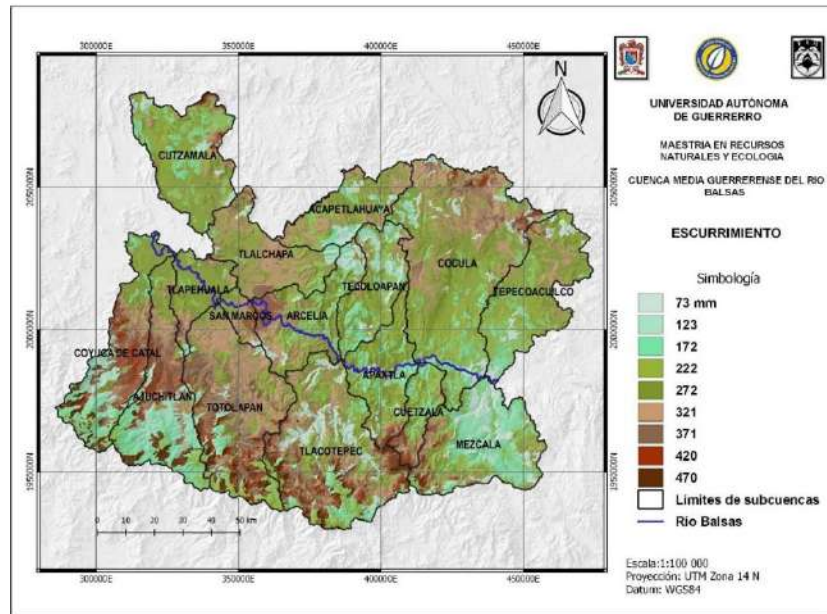
**Tabla 5.1** Listado de subcuencas que presentan mayores valores de escurrimiento en mm por el cambio de cubierta vegetal durante tres periodos

<b>Número de subcuenca</b>	<b>Nombre subcuencas</b>	<b>Q media (mm) 2010</b>	<b>Q Media (mm)2013</b>	<b>Q Media (mm)2016</b>
<b>1</b>	COCULA	170.57	170.56	<b>259.45</b>
<b>Número de subcuenca</b>	<b>Nombre subcuencas</b>	<b>Q media (mm) 2010</b>	<b>Q Media (mm)2013</b>	<b>Q Media (mm)2016</b>
<b>4</b>	CUETZALA	173.89	173.93	<b>263.63</b>
<b>7</b>	TLACOTEPEC	203.98	203.92	<b>280.88</b>
<b>16</b>	COYUCA DE CATALÁN	205.2	205.88	<b>288.58</b>
<b>13</b>	SAN MARCOS	197.21	196.99	<b>299.59</b>
<b>12</b>	TOTOLAPAN	231.04	230.2	<b>321.83</b>

Fuente: Rendón, 2019; Elaboración propia

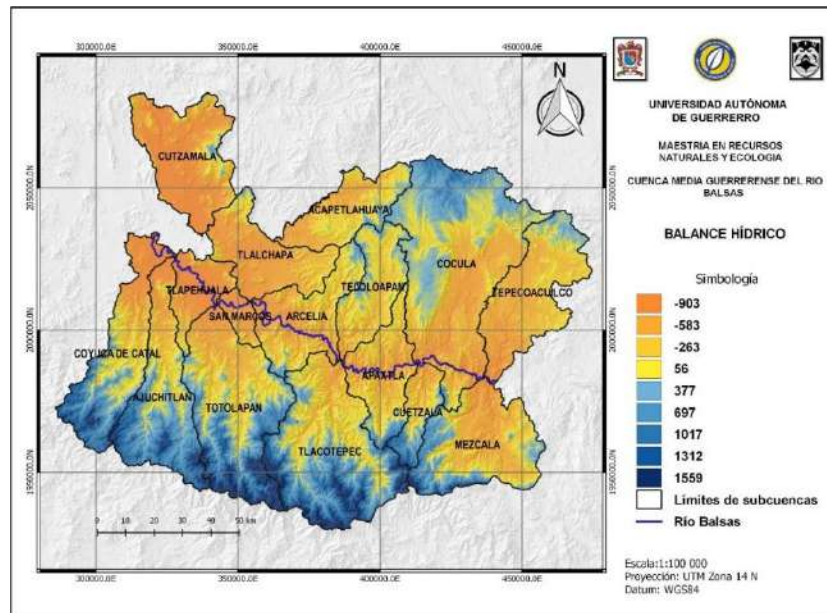
El escurrimiento se procesó con base en una variación en la cubierta vegetal analizado en el lapso 2010-2013-2016, para detectar en qué subcuencas ocurren los mayores cambios y por ende mayores escurrimientos (**se tiene la tabla 5.1 que muestra dichos cambios**). Así también, se presenta el mapa de escurrimiento donde solo se ocupó el que corresponde a uso de suelo y vegetación de INEGI que pertenecen a la serie 6 del 2016 (ver Tabla 5.1 y Figura 5.4).

**Figura 5.4** Mapa de escurrimiento utilizando la serie 6 de mapa de uso de suelo y vegetación de INEGI



Fuente: Rendón, 2019. Elaboración propia

**Figura 5.5** Mapa de balance hídrico



Fuente: Rendón, 2019. Elaboración propia.

Al procesar en el SIG el balance hídrico, se obtiene que los mayores déficits de humedad (-900 mm.) se tienen en aquellas partes bajas de las subcuencas antes mencionadas; mientras que los superávits se ubican por encima de los 1500 mm. de altitud, en las mismas cumbres serranas ya antes mencionadas y mostradas en la figura 9.5.

### **EVALUACION MULTICRITERIO.**

Para este procedimiento, se seleccionaron criterios de los obtenidos en el balance hídrico, así como datos puntuales que pueden jugar un papel importante en la ubicación del recurso con mayor calidad, en este caso: disponibilidad de acuíferos, distancia a usos de fuentes consuntivos y calidad de agua (CONAGUA, 2018). Todo lo anterior se muestra en la tabla 5.2

**Tabla 5.2** Estructuración de los criterios seleccionados, para llevar a cabo la metodología de Evaluación Multicriterio

<b>Criterio</b>	<b>Justificación</b>	<b>Obtención</b>
<b>Precipitación</b>	Principal fuente del agua a la superficie terrestre, mediante la cual se pueden conocer las zonas de mayor recepción	Insumo generado en el proceso de balance hídrico



<b>Criterio</b>	<b>Justificación</b>	<b>Obtención</b>
<b>Escurrimiento</b>	Para la conservación de agua es de mayor importancia darle prioridad a las zonas que escurren en menor volumen, ya que esto quiere decir que su proceso de retención de agua es de mayor importancia para esas zonas	Insumo generado en el proceso de balance hídrico
<b>Evapotranspiración</b>	La evapotranspiración es la pérdida del agua, por lo tanto, es importante saber cuánta agua se ha perdido y cuánta agua se queda en distintas zonas	Insumo generado en el proceso de balance hídrico
<b>Disponibilidad de acuíferos</b>	Es importante saber disponibilidad de acuíferos en cuanto a sus volúmenes dentro de la cuenca y así poder priorizar sus usos	Obtenido de información disponible de la CONAGUA 2018
<b>Distancia a fuentes</b>	La distancia a las fuentes de usos consuntivos permite ubicar estas y saber la importancia que implica su conservación y aprovechamiento	Datos obtenidos de información disponible de la CONAGUA (2018) y obtenidos mediante

<b>Criterio</b>	<b>Justificación</b>	<b>Obtención</b>
<b>Calidad del agua</b>	La calidad de agua permite conocer en qué estado se encuentra el ecosistema en cuanto al recurso hídrico y por lo tanto saber que tan óptimo es su aprovechamiento o conservación	<i>buffers</i> de distancia en QGis Datos puntuales obtenidos de información disponible de la CONAGUA (2018) e interpolados en QGis

Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia

Todo lo anterior ha sido procesado en el ambiente SIG, tanto de Qgis como del paquete Idrisi-Selva. Se llevó a cabo una normalización de valores en el rango de 0 a 1, tomando en cuenta que el valor 0 representa la menor importancia y el valor 1 la máxima. En este caso, la normalización se procesó con el módulo Fuzzy y la opción “monotónicamente creciente” o el contrario según cada criterio (ver Tabla 5.3).

**Tabla 5.3** Proceso de normalización para cada uno de los criterios

<b>Proceso de normalización</b>	<b>Importancia de valores</b>	
<b>Monotónicamente creciente</b>	<b>Menor</b> importancia valores que se acerquen a 0	<b>Mayor</b> importancia valores que se acerquen a 1

---

**Monotónicamente decreciente**      **Mayor** importancia valores que se acerquen a 0      **Menor** importancia valores que se acerquen a 1

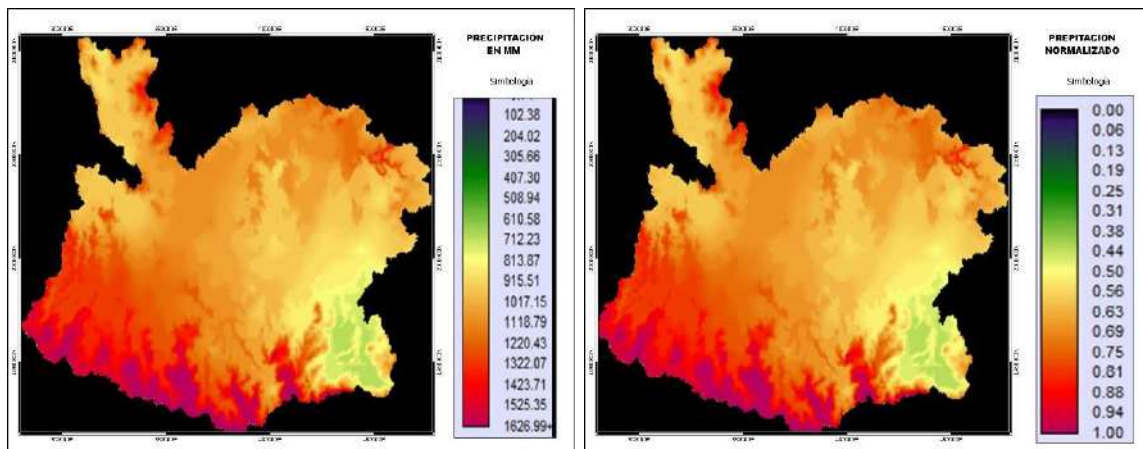
---

Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia.

En el caso de la distancia a las fuentes de agua, son datos puntuales y se calculó un mapa *buffer* de distancia, cuyo valor fue normalizado en modo monotónicamente creciente. Es decir, en cuanto mayor distancia exista a las fuentes, mayor valor de importancia adquiere (1). A lo anterior, se debe considerar que dichas fuentes ya están siendo utilizadas para usos consuntivos y difícilmente podrán ser ubicadas en áreas de conservación.

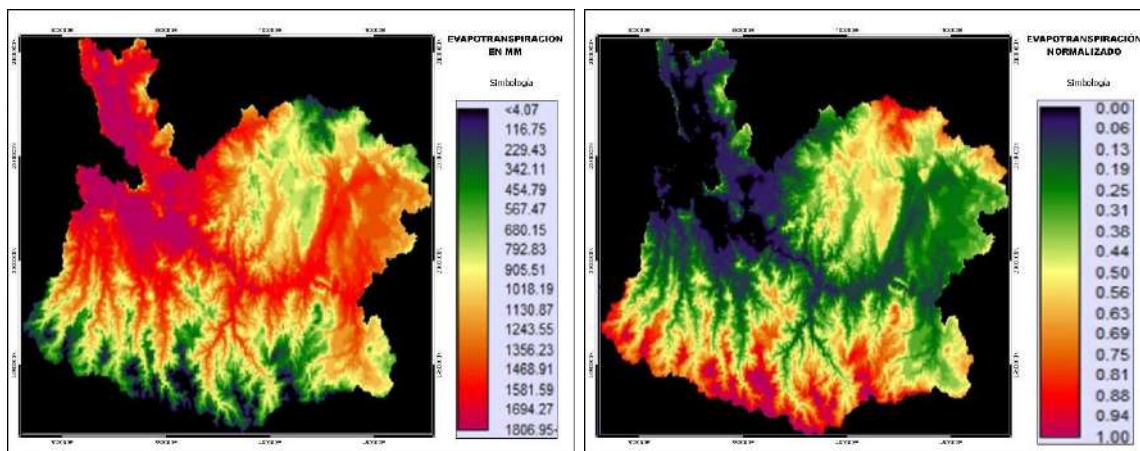
Este procedimiento se aplicó a cada una de las variables (6 criterios) con lo cual se obtuvo los mapas respectivos: mapas de precipitación, evapotranspiración, escurrimiento, disponibilidad de acuíferos, calidad de agua y distancia a fuentes de agua para usos consuntivos (m) (como ya se mencionó en el párrafo anterior y se muestra en las Figuras 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11).

**Figura 5.6** Mapa de precipitación (mm) y mapa de precipitación con normalización creciente



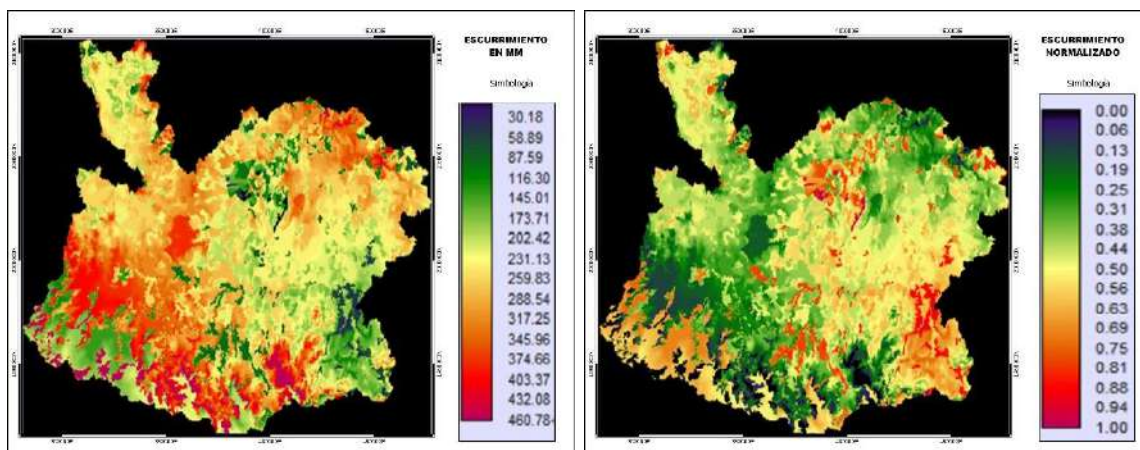
Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia.

**Figura 5.7** Mapa de evapotranspiración (mm) y mapa de evapotranspiración con normalización decreciente



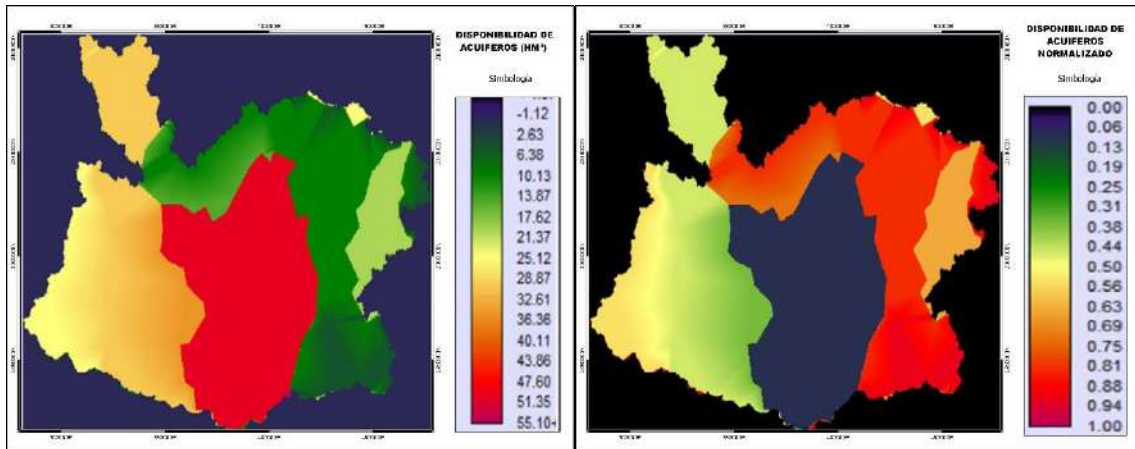
Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia

**Figura 5.8** Mapas de escurrimiento (mm) y mapa de escurrimiento con normalización decreciente



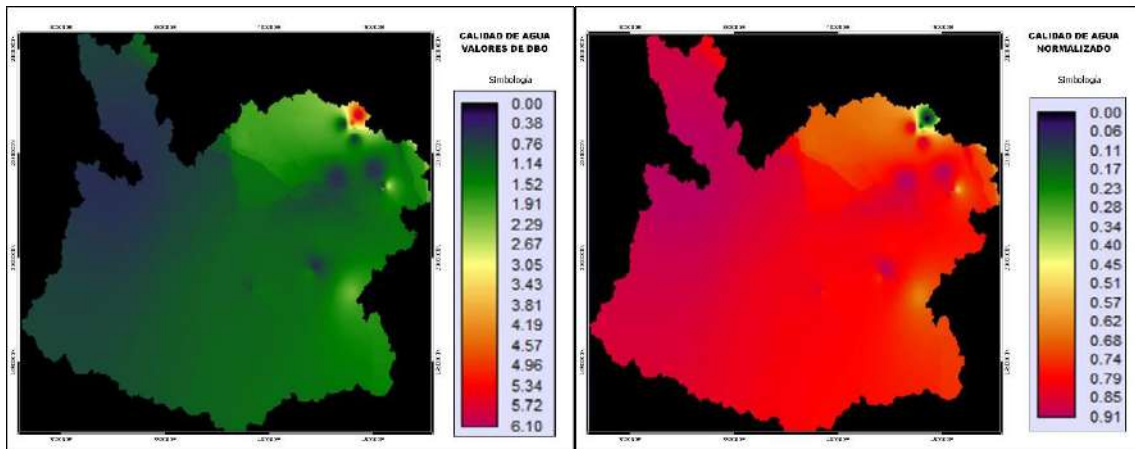
Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia.

**Figura 5.9** Mapas de disponibilidad de acuíferos ( $\text{hm}^3$ ) y Mapa de disponibilidad de acuíferos, con normalización decreciente



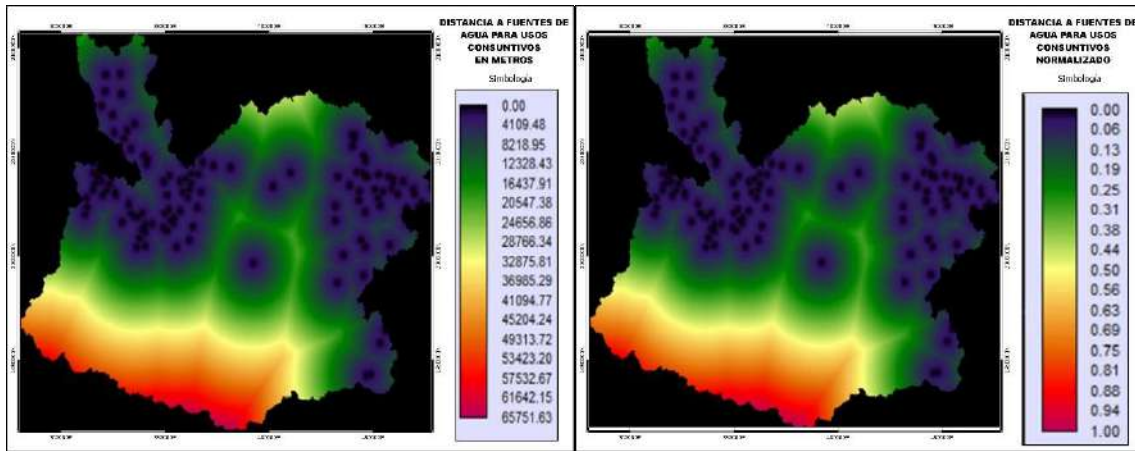
Fuente: CONAGUA ,2018

**Figura 5.10** Mapas de calidad de agua partir de la interpolación de valores puntuales de DBO y mapa de calidad de agua normalizado decreciente



Fuente: CONAGUA ,2018

**Figura 5.11** Mapa de distancia a fuentes de agua para usos consuntivos (m) y Mapa de distancia a fuentes normalizado de manera creciente



Fuente: CONAGUA ,2018

A continuación, se aplica la ponderación respectiva para cada uno de los factores o criterios considerados y representados por los mapas ya normalizados. Este procedimiento se realiza con el módulo Weight de Idrisi. Con la opción Pairwise Comparison (comparación pareada). En la Figura 5.12, se muestra la respectiva asignación de pesos.

**Figura 5.12** Tabla de comparación pareada de cada uno de los criterios

Comparación por pareja				Escala de calificación 9 puntos				
1/9	1/7	1/5	1/3	1	3	5	7	9
Extremadamente	Muy fuertemente	Fuertemente	Moderadamente	Igualmente	Moderadamente	Fuertemente	Muy fuertemente	Extremadamente
Menos Importante				Más Importante				
	Precipitación	1						
	Evapotranspiración	1/3	1					
	Escorrentamiento	1/3	1/3	1				
	Disp.acuíferos	1/5	1/5	1/3	1			
	Calidad Agua	1/7	1/7	1/5	1/3	1		
	Fuentes agua	1/9	1/9	1/7	1/5	1/3	1	

Fuente: Idrisi, 2019

**Figura 5.13** Módulo de resultado de consistencia de la valoración,  
resultando aceptable

El vector propio de pesos es:	
Precipitación	0.4128
Evapotranspiración	0.2821
Escurrimiento	0.1577
Disp. Acuíferos	0.081
Calidad agua	0.0424
Dist. Fuentes agua	0.024
Relación de consistencia = 0.07	
La consistencia es aceptable.	

Fuente: Idrisi, 2019

Por último, se desarrolla la evaluación multicriterio (MCE), la cual se lleva a cabo con un procedimiento de combinación lineal ponderada de todos los criterios ya especificados.

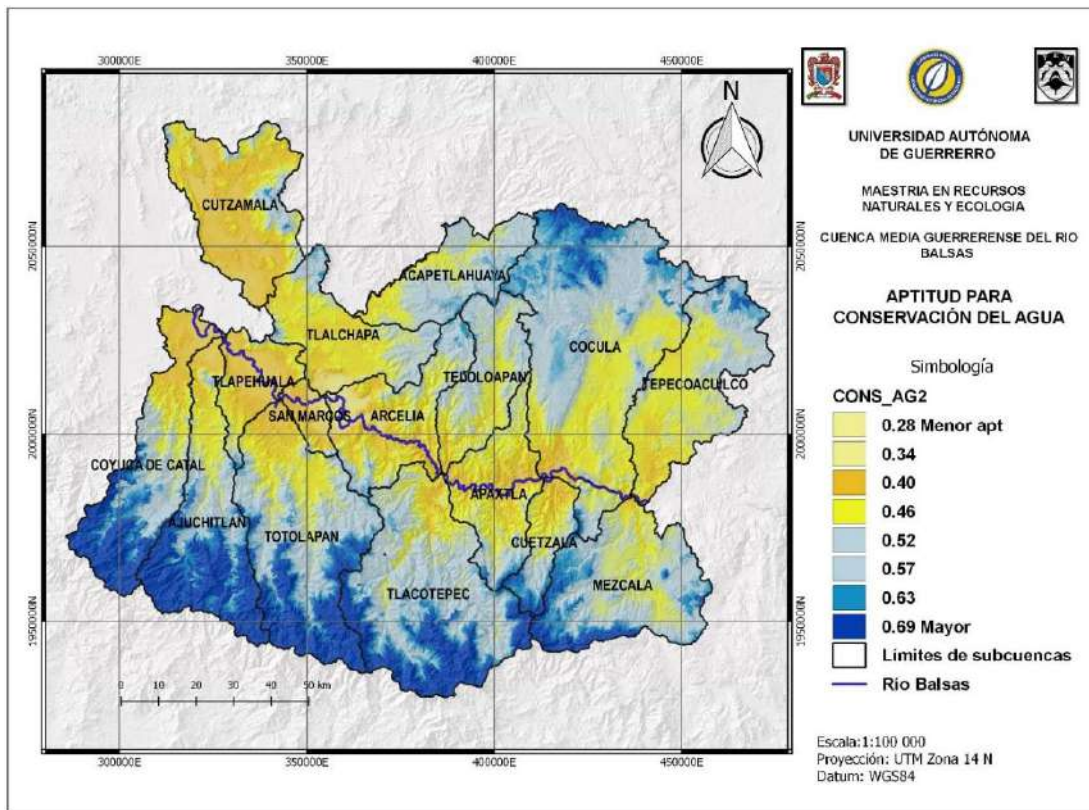
**Figura 5.14** Evaluación multicriterio, ingreso de los 6 criterios y sus pesos

EMC- Evaluación Multicriterio	
Combinación lineal ponderada	
Factores	
Factor-Nombre de fila	Peso del Factor
Precipitación	0.1995
Evapotranspiración	0.3090
Escurrimiento	0.3242
Disp.acuíferos	0.0972
Calidad Agua	0.0455
Fuentes Agua	0.0246

Fuente: Idrisi, 2019

Este proceso finaliza al generar un mapa de aptitud para la conservación del agua que es el objetivo planteado (Figura 5.15).

**Figura 5.15 Mapa de aptitud para conservación del agua en las 16 subcuencas de la cuenca media guerrerense del río Balsas**



Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia.

**Figura 5.16 Estadística de aptitud para la conservación del agua por subcuencas**

Media calculada para la aptitud para la conservación del agua, por subcuencas			
San Marcos	0.41	Cuetzala	0.53
Tlapehuala	0.42	Acapetlahuaya	0.53
Cutzamala	0.43	Cocula	0.54
Arcelia	0.46	Mezcala	0.56
Apaxtla	0.47	Coyuca de Catalán	0.58
Tlalchapa	0.47	Totolapan	0.59
Tepecoacuilco	0.5	Tlacotepec	0.6
Teloloapan	0.51	Ajuchitlan	0.63

Fuente: Rendón, 2019; elaboración propia.

La Figura 5.15 muestra el mapa resultante de aptitud para la conservación del agua; para complementar, agregamos la Figura 5.16 en donde se plasma la media



estadística calculada para cada una de las subcuencas. Esto se aplica para realizar un análisis en conjunto de estos dos productos donde tenemos que:

Las subcuencas San Marcos, Tlapehuala y Cutzamala presentan la más baja aptitud para la conservación de agua, pues presentan rangos que van de 0.41 a 0.43, así como un mínimo porcentaje del total de área con aptitud para la conservación del agua. Las subcuencas Arcelia, Apaxtla y Tlalchapa presentan rangos de aptitud que van de 0.46 a 0.47, que al igual que las anteriores, su rango de valor para la conservación del agua es de baja aptitud

Las subcuencas Tepecoacuilco, Teloloapan, Cuetzala, Acapetlahuaya, Cocula y Mezcala presentan un rango que de la media que va de 0.50 a 0.56. Estas podrían considerarse con valor de aptitud medio para la conservación del agua.

Por último, las subcuencas Coyuca de Catalán, Totolalapan, Tlacotepec y Ajuchitlan, en cuanto a la media, presentan un rango que va de 0.58 a 0.63. Con dichos resultados, representarían las zonas con alta aptitud para el objetivo de conservación del agua.

## **Discusión**

Como ya se mencionó, Toledo (2003) remarca la gran importancia de la cuenca media del Balsas en el suministro de las llamadas aguas azules, del escurrimiento, las cuales deben ser preservadas antes de llegar a la confluencia del río principal. Esta porción resulta ser más viable para la conservación, por lo que este estudio

pretende dar respuesta a cuáles de estas zonas cumplen con los mejores criterios de idoneidad.

Quizás el método de asignar valores y ponderaciones a un criterio de selección puede ser lo más controversial en estudios de EMC. Aquí se presenta un ejercicio en este sentido, bajo las limitantes de la carencia de datos existentes; por tanto, es deseable revisar o confrontar con otros escenarios y criterios los resultados aquí expuestos.

Por otra parte, es evidente que en el mapa final en ningún caso se van a alcanzar los valores extremos 0-1. Unos valores pueden contrastar o restar a otros, en sentido opuesto. El hecho de no encontrar valores menores a 0.28 significa que aun estas partes con máxima evapotranspiración juegan un papel de relativa importancia en la captación de agua, no así en la conservación.

El conglomerado de valores máximos 0.63-0.69 resulta ser muy compacto en la porción serrana, siendo ésta la que relativamente ha sufrido perturbaciones significativas; lo anterior señala la gran importancia para la conservación hídrica.

## **Conclusiones**

En este trabajo se han obtenido los resultados deseados y se han cumplido los objetivos planteados. A demás, se han obtenido datos estadísticos de cada una de subcuencas de la CMGRB de acuerdo con la priorización de la conservación de la hidrología.

Cabe destacar que la mayoría de las subcuencas prioritarias para la conservación de la Hidrología se ubican en las sierras de las porciones Norte y Sur de la Cuenca, que son la sierra de Taxco al norte y al sur la Sierra Madre del Sur. Las subcuencas ubicadas en la porción central de la CMGRB se ubican las subcuencas menos aptas para el cumplimiento de este objetivo.

De estos resultados analizados, podemos considerar que si bien una subcuenca resulta no ser del todo apta para la conservación del recurso hídrico, sí lo podría ser para la conservación de otro servicio ambiental que pudiera ser evaluado mediante la metodología de evaluación multicriterio.

Por ello, se espera que este trabajo tan solo sirva de ejemplo para posibles trabajos que pudieran realizarse a menor escala y mayor detalle utilizando el método empleado para este estudio; además, que se tome en cuenta la priorización de las áreas o subcuencas expuestas en el presente trabajo, ya que resultan ser de suma importancia para la permanencia y calidad de los servicios ambientales que se presentan en la cuenca.

Estos resultados pueden apoyar también a la planeación de futuros proyectos ambientales que pudieran ser implementados en las zonas evaluadas; por ejemplo, en la porción serrana, ésta es la que relativamente ha sufrido menos perturbaciones significativas. Con esto, se señala la gran importancia para la conservación, incluso de conformar el corredor serrano, como una reserva hídrica; además de la importancia en cuanto a biodiversidad que ya han documentado otros estudios.

Por último, hay que señalar que las zonas de mayor valor designadas en este estudio coinciden en gran parte con áreas o distritos mineros de ya larga tradición y otras de reciente descubrimiento, como son las cumbres de la Sierra Madre del Sur, lo cual reviste una importancia mayor en cuanto a preservar fuentes de agua que no deben ser contaminadas por los procesos extractivos mineros.

## **Bibliografía**

Almazán-Núñez, R., & Almazán-Juárez, A., & Ruiz-Gutiérrez, F. (2011). Áreas Comunitarias para la Conservación de los Recursos Biológicos de la Sierra Madre del Sur, Guerrero, México. *Universidad y Ciencia*, 27(3), 315-329.

Azuara, I. (1998). *Modelación Espacial de la Biodiversidad*. Tesis doctoral. UNAM.

Ceballos, G & Martínez, L. & Espinoza, E. (2010). Áreas prioritarias para la conservación de las selvas secas del Pacífico mexicano. *Conabio*, 1, 387-392.

CONAGUA. (2016). Los Consejos de Cuenca [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110940/Generalidades\\_Consejos.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/110940/Generalidades_Consejos.pdf).

Cornejo, Cristian & Calderón, J & Suarez, L. (2014). Los servicios ambientales y la biodiversidad. *Investigación ambiental Ciencia y política pública*. 6. 53-60.

Cotler H., (2007). *El Manejo Integral de Cuencas en México*. SEMARNaT-INE. México. 348 p.

DOF - Diario Oficial de la Federación. (2017). ACUERDO por el que se dan a conocer los estudios técnicos de aguas nacionales superficiales de la Región Hidrológica número 18 Balsas, de 7 de Noviembre del 2017, 1-47. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5175730](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5175730).

Gonzalez-Terrazas, I., Mendoza, M., Geneletti, D. (2012). *Uso de Técnicas Multicriterio para la Gestión de Recursos y Aplicación de Políticas Ambientales en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán*. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. UNAM. México.

Geneletti, D. (2004). A GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley. *Land Use Policy* 21 (2004) 149–160.

Koleff, P. y T. Urquiza-Haas (coords.). (2011). *Planeación para la conservación de la biodiversidad terrestre en México: retos en un país megadiverso*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad–Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, México.

MEA, (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington D.C.

Mendoza, M., González, I. Terrazas, D. Geneletti, D. (2008). Uso de técnicas de análisis multicriterio para la priorización de subcuencas y municipios para la conservación, restauración y el aprovechamiento de los recursos naturales en la Cuenca del Lago de Cuitzeo. Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México.

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, de 27 de Marzo del 2015, 1-19.

Ridgley, m., Heil, G. (1998). Multicriterion Planning of Protected-Area Buffer Zones: An Application to Mexico's Izta-Popo National Park. ResearchGate. 7-16. <http://www.researchgate.net/publication/267682653>.

Rodríguez, C., Fernandez, R y Arreguin, M. (2005). Plantas Endémicas de la Cuenca del Rio Balsas, México. Polibotanica, 20, 73-99, ISSN 1405-2768.

Sánchez-Brenes, A; Alvarado-Ulloa, C; Solís-Blanco, R; (2015). Aplicación de Cadenas de Markov en un proceso de producción de plantas in vitro. Tecnología en Marcha. Vol. 29, 74-82.

Saaty, R. (1987). The analytic hierarchy process--what it is and how it is used Mathematical Modeling 9(3), 161-176.

Tammi, I., Mustajärvi, K., (2017). Integrating spatial valuation of ecosystem services into regional planning and development, Ecosystem Services, 26, Part B, 329-344.

Toledo A. (2003). Ríos, Costas, Mares. Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. INE-SEMARNAT.

Trejo-Vazquez, I. (1999). El Clima de la Selva Baja Caducifolia en México. Investigaciones Geográficas, 39, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, pp. 40-52.

UNAM (2011). Atlas Climático Digital de México. <http://ri.atmosfera.unam.mx:8586/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/eff94a2b-0de2-45a8-bffe-c079ec76e4a9>.

Valencia-Vargas, J. C. (2015). Desarrollo de la Región Hidrológica del Balsas mediante la modificación de su veda. Tecnología y Ciencias del Agua, 6(1), 81-97.

# EROSIÓN HÍDRICA DE LAS MICROCUENCAS DE ATLANGATEPEC, TLAXCALA Y TIXTLA, GUERRERO, CON CARACTERÍSTICAS MORFOCLIMÁTICAS DISTINTAS

Zitlali Solano Díaz

Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero

Germán Urbán Lamadrid

Instituto de Investigación Científica, Universidad Autónoma de Guerrero

Alfredo Méndez Bahena

Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Guerrero

Juan Suarez Sánchez

Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala

## Resumen

El estudio realizado en las microcuencas de Atlangatepec, Tlaxcala y Tixtla, Guerrero tuvo como objetivo evaluar el proceso de erosión hídrica mediante el modelo de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) en dos áreas de ubicación bajo escenarios de clima y geomorfología disímiles, asimismo se complementó con verificaciones en campo. Como resultado se obtuvieron los modelos de erosión potencial y actual, así como el grado de impacto que cada uno de los factores converge en la erosión del suelo. Concluyendo así que para la evaluación de la erosión hídrica en los suelos es importante obtener el modelo de la USLE mediante los Sistemas de

Información Geográfica (SIG). También cabe resaltar la importancia de tomar en cuenta los factores ambientales y de sustrato, como es el caso del tipo de roca, ya que como se observó en el análisis de los modelos, ésta última puede llegar a influir directamente a este proceso y que resulta importante no descartarla.

**Palabras clave:** erosión hídrica, microcuencas, dinámica hidrológica, conservación de suelos.

## **Introducción**

El proceso de erosión ha intervenido en la formación de los diferentes relieves que conforma la Tierra. Sin embargo, la aceleración de este proceso conlleva a la pérdida y degradación de suelos y diferentes ecosistemas, sin tomar en cuenta que llegan a pasar cientos de años para su recuperación de forma paulatina (Cotler, 2020; Alvarado-García, 2021).

Es así que en los últimos años se ha acentuado el estudio de erosión hídrica principalmente por medio de modelos digitales obtenidos con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitando así la implementación del método de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) (Gaitán et al., 2017; Matías et al., 2020; Alvarado-García, 2021). De los diferentes estudios que se han realizado se encuentra Alvarado et al. (2017), quien llevó a cabo un estudio en el estado de Tlaxcala sobre la pérdida de suelo utilizando el método USLE. Obteniendo como resultado la eficacia del uso de los SIG en el estudio de pérdida de suelo.

El presente estudio se planteó comparar los procesos de erosión hídrica en suelos con condiciones ambientales diferentes para profundizar en el conocimiento de este fenómeno, que tiene una gran relevancia para la conformación del paisaje.

Fue así como se seleccionaron dos áreas de estudio: Atlangatepec, Tlaxcala y Tixtla, Guerrero, con el objetivo de analizar la erosión hídrica en suelos de origen volcánico y sedimentario mixto, considerando distintos factores y variables naturales que se encuentran presentes en ambas microcuencas.

## **Antecedentes**

La degradación de los suelos ha pasado a ser uno de los principales temas en torno a las problemáticas ambientales. La pérdida de los horizontes edáficos por procesos erosivos resalta en áreas de montaña. Cuando ésta se lleva a cabo bajo condiciones naturales se considera erosión geológica (Muñoz, 2007), mientras que, cuando interviene la influencia humana, se considera erosión antrópica (INEGI, 2014).

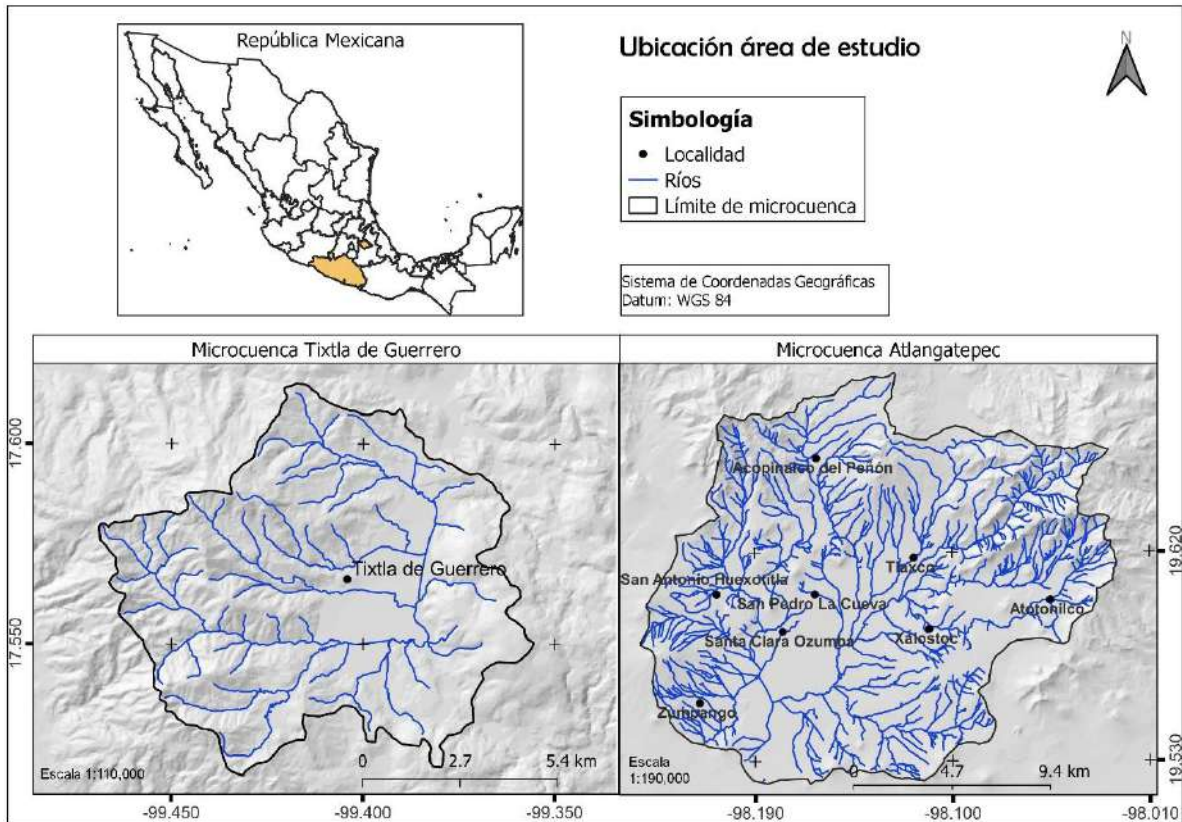
Uno de los procesos más estudiados es la erosión hídrica, donde el principal agente que interviene en este proceso es la acción del agua, tanto por goteo de lluvia como por escurrimiento laminar y lineal (SEMARNAT, 2008). Algunos autores han utilizado el enfoque de cuencas para analizar la erosión hídrica (Cotler et al., 2013), que junto con los SIG resultan ser una herramienta eficaz para aplicar el modelo USLE.

Algunos estudios reportados donde se ha aplicado la ecuación de la USLE mediante los SIG, se han llevado a cabo en el estado de Chiapas por Pérez-Nieto et al. (2012) en la cuenca Huixtla, Huehuetán y Coatán, de la Sierra Madre de Chiapas.



## Descripción de las áreas de estudio

**Figura 6.1** Ubicación de las microcuencas de Atlangatepec, Tlaxcala y Tixtla, Guerrero



La microcuenca de Atlangatepec se encuentra al norte del estado de Tlaxcala, pertenece a la Región Hidrológica No. 18 Balsas, cuenca río Atoyac, subcuenca río Zahuapan, es de tipo exorreica, los ríos que conforman la microcuenca desembocan en la presa de Atlangatepec y cuenta con un área de 297.61 km<sup>2</sup>.

Su rango altitudinal va de los 2,250 a los 3500 msnm. De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1964), se presentan dos climas: templado subhúmedo C(w<sub>1</sub>), con precipitaciones media anual de 700 mm, el cual

predomina en la microcuenca; mientras que, al noreste, sobre las cumbres, se encuentra el clima semifrío subhúmedo Cb(w<sub>2</sub>) con temperatura media anual entre 5 y 12° C.

La microcuenca se encuentra dentro de la provincia fisiográfica del Eje Volcánico Transversal (EVT) con geología de origen volcánico correspondiente al Cenozoico. Al norte y al sur afloran basaltos del terciario superior y cuaternario, ocupan una superficie del 25.82 %. Al noreste, se encuentran las andesitas del terciario superior, ocupan el 17.67 % de superficie total. En el noroeste se ubican las dacitas del terciario superior ocupando un 8.93 % de la superficie total. En la zona centro, se encuentran tobas ácidas del terciario superior, subyaciendo a rocas sedimentarias (limolitas y areniscas) y ocupan la mayor parte de la superficie con el 43.16 %.

En cuanto a las formas de relieve se delimitaron 16 geoformas dentro de la microcuenca, desde conos cineríticos, cumbres, domos volcánicos, laderas, lomeríos, mesas volcánicas, piedemonte, planicies volcánicas y aluviales, terrazas, valles y volcanes, mismas que ocupan la mayor superficie las planicies y terrazas (ver figura 8). En las unidades de suelo, se encuentran andosoles, durisol, gleysol, feozem, vertisol, predominando los andosoles asociados a leptosoles y regosoles.

La microcuenca presenta vegetación desde bosques de encino, pino, pino-encino y táscate. Se localizan principalmente en la zona alta del área de estudio,

sobre cumbres con pendientes altas. En la zona media y baja de la microcuenca con pendientes suaves, predomina el pastizal inducido y zonas agrícola-pecuarias.

En tanto que la microcuenca de Tixtla, Guerrero, pertenece a la Región Hidrológica número 20, Costa Chica – río Verde, cuenca río Papagayo, subcuenca río Azul. Tiene un área de 79.64 km<sup>2</sup> y es de tipo endorreica, con cauces que desembocan en el lago de Tixtla y subterráneamente se conecta a un sistema kárstico que desemboca hacia Mochitlán (sur de Tixtla). Los rangos altitudinales oscilan los 1,300 a los 2,000 msnm. La microcuenca presenta dos climas, (A)C(w<sub>1</sub>) semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, con precipitaciones media anual de 800 mm y cálido subhúmedo (Aw<sub>1</sub>).

La microcuenca se compone de dos unidades geológicas: rocas volcánicas del Cenozoico (Terciario y Cuaternario) y rocas sedimentarias marinas del Mesozoico (Cretácico superior y Cretácico inferior). En el norte se encuentran rocas ígneas extrusivas de tipo riolita-toba ácida del Cenozoico, sobreyacen en sedimentos del grupo Balsas y formación Mezcala; al noreste se encuentran rocas arenisca-conglomerado del Terciario inferior; lutita-arenisca del Cretácico superior, al este se presentan Calizas del Cretácico inferior; y al noroeste se localizan las rocas ígneas extrusivas-brecha volcánica basáltica del Cenozoico.

Presenta diferentes unidades geomorfológicas, desde cumbres, dolinas, laderas, lomeríos, mesas, montañas, piedemonte, planicies, terrazas, úvala y

valles (ver Figura 6.9). Así mismo se encontraron distintos tipos de suelo desde cambisol, fluvisol, leptosol, leptosol-rendzina, feozem, regosol y vertisol (Figura 6.10).

En vegetación predomina bosque de encino ocupando el 35 % de la superficie en la microcuenca, principalmente sobre rocas volcánicas al oeste del área de estudio; bosque de galería y vegetación secundaria de selva baja caducifolia ocupando el 24 % de superficie total. En cuanto al uso de suelo, se presentan actividades de agricultura de temporal en las laderas y de riego en los márgenes del lago; también existen actividades de ganadería.

## **Método**

Para llevar a cabo la descripción del área de estudio, se recopiló información cartográfica a escala 1:250,000, esta se descargó de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), tales como las cartas de geología (INEGI, 1991), edafología (INEGI, 2007), clima (INEGI, 2008), uso de suelo y vegetación (INEGI, 2013), hidrología y Continuo de Elevaciones de México (DEM) (INEGI, 2011) modificado a un tamaño de píxel de 20 m. Se llevaron a cabo recorridos en diferentes puntos de las microcuencas para verificar y corregir la información espacial, obteniendo así cartografía actualizada y más detallada para este estudio.

Para obtener la cartografía analítica, se delimitaron las unidades geomorfológicas empleando la clasificación de Zinck (2012) utilizando como base los mapas de geología, pendientes e hipsometría, estos dos últimos derivados

del DEM. Las características morfométricas de las microcuencas se calcularon a partir del área (A), perímetro (P), relación de elongación (Re), índice de forma (Kf) de Horton (1945):

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

donde: Kf = índice de forma; A = área; L = longitud;

Coeficiente de compacidad (Kc) propuesto por Gravelius:

$$Kc = \frac{P}{2\pi R}$$

donde: Kc = coeficiente de compacidad; P = perímetro;  $\pi = 3.1416$ ; R = radio de circunferencia

Para la dinámica hidrológica (precipitación, evapotranspiración, escurrimiento e infiltración) se descargaron los datos climatológicos de las estaciones meteorológicas de CONAGUA, 2020 (Zumpango del Río 12105; Chilpancingo 12033; Tixtla 12125; Petaquillas 12198; Mochitlán 12260, Chilapa 12110, Atlangatepec San José 29003, Cuamantzingo 29004, Tlaxco 29032, Santiago Tetla 29045, Toluca de Guadalupe 29051, El Rosario 29052 y Rancho Nuevo 13168) ubicadas cercanas al área de estudio, tomando los datos de precipitación y temperatura media mensual de cada una. Con los datos de precipitación, se realizó una interpolación en cada microcuenca con ayuda del programa ILWIS. Posteriormente para calcular la evapotranspiración se aplicó la fórmula de Thornthwaite:

$$ETP = 16(10T/I)^a$$

Donde: ETP = evapotranspiración potencial; T = temperatura; I = índice de calor.

Para calcular el escurrimiento se aplicó la siguiente formula:

$$Vm = C * Pm * A$$

Donde: Vm = escurrimiento; C = coeficiente de escurrimiento; Pm = Precipitación media mensual; A = área de estudio.

Finalmente, se estimó la diferencia entre precipitación, evapotranspiración y escurrimiento con lo que se obtuvo por deducción la infiltración. Cabe resaltar que cada componente fue multiplicado por el área de la cuenca para obtener el volumen (millones de m<sup>3</sup>) como unidad de medida final.

Para la estimación de pérdida de suelo, se aplicó la fórmula de la USLE desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) modificada a las condiciones ambientales del país por Figueroa et al. (1991).

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde A: tasa de pérdida anual de suelo en Tn./ha./año; R: factor de erosividad por la precipitación pluvial; K: factor de erodabilidad del suelo; L: factor de longitud de la pendiente; S: factor de gradiente de la pendiente; C: factor de uso de suelo y vegetación; P: factor de obras de conservación de suelo.

Para modelar la llamada “erosión potencial”, se recurre a la aplicación de los cuatro primeros factores (R, K, L y S), mientras que para la estimación de la “erosión actual” (misma que se entiende como la desaceleración que produce la cubierta vegetal y las prácticas de conservación) se aplicó la fórmula completa adicionando los factores C y P.

## Resultados

Las Tablas 6.1 y 6.2 resumen las principales características morfométricas de la microcuenca Atlangatepec. La microcuenca tiene una forma redonda a ovalada, por lo que tiende a concentrar los escurrimientos frente a una lluvia intensa formando grandes crecidas (Ver tabla 6.1).

### *Microcuenca de Atlangatepec*

**Tabla 6.1** *Morfometría de la Microcuenca de Atlangatepec*

Área	Perímetro	Relación elongación	Índice de forma de Horton	Coefficiente de compacidad
297,61km <sup>2</sup>	81,47km <sup>2</sup>	0,816	0,667	1,322

**Tabla 6.2** *Parámetros de la red hidrográfica*

Longitud de cuenca	Longitud de cauce principal	Pendiente de cauce principal	Densidad de drenaje	Orden de ríos	Relación bifurcación
-----------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------	------------------	-------------------------

21,12km	22,655 km	5.07 %	2.14	6	18,02
---------	-----------	--------	------	---	-------

De acuerdo con la estimación del volumen de precipitación, este va desde los 200 mm<sup>3</sup> del noroeste a los 215 mm<sup>3</sup> al sureste de la microcuenca. En cuanto a la evapotranspiración, se estimaron valores desde 50 a 52 mm<sup>3</sup>, ubicando los rangos más bajos al noreste y al suroeste los rangos más altos; mientras que el escurrimiento fue muy disperso, pues se encontraron valores bajos de 4 mm<sup>3</sup> al sureste, suroeste sobre planicies y noreste sobre laderas altas cubiertas de bosque de encino. Los valores más altos se presentaron alrededor de los 18 mm<sup>3</sup> ubicados al centro, al este y noroeste sobre cumbres, laderas, domos volcánicos y pie de monte. Finalmente, en la estimación de infiltración, se obtuvieron valores desde 144 hasta 165 mm<sup>3</sup>, la mayor infiltración se concentra al noreste sobre laderas con bosque de encino al centro y sur sobre planicies.

### Microcuenca de Tixtla, Guerrero

**Tabla 6.3** *Morfometría de la microcuenca de Tixtla*

Área	Perímetro	Relación elongación	Índice de forma	Coefficiente de compacidad
79.64 km <sup>2</sup>	44.84 km	1.057	0.878	1.4

Las Tablas 6.3 y 6.4 muestran las principales características de la morfometría de la microcuenca. De acuerdo con los parámetros de la



microcuenca, esta tiende a tener una forma redonda a ovalada, lo que significa que tiende a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento y posibles inundaciones.

**Tabla 6.4**

*Parámetros de la red hidrográfica de la microcuenca de Tixtla*

<b>Longitud de cuenca</b>	<b>Longitud de cauce principal</b>	<b>Pendiente del cauce principal</b>	<b>Densidad de drenaje</b>	<b>Orden de ríos</b>	<b>Relación bifurcación</b>
9.52 km	11.065 km	5.87 %	1.45	3	7.8

A partir de la precipitación, se obtuvieron valores desde los 70 a los 83 mm<sup>3</sup>, con una distribución de la precipitación baja al oeste y la más alta al este de la microcuenca. Los valores de la evapotranspiración se estimaron de 7 a 9.5 mm<sup>3</sup>, al suroeste se ubican los valores más bajos y al este los valores más altos; mientras que el escurrimiento presenta valores de 2 mm<sup>3</sup> al este de la microcuenca sobre montañas kársticas, mesa sedimentaria y lomeríos bajos al suroeste, y los valores altos alrededor de los 7 mm<sup>3</sup> al norte, este, sur y centro sobre laderas volcánicas. La infiltración presenta al oeste sobre laderas volcánicas los valores más bajos de 58 mm<sup>3</sup>, mientras que hacía al este se encuentran los valores más altos con 72 mm<sup>3</sup> sobre planicies, montañas kársticas y mesa sedimentaria.

## **Erosión actual de la microcuenca de Atlangatepec, Tlaxcala y Tixtla, Guerrero**

Para obtener la pérdida de suelo se tomaron en cuenta seis factores. El primero hace referencia a la erosividad de la lluvia (factor R). En la microcuenca de Atlangatepec, hay mayor presencia de lluvias distribuidas a lo largo del año, mientras que, en Tixtla a pesar de presentar mayor precipitación. Estas se encuentran restringidas en los meses de verano.

El segundo factor se refiere a la erodabilidad del suelo (factor K), es decir la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados. La microcuenca de Tlaxcala predomina los suelos feozem, ricos en materia orgánica y los andosoles, formados por cenizas volcánicas; se conforman de partículas muy finas que llegan a ser más susceptibles a erosionarse. Los suelos de la microcuenca de Tixtla cuentan con suelos porosos como los regosoles, los que ocupan una mayor superficie; estas propiedades le otorgan valores bajos en cuanto a la erodabilidad.

El tercer y cuarto factor son la longitud y grado de pendiente (factor L y S). Para la microcuenca de Atlangatepec, la existencia de extensas planicies (aluvial, intermontana y volcánica) le confieren valores más bajos de erosión potencial (ver anexo Figura 6.10), en comparación con Tixtla, donde las laderas volcánicas como geoforma dominante, producen valores de erosión potencial (Figura 6.11).

Resultado de esto, en la microcuenca de Atlangatepec predomina el rango de erosión baja con valores de 0 a 25 Tn./ha. /año (Figura 6.7), mientras que en la microcuenca de Tixtla prevalece el rango de erosión potencial severa, con más de 2,500 Tn. /ha. /año (ver figura 6.4 y figura 6.5).

El quinto parámetro corresponde a la cobertura vegetal (factor C), que actúa como protección al suelo ante la lluvia. En la microcuenca de Atlangatepec se observa

una reducción en la erosión actual sobre zonas de Bosques. De igual forma en la microcuenca de Tixtla las zonas de Bosque de Encino contribuyen a disminuir de forma importante el potencial erosivo que le confiere la geomorfología.

El sexto parámetro consiste en obras de conservación de suelos (factor P), encontrando que solo en la microcuenca de Atlangatepec se llevan a cabo prácticas de conservación de suelos, lo que ayuda a que estos no se vean afectados por la erosión. Cabe mencionar que los agricultores locales cultivan en sistemas de terrazas que previenen la erosión de suelos, desde la época prehispánica; mientras que en la microcuenca de Tixtla dichas prácticas no están presentes.

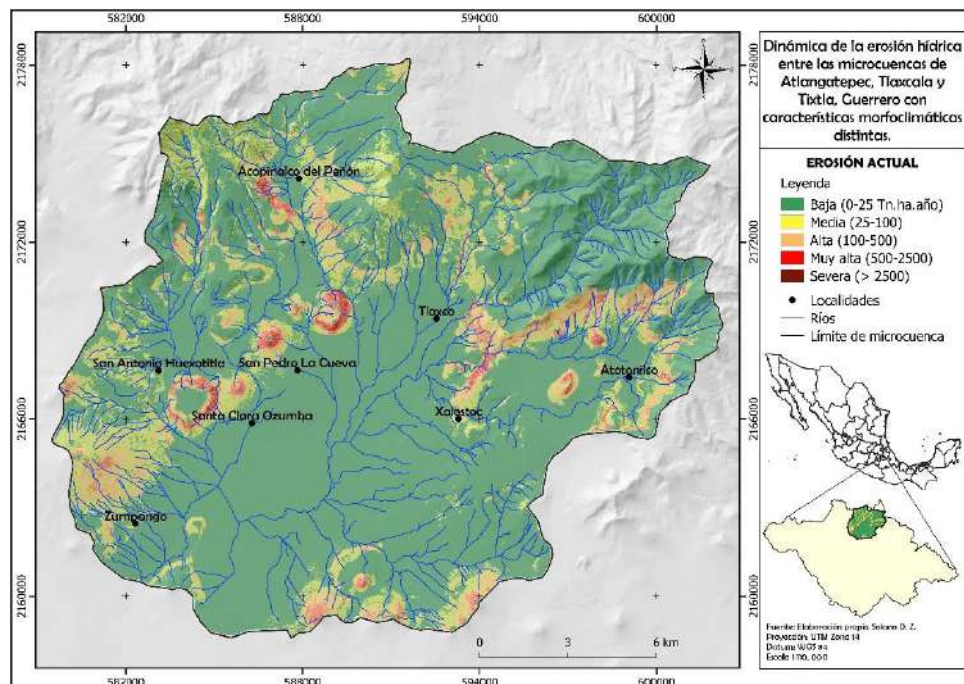
#### **Tabla 6.5**

*Tabla comparativa de erosión actual en la microcuenca de Atlangatepec y Tixtla*

	Erosión actual de Atlangatepec				Erosión actual de Tixtla			
<b>Rango de Erosión</b>	Baja (0-25 Tn./ha./año)	Media (25-100 Tn./ha./año)	Alta (100-500 Tn./ha./año)	Muy alta (500-2500 Tn./ha./año)	Baja (0-25 Tn./ha./año)	Media (25-100 Tn./ha./año)	Alta (100-500 Tn./ha./año)	Muy alta (500-2500 Tn./ha./año)
<b>Precipitación</b>	700 mm				800 mm			
<b>Suelos</b>	Andosol, Feozem, Durisol, Luvisol	Feozem, Andosol, Vertisoles	Feozem	Feozem	Feozem, Fluvisol, Vertisol, Gleysol, Cambisol,	Regosol	Regosol y Leptosol-Rendzina	Regosol y Leptosol-Rendzina
<b>Geoformas</b>	Planicies aluviales, Piedemonte, Lomerios, Laderas bajas, Terrazas, Valles y Montañas	Piedemonte, Laderas medias, Volcan	Piedemonte, Mesa volcánica, Conos cineríticos	Conos cineríticos y laderas	Planicie, Piedemonte, Uvala, Dolina, Motañas karsticas, Valles, Terrazas.	Laderas volcánicas y Terrazas	Montañas kársticas y Lomerios bajos y altos	Montañas kársticas, Lomerios bajos y altos y Laderas
<b>Vegetación</b>	Agricultura-Pecuaria, Pastizales, Bosque de Pino Encino	Pastizal inducido y Bosque de Tascate	Agricultura-Pecuaria	Agricultura Pecuaria	Agricultura de riego, Bosque de Encino	Bosque de Encino y VsA/Selva baja caducifolia	VsA/Selva baja caducifolia	VsA/Selva baja caducifolia
<b>Escurrimiento</b>	Bajo y medio	Medio y alto	Medio y alto	Medio y alto	Medio y alto	Medio y muy alto	Ligero y medio	Bajo
<b>Infiltración</b>	Media y alta	Media	Media	Media	Alta	Media	Alta y muy alta	Alta

En la Figura 6.6 se muestra el porcentaje de superficie que ocupa la erosión actual, donde se observó que en la microcuenca de Atlangatepec el rango bajo con valores de 0 a 25 Tn./ha./año ocupa un 76 % de superficie. Principalmente sobre planicies y laderas de rocas de Dacita, donde predominan los Bosques de Pino y Encino, que, a pesar de estar sobre pendientes pronunciadas, la cobertura vegetal les confiere una importante protección ante el proceso erosivo. El rango de erosión muy alta con valores de 500 a 2500 Tn./ha./año ocupa un 2 % de superficie sobre laderas altas, domo volcánico, lomeríos y piedemonte. A pesar de que los valores de pérdida de suelo son muy altos, la superficie susceptible no es significativa (ver Figura 6.2).

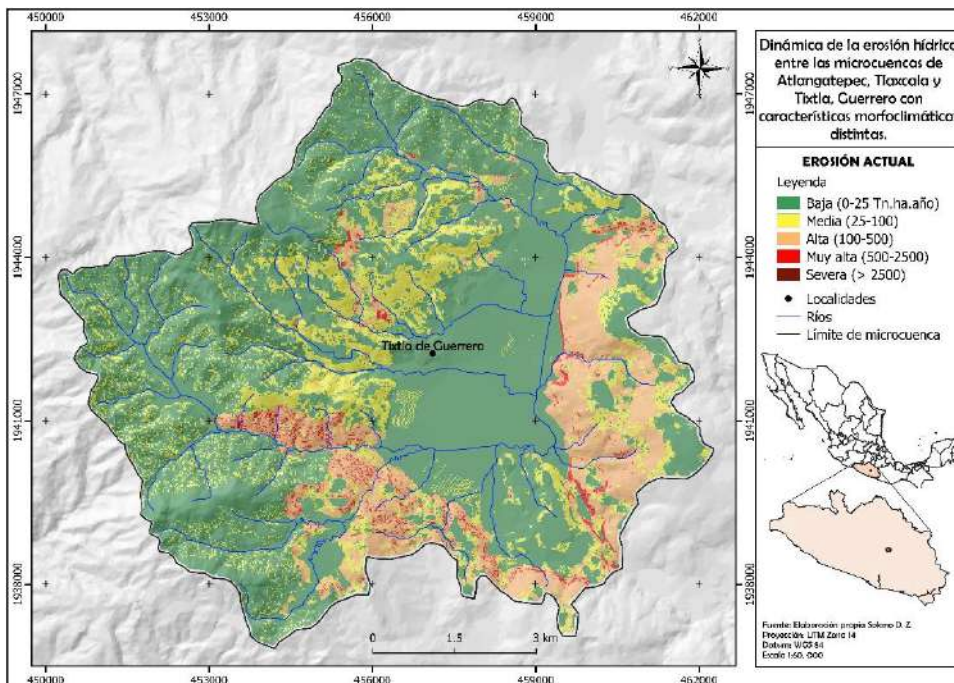
**Figura 6.2** Mapa de erosión actual de la microcuenca de Atlangatepec



Asimismo, como se puede observar en la Figura 6.7, el porcentaje de superficie de erosión de la microcuenca de Tixtla que predomina corresponde al

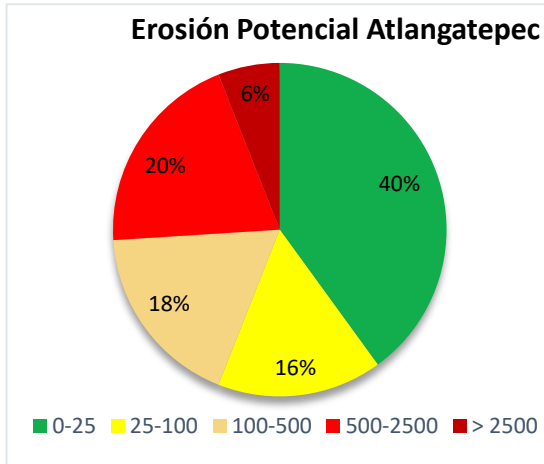
rango de erosión baja con una superficie del 65 %, tanto en planicies, laderas y cumbres. En estas últimas geoformas, presentan bosque de encino. El rango de erosión media con valores de 25-100 Tn./ha./año, ocupa un 19 % de superficie principalmente sobre montañas kársticas y lomeríos altos, estos últimos se componen de Lutita-Arenisca. Es importante mencionar que este tipo de roca llega a ser muy deleznable, lo que la hace más susceptible a erosionarse; aunado a esto la cubierta vegetal con la que cuenta es vegetación secundaria de Selva baja caducifolia, lo que le resta valor como protección a los suelos (ver Figura 6.3).

**Figura 6.3** Mapa de Erosión actual de la microcuenca de Tixtla

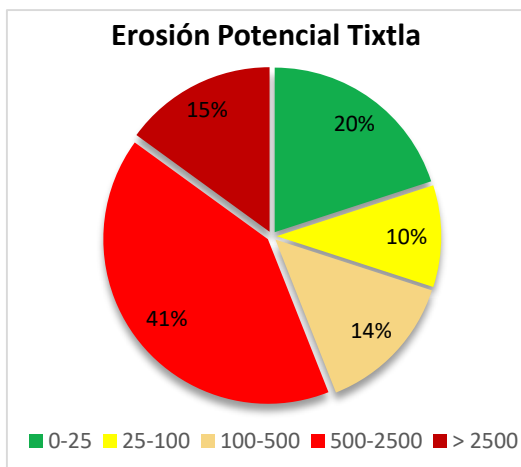


**Figura 6.4**

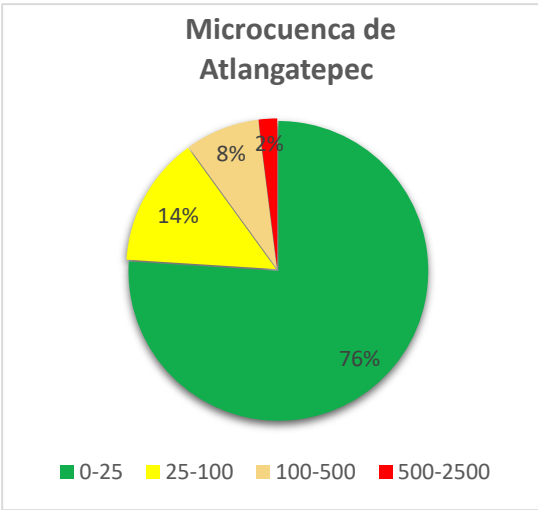
*Erosión potencial de la microcuenca de Atlangatepec*



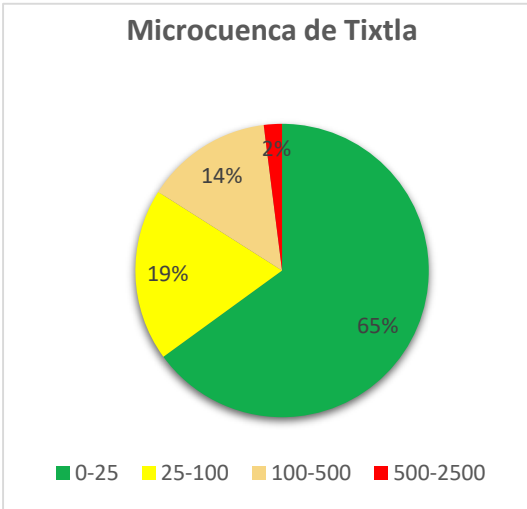
**Figura 6.5** *Erosión potencial de la microcuenca de Tixtla*



**Figura 6.6** Erosión actual de la microcuenca de Atlangatepec



**Figura 6.7** Erosión actual de la microcuenca de Tixtla





## Discusión

De acuerdo con los modelos obtenidos de erosión potencial se observó una mayor susceptibilidad a pérdida de suelos sobre laderas y montañas con pendientes altas, corroborando así lo mencionado por Rengifo-Rengifo *et al.* (2022) sobre el impacto que ejerce el factor L y S a la pérdida de suelo.

Asimismo se reafirmó que la cubierta vegetal (factor C) juega un papel fundamental en cuanto al proceso de erosión como lo menciona Torres *et al.* (2020), Sillero-Medina *et al.* (2021), y Rengifo-Rengifo *et al.* (2022), ya que las zonas que son mayormente afectadas por el proceso de erosión se encuentran escasas de vegetación natural, dicho patrón ocurre en ambas microcuencas en estudio.

De igual forma, un factor que se debe de tomar en cuenta es el tipo de roca, que a pesar de no tener valor en el modelo de la USLE, ocupa un papel importante en la interacción de los diferentes procesos que se han mencionado. A pesar de que las microcuencas coinciden en rocas volcánicas (toba ácida), se obtuvieron dos procesos diferentes de erosión. En la microcuenca de Atlangatepec la susceptibilidad de erosión es menor, posiblemente porque las rocas volcánicas de cuaternario son más porosas y por lo tanto con un mayor potencial de infiltración, como se observa en la dinámica hidrológica. En cambio, en la microcuenca de Tixtla la susceptibilidad a erosionarse fue mayor, esto puede deberse al tipo de relieve que predomina en esta área, a pesar de presentar roca caliza, que se caracteriza por tener buena capacidad de infiltración.

## Conclusión

Los modelos obtenidos de cuencas bajo condiciones bien diferenciadas permitieron detectar mejor qué factor en juego influye significativamente; por lo tanto, es de considerar este estudio como una muestra para establecer los patrones erosivos. Sin embargo, las conclusiones no pueden ser, del todo lineales; por ejemplo, la porción oriental de Tixtla está ocupada por rocas calizas muy karstificadas y con selva baja caducifolia, lo cual ilustra un paisaje donde la permeabilidad de la roca influye fuertemente en la casi ausencia de erosión; sin embargo el modelo USLE no logra detectarlo.

Por otra parte, en Atlangatepec, las prácticas de conservación de suelos, aplicadas desde tiempos históricos, han resultado ser en cierta forma efectivas. En este caso, la comparación entre una zona con y sin prácticas de conservación resulta ser de gran interés para decidir entre aplicarlas o no, donde sean necesarias por las condiciones naturales. En el caso de Tixtla los suelos de origen volcánico, de cierta compactación y relativamente desnudos, requieren de esas prácticas, tanto mecánicas como vegetativas, con mucho mayor urgencia.

Los mapas geomorfológicos son de gran apoyo en la determinación de los factores de mayor influencia. Ante casos similares, por ejemplo, laderas volcánicas, en ambas microcuencas, el factor C (cubierta vegetal) juega un papel importante.

## Bibliografía

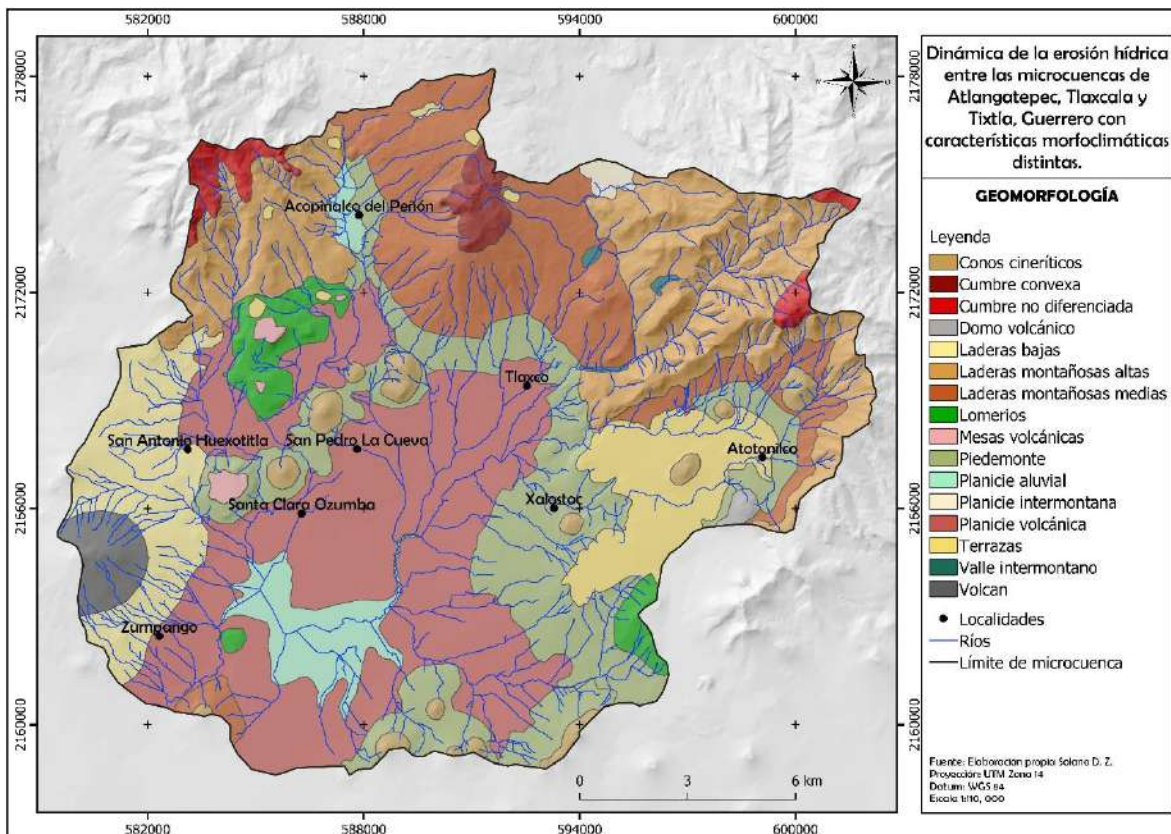
- Alvarado C. M., Martínez R. M. C. & Reynoso P. R. (2017). Evaluación y monitoreo ambiental Cuenca del río Zahuapan, Estado de Tlaxcala. (s. n.)
- Alvarado García, V. (2021). Factores que inciden en la erosión hídrica. *Ciencia Y Práctica*, 1(2). Pag. 57-68  
<https://doi.org/10.52109/cyp2021217>
- Camargo, C., Pacheco, C. y López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 265–280. <https://doi.org/10.15446/ga.v20n2.63917>
- CONAGUA. 2020. Estaciones climatológicas. Servicio Meteorológico Nacional.  
<https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- Cotler A. H.; Galindo A. A.; González M. I. D.; Pineda L. R. F.; & Ríos P. E. (2013). Cuencas hidrográficas. *Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión*. Ed. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas.
- Cotler, H. (2020). Manual para evaluar la erosión de los suelos en zonas forestales. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza, México.
- Figueroa S. B., Cortes T. H. G., Pimentel L. J., Osuna C. E. S., Rodríguez O. J. M., & Morales Flores F. J. (1991). *Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión hídrica*. Ed. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicas, Colegio de Postgraduados.
- Gaitan, J.; Navarro, M. F.; Vuegen, L. T.; Pizarro, M. J.; Carfagno, P. & Rigo, S. (20217). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. Primera edición. Ediciones INTA.
- García, E. (2004). Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. Quinta edición. (Original publicado en 1964). Quinta edición. (Original publicado en 1964).
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*. U.S.A.

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (1991). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Conjunto de datos vectoriales Geológicos E14-8. Escala 1:250,000 serie I. Chilpancingo*. Sistema Nacional de información Estadística y Geográfica. <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía. (2007). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Conjunto de Datos Vectorial Edafológico E14-8. Escala 1:250 000 Serie II Continuo Nacional Chilpancingo*. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235284>.
- INEGI. (2008). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas*. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>
- Instituto Nacional de Estadística. (2011).. *Continúo de elevaciones mexicano CEM (2.0)*. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2013). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación E14-8. Escala 1:250 000 serie V Conjunto Nacional Chilpancingo*. <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Erosión de suelos en México*. Boletín de prensa núm. 295/14. p. 3.
- Matías Ramos, M.; Gómez Diaz, J. D.; Monterroso Rivas, A. I.; Uribe Gómez, M.; Villar Hernández, B. J.; Ruíz García, P. & Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 11 (59). México, ME. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.673>. Pp. 51-71
- Rengifo-Rengifo, I. Y.; Muñoz-Gomez, F. A & Toro- Trochez, O. A. (2022). *Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana*. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, v. 20, n. 2, 2022, p. 29-44. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1738>
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2008). *Bases de Diagnóstico: Identificación de Zonas Susceptibles a la Erosión en el Estado de México*. Gobierno del Estado de México. Secretaría del Medio Ambiente.
- Sillero-Medina, J. A., Martínez-Murillo, J. F., & Ruiz-Sinoga, J. D. (2021). *Increased rainfall erosivity and its effects on soil loss estimation: A comparison between two watersheds in southern Spain*. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (89). <https://doi.org/10.21138/bage.3077>
- Wischmeier, W. H. & Smith D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses-a Guide to Conservation Planning-USA*; Agriculture Handbook 537. Sci. And Educ. Admin. USDA Washington, D.D.

## Anexos

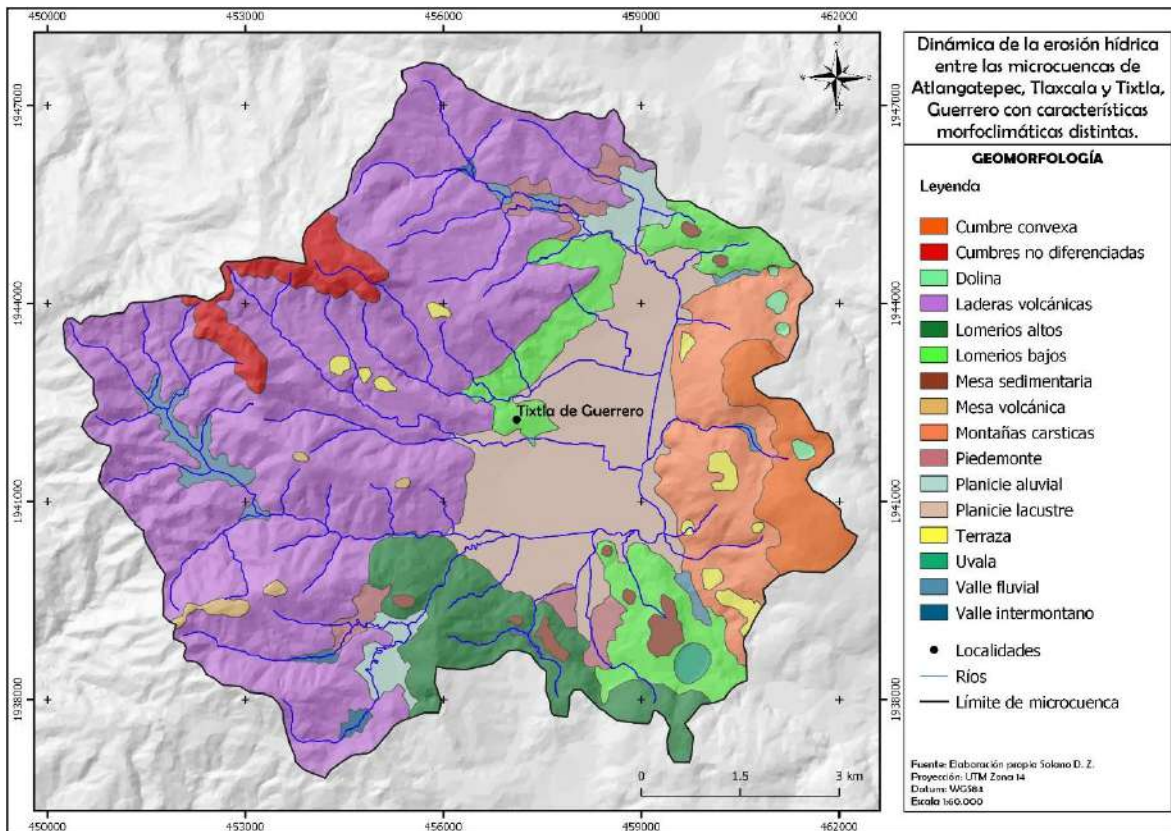
Figura 6.8

Mapa geomorfológico de la microcuenca de Atlangatepec



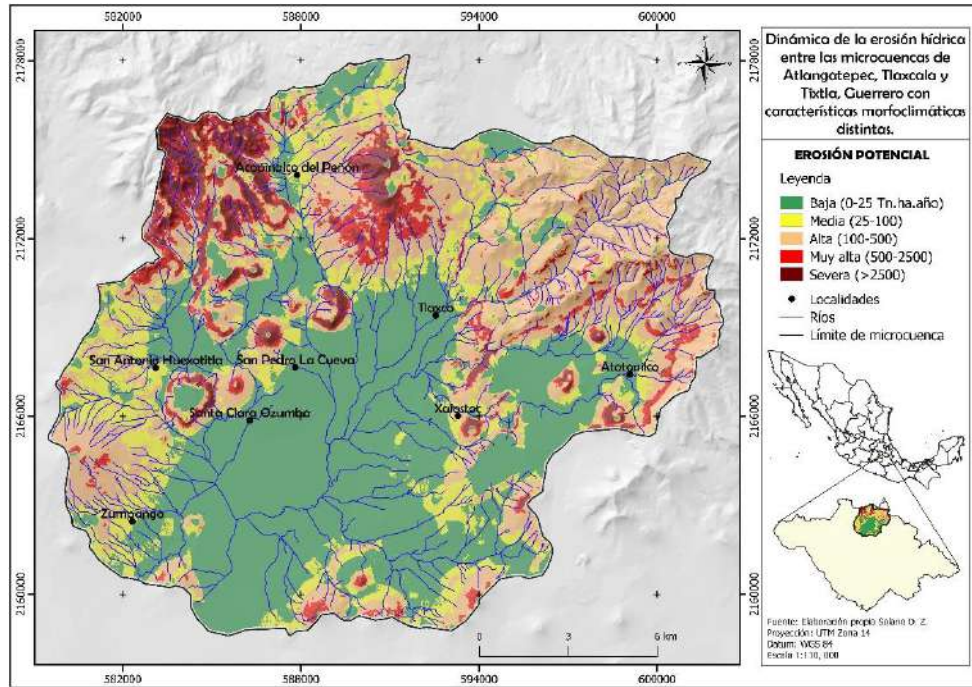
**Figura 6.9**

*Mapa geomorfológico de la microcuenca de Tixtla*



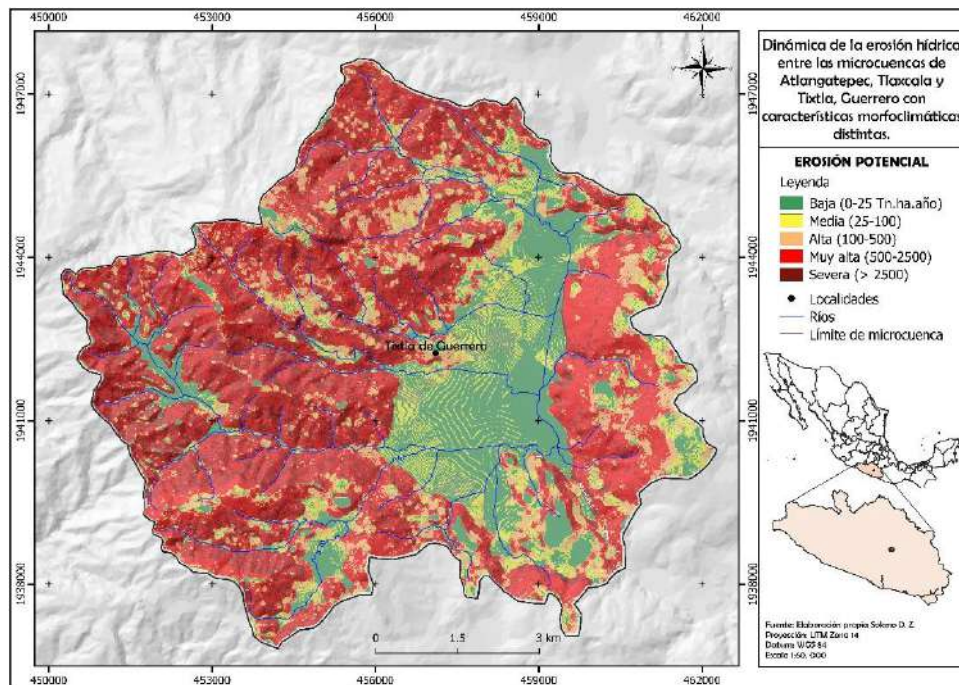
**Figura 6.10**

*Mapa de Erosión potencial de la microcuenca de Atlangatepec*



**Figura 6.11**

*Mapa de Erosión potencial de la microcuenca de Tixtla*





# GOTA A GOTA ¿EL AGUA QUE SE AGOTA?

## EDUCACIÓN AMBIENTAL, SUSTENTABILIDAD Y PRÁCTICAS DOMÉSTICAS DE CONSUMO DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO BALSAS: EL CASO DE CUERNAVACA, MORELOS

Emmanuel Poblete Trujillo  
Profesor Investigador de Tiempo Completo  
Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología  
Universidad Autónoma del Estado de Morelos  
[emmanuel.poblete@uaem.mx](mailto:emmanuel.poblete@uaem.mx)

José Luis Miranda Jiménez  
Profesor-Investigador Invitado  
Maestría en Gestión Integrada de Cuencas  
Universidad Autónoma de Querétaro

### Resumen

La cuenca del Río Balsas concentra a nueve entidades, una de ellas es Morelos. La educación ambiental es uno de los marcos de referencia para la investigación e intervención sobre problemáticas del medio ambiente, la modificación comportamental y la promoción de estilos de vida sustentables. Las prácticas domésticas entendidas como las acciones del uso del agua a nivel doméstico fueron evaluadas mediante la adaptación del *Water Footprint Calculator* del Instituto del Agua de la UNESCO.

La presente investigación cuantitativa de tipo exploratoria, descriptiva y transversal, cuyo objetivo fue identificar las prácticas domésticas del uso del agua de la cuenca del Río Balsas en la ciudad de Cuernavaca. El instrumento conformado por 28 ítems que exploraron las actividades realizadas en el interior y exterior del hogar, fueron dicotómicos y abiertos. La muestra de tipo no probabilística estuvo conformada por 238 personas. Se describen las prácticas domésticas del Índice de Huella Hídrica y la edad categorizada por grupos (Me=8.58, DE=5.87).

Los resultados de este estudio evidencian las prácticas domésticas como un factor que requiere atención para no comprometer la capacidad de carga hídrica y/o exacerbar problemas medioambientales que obstaculicen la sustentabilidad. Además, los programas de intervención, así como los proyectos de investigación sobre la gestión integral de las cuencas deberían retomar los factores psicosociales para los procesos de concientización en el manejo de los recursos naturales.

**Palabras clave:** Educación ambiental, sustentabilidad, huella hídrica.

## **Antecedentes**

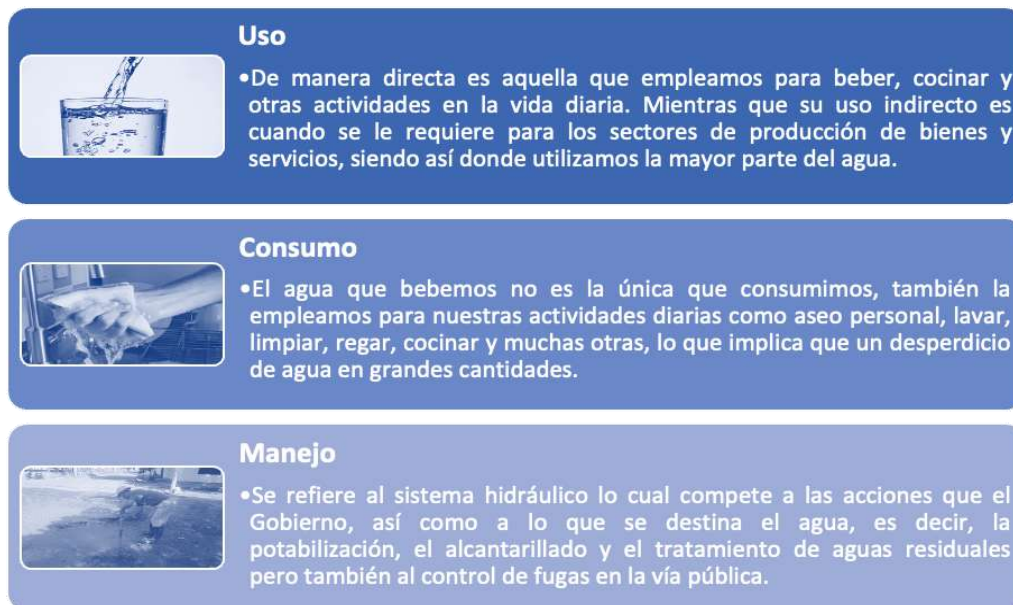
México tiene una gran responsabilidad para la protección y manejo sostenible de sus ecosistemas y recursos naturales, de acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019), nuestro país ocupa el quinto lugar de los doce países con mayor diversidad. Sin embargo, tanto el agua, el aire y los suelos se muestran sumamente dañados o consumidos más allá de su capacidad de carga (Luna-Villegas et al., 2017), lo cual se traduce en contaminación, escasez o incapacidad para asumir sus funciones ecosistémicas

(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018; SEMARNAT, 2019).

En el caso del agua, los problemas tienen que ver con su disponibilidad en cantidad y calidad para el consumo humano, pero también con la afectación y disminución de sus funciones naturales (García, 2018; UNESCO, 2021). El agua, es uno de los recursos vitales para la supervivencia del ser humano, por lo que su uso, consumo y manejo tienen diferentes aristas para realizar investigación como se ilustra en la Figura 7.1

### Figura 7.1.

#### *Conceptos principales en el uso del agua*



**Fuente:** Elaboración propia con base en: Naciones Unidas, 2014; Comisión Nacional del Agua, 2016; Saavedra, 2019.

La Comisión Nacional del Agua desde 2006 estableció trece regiones hidrológico-administrativas (RHA) formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas como las unidades básicas para la gestión de recursos hídricos y

cuyos límites toman en consideración la división política municipal y así facilitar la administración y la gestión del agua.

La cuenca del Río Balsas concentra a las entidades de Ciudad de México, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala. De acuerdo con los datos de la Comisión Nacional del Agua (2016), esta cuenca tiene una superficie continental de 116 439 km<sup>2</sup>, la cual abastece a 11.81 millones de habitantes y en cuanto al agua renovable per cápita de esta RHA es de 1 836 m<sup>3</sup>/hab./año.

El municipio de Cuernavaca se ubica en la cuenca del río Grande de Amacuzac, el territorio municipal drena sus aguas en tres subcuencas en la del río Ixtapan, el río Apatlaco y en la del río Yautepec. La ciudad se encuentra localizada sobre la vertiente sur de la sierra del Chichinautzin y existen en el municipio dos tipos de climas predominantes, siendo éstos el clima templado subhúmedo y el semi-cálido subhúmedo y se encuentra en el área urbanizada.

En la primera mitad del siglo XX hubo mayor desenvolvimiento en la gestión y tratamiento del ambiente gracias a la pedagogía. Por lo que encontramos en él un nuevo aspecto, que ha sido útil para la construcción de la Educación Ambiental (EA), también conocida como pedagogía ambiental o que desde la propuesta de Paulo Freire se hace referencia como la ecopedagogía (Basto-Torrado, 2011; Misiaszek & Torres, 2019; Hung, 2021).

La EA no está al margen de los proyectos de desarrollo comunitario, de protección al medio ambiente y de los procesos productivos en general. Ello articulado a los patrones socioculturales y de todo tipo de la población destinataria, hacen referencia a una enorme complejidad que debe ser considerada de manera

activa en la planeación, ejecución y evaluación de proyectos de educación ambiental (González-Gaudiano, 1994; Nay-Valero & Cordero-Briceño, 2019).

La Educación para el Desarrollo Sostenible (EDS) tiene como objetivo ayudar a las personas a desarrollar actitudes, competencias, perspectivas y conocimientos para tomar decisiones bien fundamentadas y actuar en pro de su propio bienestar y el de los demás, ahora y en el futuro. La EDS ayuda a los ciudadanos del mundo a encontrar su camino hacia un futuro más sostenible.

La EDS exige métodos participativos de enseñanza y aprendizaje que motiven a los alumnos y les doten de autonomía, a fin de cambiar su conducta y facilitar la adopción de medidas en pro del desarrollo sostenible. La EDS promueve la adquisición de competencias tales como el pensamiento crítico, la elaboración de hipótesis de cara al futuro y la adopción colectiva de decisiones (Alonso-Sainz, 2021).

En el estado de Morelos existe una gran diversidad biológica debido a la compleja conjunción de influencias climáticas y orográficas. Sin embargo, esta misma variedad y riqueza se está viendo amenazada por el cambio climático. Hay sequías en algunos municipios y exceso de precipitaciones pluviales en otros (Burgos-Solorio & Tello-Salgado, 2021; González-Ibarra & Orihuela-Rosas, 2021), de igual manera, el crecimiento poblacional, económico y social han contribuido para que en algunos municipios existan severos problemas ambientales por la dinámica industrial, de servicios y por la creciente urbanización (Batllori, 2001).

Las prácticas del uso de agua en el contexto doméstico han sido exploradas en diferentes investigaciones, dada la diversidad del abordaje del uso del agua.

En el caso de África, una investigación cuantitativa en Nigeria analizó el consumo del agua dentro de los hogares desde una perspectiva de género, se consideraron como ejes temáticos los aspectos domésticos como almacenamiento del agua, preparación de alimentos, consumo de agua (beber) y el uso dentro de las prácticas religiosas con los ritos de purificación. Se concluyó que las prácticas culturales y la disponibilidad o acceso al agua presenta comportamientos diferenciales en torno a los períodos de sequía contra el de lluvia. Las mujeres no son las principales encargadas de la recolección del agua, la calidad del agua relacionada entre el estado de salud y la afectación a los hábitos de higiene con los sistemas de sanitización derivan en altas prevalencias de enfermedades diarreicas y finalmente, la ausencia de prácticas de conservación del agua dentro de la comunidad (Nyong & Kanaroglou, 2001).

Danert y Healy (2021) realizaron un estudio cuantitativo en Nigeria sobre fuentes de agua domésticas en hogares urbanos. Los hallazgos fueron que la principal fuente de agua potable es la embotellada y en segundo lugar el agua de pozo, así como el agua entubada. En conclusión, debido a las condiciones del país, la percepción de la ciudadanía sobre la calidad del agua y su asequibilidad es una de las preocupaciones que deberían ser tomadas en cuenta para la implementación de políticas. La promoción de acciones sobre el agua potable es crucial y debe ser una vinculación entre los órganos decisores de políticas públicas y los hogares.

En Asia, se realizó un estudio en Arabia Saudita con la finalidad de conocer las fuentes de agua y las prácticas de conservación del agua en el ámbito doméstico. Los hallazgos de este trabajo resaltan el costo y la calidad del recurso hídrico, la necesidad de la realización de un programa de conservación del agua

con la promoción de herramientas en el contexto educativo, medios masivos y el trabajo de concientización y responsabilidad ambiental del sector privado, así como de las Organizaciones de la Sociedad Civil (Ouda et al, 2013).

En Europa, una investigación cualitativa en España sobre el uso del agua en el exterior de los hogares. Los hallazgos que se tuvieron fueron que hay una variación comportamental de la población. Al tener una población compuesta por dos grupos etarios: jóvenes (25 a 59 años) y adultos mayores (más de 60 años), se identificó la manifestación de una relación sociedad-naturaleza al reportarse la preferencia de presencia de plantas en el hogar y un comportamiento ecológico con el uso racional del agua que al considerar la repercusión económica en el riesgo de jardines con plantas exuberantes. No obstante, el jardín forma parte de un “accesorio” que brinda estética al hogar ya que no hacen uso de áreas verdes en casa, solamente para exhibir con sus conocidos. Las conclusiones fueron que los residentes han adoptado en los últimos años diferentes estrategias y cambios en el uso del agua en con el objetivo de reducir el consumo de agua (Morote-Seguido, 2016).

En América, se efectuaron dos proyectos uno en Chile y el otro en México. El primero un estudio cualitativo desde la política feminista sobre los usos que las mujeres le dan cotidianamente al agua, abordando los impactos materiales y emocionales que ha generado la falta de disponibilidad de agua (Bravo & Fragkou, 2019). Los resultados encontrados giran en torno a tres aspectos: el primero sobre el impacto corporal que ha generado la escasez al ser las mujeres las principales recolectoras del agua en el hogar; el segundo, afectaciones a nivel emocional al ser las mujeres las responsables de la recuperación del agua se presenta un alto nivel

de preocupación y de estrés; y el tercero, valores biológico-espirituales, se reconoce la importancia vital del agua, pero también la observación del impacto en los modos de vida y las diferencias culturales y generacionales del pueblo Mapuche, se verán afectadas espiritualmente a causa de la escasez hídrica.

Mindek & Moreno (2018) realizaron un estudio cualitativo para conocer la división sexual del trabajo en el uso del agua. En resultados se encontró que además del cumplimiento de las labores cotidianas que son realizadas mediante roles tradicionales de género, las mujeres también deben cumplir con las labores domésticas y son las encargadas de que no falte el agua potable en la casa. En conclusión, debido a la configuración del asentamiento de la población del estudio, el agua es un recurso que cuenta con suficientes fuentes naturales. Con la inversión de la obra hidráulica, principalmente con el agua entubada, la población reconoce que hay cierta nostalgia ya que al no acarrear el agua, se cambió la dinámica de socialización como se hacía tiempo atrás, dándoles oportunidad para realizar actividades escolares, laborales o recreativas.

### **Objetivo**

Identificar y evaluar las prácticas de uso del agua de los residentes de la ciudad de Cuernavaca del Estado de Morelos.

### **Método**

Se realizó un estudio cuantitativo del tipo exploratorio-descriptivo-transversal con un muestreo no aleatorio y sistemático en Cuernavaca.



La muestra estuvo compuesta por 238 individuos entre 14 y 79 años, el grupo de edad de 14 a 24 años representó el 45.8%, 25 a 34 años con 21.4%, el 17.2% para el grupo de 35 a 44 años, el 12.2% fueron de 45 a 64 años y finalmente, los de 65 años y más con un 3.4%, todos residentes del municipio de Cuernavaca; de los cuales 51.9% fueron hombres y 48.1% mujeres. El nivel educativo más predominante fue preparatoria con 26.3%, seguido por posgrado con 25% y licenciatura con 20.8%. La ocupación más frecuente fue estudiante (30.7%). El 57.1% de los participantes eran solteros, 21.7% vivían en unión libre y 14.7% reportaron ser casados.

Antes de iniciar la encuesta se informó a los participantes el objetivo del estudio, el tipo de preguntas que se les harían y se les solicitó firmar un consentimiento informado para participar en la presente investigación. Se establecieron como criterios de inclusión: aceptar participar en el estudio y responder un cuestionario, preferentemente ser mayores de edad (se entrevistaron 13 personas de edad entre 14 y 17 años, mismas que fueron incluidas para el sustento estadístico en un solo grupo de edades conformado de 14 y 24 años, y a quienes se les solicitó su consentimiento como mayores de edad para ser incluidos estadísticamente en la investigación) y menores de 75 años, por último, residir por lo menos 5 años en la localidad. Y el único criterio de exclusión fue no saber leer y escribir.

Se administró un instrumento cuantitativo: cuestionario. El cuestionario recogió datos cuantitativos y se diseñó especialmente para este estudio, tomando como base el instrumento propuesto por Hoekstra et al (2005) y el Institute for Water Education del UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural

Organization, 2005)<sup>1</sup>, el cual ha sido validado y aplicado a nivel global, además de que ha sido la referencia por excelencia al ser diseñado y empleado por el creador del concepto de la Huella Hídrica.

El mismo cuestionario fue modificado y posteriormente piloteado con una pequeña muestra de población que vivían en el municipio de Cuernavaca y quienes no se incluyeron en la muestra final. El cuestionario estuvo constituido por 133 preguntas (en su mayoría preguntas de opción múltiple tipo Likert y dicotómicas) y que a su vez, está dividido en 9 secciones (ver tabla 7.1). La aplicación del cuestionario a los participantes tuvo una duración promedio de 15 minutos.

**Tabla 7.1**

*Relación de secciones del instrumento: Cuestionario*

No.	Sección
1.	Datos estructurales
2.	Caracterización de la vivienda
3.	Calidad de los recursos naturales de la comunidad
4.	Papel de las autoridades en resolución de problemas ambientales
5.	Actitud y conocimiento sobre cambio climático

---

<sup>1</sup> El instrumento empleado por el UNESCO-IHE que se hace referencia se denomina “*Personal Water Footprint*” compuesto por las siguientes secciones: 1) Consumo de alimentos, 2) Uso doméstico del agua y 3) Uso de bienes industriales. Recuperado de: <http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/personal-water-footprint-calculator/> Los cálculos estadísticos para la estimación de la Huella Hídrica persona están basados en los requerimientos de agua por unidad del producto en el país de residencia. Para el caso particular de México, esta herramienta de cálculo consideró la población nacional de 99.8 millones de habitantes, huella hídrica total: 200,000 millones m<sup>3</sup>/año (Interna: 57% y externa: 43%).

**Fuente:** Mekonnen & Hoekstra (2011). National Water Footprint Accounts, UNESCO-IHE. Recuperado de: <http://waterfootprint.org/media/downloads/Report50-NationalWaterFootprints-Vol1.pdf>

6. Huella hídrica
  7. Variaciones en el clima
  8. Fenómenos hidrometeorológicos
  9. Enfermedades padecidas en los últimos 12 meses y en toda la vida
- 

Fuente: Elaboración propia

## Resultados

La sección del instrumento que evalúa la Huella Hídrica reporta un coeficiente de Cronbach<sup>2</sup> ( $\alpha = 0.54$ ), después de un análisis factorial para determinar los ítems que explicaban mayor carga y la dimensionalidad del constructo. Además, se encontró que 8 de los 28 ítems (1, 4, 5, 9, 17, 22, 23 y 25) lo hacían con mayor precisión y a partir de éstos se construyó un Índice de Huella Hídrica, a dichos ítems se les realizaron análisis descriptivos (Me=8.58; DE=5.87).

El cuestionario fue analizado para explorar la dimensionalidad de la escala y para ello se realizó un análisis factorial de componentes principales, sin emplear rotación. El objetivo era comprobar si los ítems se agrupaban claramente en un único factor. En caso de que todos los ítems presentaran un peso aceptable en el primer factor sin rotar, es decir, que explicara dicho factor un porcentaje alto de la varianza, se consideraría un dato que apunta a la unidimensionalidad de la escala.

---

<sup>2</sup> En las propiedades psicométricas de las investigaciones con metodología cuantitativa, de entre los métodos de revisión sugeridos de la consistencia interna, se encuentra el *Alpha de Cronbach*; este coeficiente obtuvo un resultado aceptable con base en Hafiz y Nassir-Shaari citando a Nunnally (2013) se establece que en las fases iniciales de una investigación es aceptable un resultado de 0.5 a 0.6, al momento de evaluar dicho coeficiente.

Sin embargo, la mayoría de los ítems tuvo un peso moderado en cuatro factores, y del primer factor sin rotar, únicamente presentó el 20.82% de la varianza.

Se consideró adecuado, realizar un nuevo análisis factorial, utilizando rotación varimax, para analizar la multidimensionalidad de la escala. El análisis extrajo 4 factores que explican el 56.40% de la varianza. Como puede observarse en la Tabla 7.2, el primer factor agrupa dos ítems que definen una dimensión que se correspondería a las **prácticas de limpieza doméstica** y explica un 20.6% de la varianza. El segundo factor agrupa cuatro ítems y concentra a las **prácticas de higiene personal** que explican un 14.4%. Los dos últimos factores, hacen referencia a dos dimensiones que integran a las **prácticas con ayuda de dispositivos** que explica un 11.4% y 9.8%, respectivamente.

**Tabla 7.2**

*Análisis factorial del instrumento de Huella Hídrica*

Ítem		Factores			
		1	2	3	4
HH15	Lavar a mano con llave abierta	.755			
HH19	Lavar platos con llave abierta	.784			
HH6	Lavar dientes con la llave abierta		.617		
HH8	Lavar manos con llave abierta		.657		
HH13	Lavar la ropa a mano		.056		
HH21	Tener WC doble descarga		.738		
HH3	Tener tina de baño			.667	

HH10	Afeitarse y/o depilarse con llave abierta	.358
HH16	Tener lavavajillas	.758
HH27	Tener alberca	.601
HH11	Tener lavadora	.766

---

**Fuente:** Elaboración propia

A continuación, se describen las prácticas domésticas del Índice de Huella Hídrica y la edad categorizada por grupos (Me=8.58, DE=5.87) se realizó comparación de medias, el grupo 14 a 24 años (Me=9.15, DE=5.6), el de 25 a 34 años (Me=6.59, DE=2.2), el de 35 a 44 años (Me=9.6, DE=10.0), el de 45 a 64 años (Media=8.16, DE=2.36) y por último, el de 65 y más años (Me=11.6, DE=4.1). Ante estos resultados, es esperado que las intervenciones sean dirigidas a los adultos jóvenes, en quienes hay apertura en la participación de actividades universitarias sobre temas ambientales, la sensibilización y concientización, así como de la promoción de conductas sustentables para el desarrollo y adquisición de estilos de vida sustentables. Además, al estar inmersos en programas de educación ambiental, particularmente en el consumo de agua, se traduciría en una estrategia pertinente para hacer conscientes del impacto de las prácticas domésticas en el uso del agua de la Cuenca del Río Balsas.

La Tabla 7.3 muestra las 8 prácticas significativas y que conforman el Índice de Huella Hídrica, en dichas prácticas se observa su agrupación en dos categorías: la primera como actividades realizadas en el interior del hogar al ser propias de la higiene personal, y la segunda, actividades del exterior de la vivienda, resaltando el uso del agua para el lavado y el riego.

**Tabla 7.3***Resultados descriptivos del Índice de Huella Hídrica (ítem-ítem)*

	Ítem	n	Mínimo	Máximo	Me	DE
1	<i>¿Cuántas veces te duchas al día?</i>	235	0	5	1.39	0.66
4	<i>¿Cuántas veces a la semana usas la tina de baño?</i>	142	0	17	0.72	2.28
5	<i>¿Cuántas veces al día te lavas los dientes?</i>	234	0	8	2.63	0.85
9	<i>¿Cuántas veces al día te afeitas y/o depilas?</i>	197	0	10	0.79	0.94
17	<i>¿Cuántas veces a la semana usas el lavavajillas?</i>	141	0	20	0.58	2.17
22	<i>¿Cuántas veces a la semana lavas el auto?</i>	158	0	7	0.66	1.26
23	<i>¿Cuántas veces a la semana riegas las plantas?</i>	194	0	15	2.39	2.20
25	<i>¿Cuántas veces a la semana lavas la banqueta?</i>	156	0	20	0.81	2.15

**Fuente:** Elaboración propia**Nota:** El tamaño muestral varía en cada ítem debido a que no todos los informantes realizan la actividad explorada en cada reactivo.

En la Tabla 7.4, se observan pequeñas diferencias en las correlaciones obtenidas entre los ítems que forman parte del Índice de Huella Hídrica. La mayoría

de las variables muestran relaciones significativas y correlacionan positivamente con excepción de lavar a mano la ropa (13) y con tener lavadora (11).

Hay una **relación débil** entre *tener tina de baño* (práctica 3) con *lavar los dientes con la llave abierta* (práctica 6), *tener lavavajillas* (práctica 16), *tener WC con doble descarga* (práctica 21) y *tener alberca* (práctica 27), lo cual se traduce que a mayor uso de la tina de baño más se realizarán las demás prácticas.

Se tiene una **relación débil** entre *lavar los dientes con la llave abierta* (práctica 6) con *lavar las manos con la llave abierta* (práctica 8), *afeitar y/o depilar con llave abierta* (práctica 10), *tener lavadora* (práctica 11), *lavar a mano con llave abierta* (práctica 15), *tener lavavajillas* (práctica 16) y *tener alberca* (práctica 27), y una **relación moderada** con *tener WC con doble descarga* (práctica 21), lo cual se traduce que a mayor frecuencia del lavado de dientes con la llave abierta más se realizarán las demás prácticas.

Se tiene una **relación débil** entre *lavar las manos con la llave abierta* (práctica 8) con *lavar a mano con la llave abierta* (práctica 15) y *lavar los platos con la llave abierta* (práctica 19), y una **relación moderada** con *tener WC con doble descarga* (práctica 21) y *tener alberca* (práctica 27), lo cual se traduce que a mayor frecuencia del lavado de las manos con la llave abierta más se realizarán las demás prácticas.

Hay una **relación débil** entre *afeitar y/o depilar con llave abierta* (práctica 10) con *tener lavavajillas* (práctica 16), lo cual se traduce que a mayor uso de la tina de baño más se realizarán las demás prácticas.

Hay una **relación negativa débil** entre *tener lavadora* (práctica 11) con *lavar la ropa a mano* (práctica 13), lo cual se traduce que a mayor presencia de la lavadora menos se lavará a mano.

Hay una **relación moderada** entre *lavar a mano con llave abierta* (práctica 15) con *lavar platos con llave abierta* (práctica 19), lo cual se traduce que a mayor lavado a mano más se lavarán los platos.

Se tiene una **relación débil** entre *tener lavavajillas* (práctica 16) con *tener WC con doble descarga* (práctica 21) y *tener alberca* (práctica 27), lo cual se traduce que a menor presencia del lavavajillas más se realizarán las demás prácticas.

Se tiene una **relación débil** entre *lavar platos con llave abierta* (práctica 19) con *tener alberca* (práctica 27), lo cual se traduce que a mayor frecuencia del lavado de platos más se tendrá alberca.

Se tiene una **relación débil** entre *tener WC con doble descarga* (práctica 21) y *tener alberca* (práctica 27), lo cual se traduce que a menor presencia del WC más se tendrá alberca.



**Tabla 7.4***Correlaciones de Pearson de las variables del constructo de Huella Hídrica*

<i>Práctica</i>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>21</b>	<b>27</b>
<b>3</b>											
<b>6</b>	.152*										
<b>8</b>		.267**									
<b>10</b>		.199**									
<b>11</b>		.281**									
<b>13</b>					-.284**						
<b>15</b>		.185**	.172*								
<b>16</b>	.212**	.281**		.214**							
<b>19</b>			.238**				.412**				
<b>21</b>	.221**	.352**	.396**					.158*			
<b>27</b>	.274**	.159*	.359**					.208**	.163*	.230**	

\* $p < 0.05$  \*\* $p < 0.01$

Fuente: Elaboración propia.

**Conclusiones y recomendaciones**

Los estilos de vida del hombre del siglo XXI han generado transformaciones en el comportamiento, sobre todo por demandas provenientes del contexto laboral y la influencia del sistema capitalista, esto lo vemos con el consumismo. Al considerar los resultados de este estudio en el que se evidencian las prácticas

domésticas al interior de la vivienda, se encontró que las actividades diarias de aseo personal como el bañarse, el lavado de dientes, el rasurado y/o afeitado, sutilmente exponen a la población a un uso más irracional del uso del agua.

La aplicación del WaterFootPrint permitió la identificación de las prácticas domésticas que realizaron con mayor frecuencia los informantes, por ende, se permitió establecer los aspectos a considerar para la realización de propuestas según perfiles y por ello, el trabajo orientado hacia la potenciación de la conciencia y con esto se busca la transformación de prácticas del agua no racionales hacia conductas proambientales.

Por lo anterior, se consideran las siguientes recomendaciones:

- A nivel individual, familiar, comunitario y político se requiere la implementación de estrategias dirigidas al cuidado y a la protección del medio ambiente, a partir de un cambio social que dé soporte a la sustentabilidad y promueva una relación más armónica de la sociedad como parte de la naturaleza y no de sobre explotación de los recursos que agudiza los problemas medioambientales y compromete los recursos naturales y sociales.
- Los programas de educación ambiental e intervención psicosocial para el manejo de los recursos naturales incorporen estrategias educativas y psicosociales, así como recomendaciones de la gestión integral de las cuencas en uso y consumo más racional del agua en el ámbito doméstico y comunitario.
- Promover cambios de los estilos de vida centrados en acciones orientadas al cuidado del medio ambiente, de generar estilos de vida sustentables y repensar nuestras prácticas de consumo para favorecer una nueva cultura del agua.

- En la cuenca del Río Balsas y específicamente el caso particular de Cuernavaca, cuya localidad aún sigue siendo reconocida socialmente como “Ciudad de la eterna primavera” es importante la promoción de la sustentabilidad en la realización de las prácticas de manejo y consumo de agua a nivel doméstico, desde un enfoque (inter)generacional.
- Desarrollo y ejecución de acciones educativas en materia del manejo de recursos naturales como es el caso del agua. Dirigiéndose los procesos de concientización a la población de adolescentes y adultos jóvenes para que hagan frente a las demandas sociales y las pautas culturales que se van formando.

## Bibliografía

Alonso-Sainz, T. (2021). Educación para el desarrollo sostenible: una visión crítica desde la Pedagogía. *Revista complutense de educación*, 32(2), 249-259.

Basto-Torrado, S.P. (2011). La comunicación y la naturaleza en las teorías pedagógicas de Comenio, Rousseau, Pestalozzi, Buber y Freinet hacia la fundamentación de una educomunicación ambiental. *Espiral, Revista de Docencia e Investigación*, 1(1):29-44

Batllori, A. (2001). Los problemas ambientales del estado de Morelos: la educación como parte de la solución. *Gaceta Ecológica*, (61), 47-60.

Bravo, L., & Fragkou, M. C. (2019). Escasez hídrica, género, y cultura mapuche. Un análisis desde la ecología política feminista. *Polis. Revista Latinoamericana*, 54, 1-20.

Burgos-Solorio, A. & Tello-Salgado, I. (Eds). (2021). *Diversidad biológica e importancia cultural del estado de Morelos. Tomo I*. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Comisión Nacional del Agua (09 de octubre de 2019). Usos del Agua. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/usos-del-agua>

Comisión Nacional del Agua (2016). Atlas del Agua en México 2016. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Danert, K., & Healy, A. (2021). Monitoring groundwater use as a domestic water source by urban households: Analysis of data from Lagos State, Nigeria and Sub-Saharan Africa with implications for policy and practice. *Water*, 13(4), 568.

García, L. (2018, 31 de agosto). Desigualdad, fugas, costos y concesiones han puesto en jaque el acceso a este vital líquido. *Ciencia UNAM, DGDC*.

<https://ciencia.unam.mx/leer/775/problematicas-economicas-del-agua-en-mexico>

González-Gaudiano, E.J. (1994). Elementos estratégicos para el desarrollo de la Educación Ambiental en México. 1ra. Reimp. México: SEDESOL/INE, Pág. 42.

González-Ibarra, J.D., & Orihuela-Rosas, B.E. (Coords). (2021). *El estado de Morelos. Desde la complejidad de las ciencias sociales y las humanidades*. El Colegio de Morelos.

Hung, R. (2021). *Ecopedagogy and education*. Oxford Research Encyclopedia of Education.

Luna-Villegas, Á.M., Yate-Segura, A.V., & Fúquene-Yate, D.M. (2017). Huella hídrica: una reflexión para la adopción de prácticas corporativas sustentables. *Documentos De Trabajo ECAPMA*, (1), 1-4. <https://doi.org/10.22490/ECAPMA.1775>

Mindek, D., & Moreno, J.M. (2018). Uso doméstico del agua en Tetela del Volcán, Morelos. En: Vargas, S., & Bastian, A. I. (Coords). *Agua y cultura en Morelos: prácticas sociales de hombres y mujeres* (pp- 81-98). Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Misiaszek, G. W., & Torres, C. A. (2019). Ecopedagogy: The missing chapter of Pedagogy of the Oppressed. *The Wiley handbook of Paulo Freire*, 463-488.

Morote-Seguido, Á. F. (2016). El uso del agua en los jardines de las urbanizaciones del litoral de Alicante. Prácticas de ahorro y sus causas. *Investigaciones Geográficas*, 65, 135 - 152.

<http://dx.doi.org/10.14198/INGEO2016.65.08>

Naciones Unidas (2014). Eficiencia en el uso del agua y la energía. Recuperado de:

[http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/01\\_2014\\_water\\_energy\\_efficiency\\_spa.pdf](http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/01_2014_water_energy_efficiency_spa.pdf)

Nay-Valero, M., & Cordero-Briceño, M. E. F. (2019). Educación Ambiental y Educación para la Sostenibilidad: historia, fundamentos y tendencias. *Encuentros*, 17(02), 187-201.

Nyong, A. O., & Kanaroglou, P. S. (2001). A survey of household domestic water-use patterns in rural semi-arid Nigeria. *Journal of Arid Environments*, 49(2), 387-400.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (2021). Abordar la escasez y la calidad del agua. <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministro-agua/hidrologia/escasez-calidad>

Ouda, O. K., Shawesh, A., Al-Olabi, T., Younes, F., & Al-Waked, R. (2013). Review of domestic water conservation practices in Saudi Arabia. *Applied Water Science*, 3, 689-699.

Saavedra, D. (28 de noviembre de 2019). El buen manejo del agua exige control y adaptación. *Gaceta UNAM*, 5(101), 12. <https://www.gaceta.unam.mx/el-buen-manejo-del-agua-exige-control-y-adaptacion/>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT] (2019). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, edición 2018*. SEMARNAT.

## SEMBLANZA CURRICULAR

### COORDINADORES

**Dr. José Luis Miranda Jiménez** (pepimiranda.jlmj@gmail.com)

Profesor-Investigador Invitado, Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ.

Líneas de investigación: Educación del agua, Agua y desarrollo social, Hidrología y riesgos de inundación, y Manejo y gestión de cuencas hidrográficas

#### **Grados académicos:**

Licenciatura en Geografía (Geografía económica: minería). Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMex.

Maestría en Gestión Integrada de Cuencas (Hidrología y riesgos de inundación). Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, CONAHCYT.

Doctorado en Ingeniería en Ciencias del Agua (Educación del agua). Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, IITCA. Universidad Autónoma del Estado de México, UAEMex. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, CONAHCYT.

Posdoctorado (Educación del agua para universitarios). Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, CONAHCYT.

Posdoctorado (Educación del agua para profesores universitarios). Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, CONAHCYT.

Es egresado del curso de especialización en “Sistematización Hidráulico-Forestal”, en el Departamento de Ciencias Agro-Ambientales y Territoriales, de la Universidad de Estudios de Bari, Italia, donde también realizó estancia de investigación en “Hidrología y Riesgo de Inundación”. Realizó estancia de especialización en “Estudio Hidrológico sobre plataformas de Sistemas de Información Geográfica”, en SIIG Ingeniería y Consultoría. Y es egresado del Diplomado en “Administración y Política Pública”, en el Instituto de Capacitación y Desarrollo Político A. C. (ICADEP).

Ha impartido clases, y participado en proyectos de investigación, conferencias, seminarios, cursos de capacitación y talleres para la Licenciatura en Geografía Ambiental, en la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas y del Doctorado en Recursos Bióticos, de la Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ, también para el sector gobierno y consultoría especializada. Es ponente, asistente, instructor y organizador de diversos congresos, cursos, seminarios de investigación, diplomados, foros y talleres nacionales e internacionales. Ha participado como compilador institucional de productos académicos y ha publicado artículos de investigación, capítulos de libro y productos de divulgación, en temas de educación del agua, agua y desarrollo social, hidrología y riesgos de inundación, y manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

**Dr. Raúl Francisco Pineda López** (rufuspinedal@gmail.com)

Profesor-Investigador Jubilado, Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ.

Líneas de investigación: Parasitología de animales acuáticos, Conservación de ambientes acuáticos, Manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

**Grados académicos:**

Licenciatura en Biología (Biología acuática). Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Maestría en Ciencias Biológicas (Biología general). Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Doctorado en Ciencias Biológicas (Ecología de parásitos). Universidad de Exeter, Inglaterra.

Su experiencia docente inició en 1977 y aún continúa a nivel de educación superior, maestría y doctorado. Tiene más de 87 publicaciones científicas, 5 libros y 34 informes de proyectos de investigación e incidencia. Actualmente es miembro fundador del Centro Transdisciplinario de Incidencia Socioambiental de la UAQ.

**Dr. Juan Alfredo Hernández Guerrero** (jadeicida@hotmail.com)

Profesor-Investigador, Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ.

Líneas de investigación: Análisis de riesgos hidrometeorológicos, Gestión integrada de cuencas, Análisis urbano-regional.

**Grados académicos:**

Licenciatura en Geografía y Ordenación Ambiental (Geografía del riesgo). Universidad de Guadalajara, UDG.

Maestría en Ciencias en Hidrometeorología (Riesgo y desastre). Universidad de Guadalajara, UDG.

Doctorado en Geografía (Geografía ambiental). Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Director de Posgrado de la Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ. Participa en la Licenciatura en Geografía Ambiental y en la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas. En su trayectoria cuenta con proyectos de investigación, formación de recursos humanos, publicación de artículos científicos, libros y capítulos de libro, ha sido organizador y ponente en eventos nacionales e internacionales. Es miembro del SNI nivel I y miembro del PRODEP. Pertenece al cuerpo académico Territorio y Recursos Naturales.

**Dr. Gonzalo Hatch Kuri** (respaldoghk@gmail.com)

Profesor Asociado. Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Profesor-Investigador Invitado, Maestría en Gestión Integrada de Cuencas, Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ.

Líneas de investigación: Gobernanza del agua, Conflictos por las aguas transfronterizas, Gestión del agua subterránea.

**Grados académicos:**

Licenciatura en Geografía (Geografía política). Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Maestría en Geografía (Sociedad y territorio). Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Doctorado en Geografía (Geografía política del agua). Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Posdoctorado (Gobernanza de las aguas transfronterizas en América del Norte). CISAN, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

Posdoctorado (Aguas subterráneas). Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías, CONAHCYT.

Profesor en la Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, ENCiT, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Académico de la UNAM desde 2010, ha sido profesor en la Licenciatura en Geografía (FFyL); en Relaciones Internacionales (FCPyS) y en Arquitectura del Paisaje (FA). En la UAQ como profesor de la Licenciatura en Geografía Ambiental, así como en universidades privadas. Tutor en el Posgrado en Geografía, UNAM y Posgrado del IMTA. Fue premiado por su tesis de Maestría con la Medalla “Alfonso Caso” UNAM en 2011. Especialista en el análisis de los conflictos por el agua y de la política pública y la gobernanza del agua en América del Norte. Autor de más de 60 trabajos de investigación y de divulgación, miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

Es integrante de la Red del Agua de la UNAM, donde coordina el Grupo de Análisis de Aguas Transfronterizas, miembro de la Red de Investigación y Docencia Waterlat-Gobacit, así como del Capítulo Mexicano de la AIH. En el campo profesional se desempeñó como Tecnólogo del Agua Titular en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), también como consultor y asesor científico de concesionarios y diferentes usuarios de agua en México, movimientos sociales y tomadores de decisión en el Poder Legislativo Federal y Gobiernos municipales.

## **AUTORES (AS)**

### **Dra. Helena Cotler Avalos**

**([hcotler@centrogeo.edu.mx](mailto:hcotler@centrogeo.edu.mx))**

Doctora en Ciencias Agronómicas por la Universidad de Liège-Gembloux (Bélgica) con Maestría en Geomorfología. Es Investigadora Titular en el Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial (CentroGeo), en Ciudad de México. Sus líneas de investigación son aspectos socioambientales de la erosión de suelos, factores que promueven la adopción de prácticas agropecuarias sostenibles, calidad de suelos en agroecosistemas, análisis de la política de conservación de suelos y gobernanza ambiental en cuencas hidrográficas, de los cuales ha publicado numerosos artículos científicos, capítulos de libro y artículos de divulgación. Es profesora en la Escuela Nacional de Ciencias de la de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y conferencista en diversas Universidades del país. Miembro del Seminario Universitario Sociedad Medio Ambiente e Instituciones (SUSMAI), de la UNAM, Co-fundadora de la Red Mexicana de Cuencas Hidrográficas y participó en la Iniciativa Ciudadana de Ley General de Agua.

### **M. en C. María Luisa Cuevas Fernández**

**([marilucuevas@gmail.com](mailto:marilucuevas@gmail.com))**

Licenciada en Geografía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Maestra en Ciencias Ambientales por la University of East Anglia (UK), cuenta con un Diploma en Administración Integral de Proyectos por la Universidad Panamericana y pertenece a la Cohorte 26 del Programa de Estudios Avanzados en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente LEAD-México de El Colegio de México (COLMEX). Desde hace 12 años es consultora independiente, sus temas de interés son el manejo integral de cuencas hidrográficas y la adaptación al cambio climático y el desarrollo de instrumentos para la planeación territorial. Bajo estas temáticas ha desarrollado proyectos para organismos multilaterales (como El Banco Mundial, El Banco Interamericano de Desarrollo, el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo o la Agencia de Cooperación Alemana), dependencias gubernamentales (Instituto Nacional de Ecología y



Cambio Climático y Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano) y diversas organizaciones de la sociedad civil. Ha publicado sobre el estado ambiental de las cuencas de México, el rol de las organizaciones de la sociedad civil en el manejo integral de cuencas y estrategias de conservación de suelos en agroecosistemas de México. Como cargo honorario es parte del Consejo Directivo del Fondo de Conservación del Eje Neovolcánico.

**Dra. Iris Neri Flores** (iris.neri@enesmerida.unam.mx)

Estudió Ingeniería Geofísica en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, maestría y doctorado en Ciencias de la Tierra por la misma Universidad con orientación en aguas subterráneas. Trabajó en la industria privada en exploración sísmica terrestre y marina, en la gubernamental en planeación hidráulica y en proyectos de consultoría especializada con el INECOL, ECOSUR, WWF, ONU, relacionados con modelación hidrológica-hidráulica-hidrogeológica e interacciones ecológicas. Fue profesora en la Universidad Veracruzana, UV y en la Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ. En 2021 se integró a la ENES Mérida UNAM como profesora asociada en la licenciatura de Ciencias de la Tierra, es miembro del SNII Nivel 1.

**Dr. Everardo Barba Macías** (ebarba@ecosur.mx)

Biólogo y Maestro en Ciencias en Biología y Manejo de Recursos Acuáticos y Doctorado en Ciencias (Biología) por la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Estudio la ecología y el manejo de humedales, desde enfoques de delineación y delimitación, inventarios florísticos y faunísticos, descripción de la estructura y el funcionamiento de sus comunidades, modelos ecotróficos de los diferentes humedales y la valoración integral de especies invasoras. Docente del posgrado ECOSUR, impartiendo el seminario de doctorado sobre dinámica trófica en sistemas acuáticos, ecología de humedales costeros tropicales y cursos de maestría sobre humedales. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (CONAHICYT) nivel 1, y Miembro del Sistema Estatal de Investigadores de Tabasco. Con 180 publicaciones arbitradas, 30 capítulos de libro, 25 tesis dirigidas, 30 tesis asesoradas y 34 proyectos de investigación.

**Dra. Patricia Moreno Casasola** (patriciamorenoc@gmail.com)

Bióloga y Maestra en Ciencias en Biología por la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM. Doctorado de la Universidad de Uppsala, Suecia (1985) y especialidad en Desarrollo Sustentable. Universidad Lanus, Argentina. Ha sido profesora titular en la Facultad de Ciencias UNAM y actualmente es investigadora Titular D en el Instituto de Ecología A.C. Ha recibido reconocimientos al Mérito Ecológico y en 2022 recibió el premio de Ciencia y Tecnología en el área de Biología y Química por COVEICYDET. Su producción científica es de 135 artículos arbitrados, 134 capítulos de libros, 43 como autora y/o editora, 58 tesis dirigidas, 42 artículos de investigación, 32 materiales de divulgación y 43 videos de educación ambiental. Sus líneas principales líneas de investigación son: ecología de humedales de agua dulce y dunas costeras y ha trabajado en restauración de humedales de agua dulce con los pobladores locales que procuran un manejo sustentable de su entorno. Pertenece al SNII Nivel Emérito.

**Dr. Raúl Francisco Pineda López** (rufuspinedal@gmail.com)

Biólogo egresado de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM con estudios de Doctorado en la Universidad de Exeter en Reino Unido. Sus líneas de investigación e incidencia incluyen la parasitología de animales silvestres, la ecología y conservación de ambientes acuáticos, el manejo y la gestión integrada de

cuencas. Su experiencia docente inició en 1977 y aún continúa a nivel de educación superior, maestría y doctorado. Tiene más de 87 publicaciones científicas, 5 libros y 34 informes de proyectos de investigación e incidencia. Actualmente es miembro fundador del Centro Transdisciplinario de Incidencia Socioambiental de la UAQ.

**Dra. Dulce María Infante Mata** (dinfante@ecosur.mx)

Bióloga egresada de la Escuela de Biología de la BUAP, obtuvo el grado de Maestro en Ciencias y de Doctor en Ciencias en Ecología y Manejo de Recursos Naturales por el Instituto de Ecología, A.C. Ha participado en proyectos de investigación financiados por CONAGUA, CONACYT, CONAFOR e ITTO. Ha impartido clases a nivel posgrado, además de participar en cursos de capacitación y talleres con las temáticas del manejo de zona costera, humedales y dunas. Ha participado en los proyectos de “Diagnóstico Nacional de Dunas Costeras”, proyecto “Determinación de Caudal Ecológico de la Cuenca del Papaloapan y del Usumacinta” en colaboración con INECOL, UABC y UNAM. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores (Nivel I). La investigación que desarrolla es en ecología vegetal de humedales y dunas costeras. Actualmente es Investigadora Titular “B” en el grupo Manejo Sustentable de Cuencas y Zonas Costeras.

**Dr. Sergio Salinas Rodríguez** (ssalinas@ecosur.mx)

Biólogo egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León (México), con Maestría en Restauración de Ecosistemas por la Universidad de Alcalá de Henares (España) y Doctorado en Recursos Hídricos por Delft University of Technology (Países Bajos). Fue Coordinador y Líder Temático de Agua y Ecosistemas Acuáticos de WWF México y miembro del Equipo de Seguridad Hídrica coordinado por el Programa Global de Agua Dulce de WWF Internacional. Es autor, co-autor y revisor de artículos científicos y del Sexto Reporte de Evaluación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Desde estas posiciones condujo, coordinó y asesoró proyectos de conservación y manejo de agua y ecosistemas acuáticos en México, Latinoamérica, África y Asia. Destaca su experiencia en el diseño, desarrollo y evaluación de desempeño de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 para determinar caudales ecológicos. Actualmente es Investigador Asociado y Coordinador del Grupo Académico Manejo Sustentable de Cuencas y Zonas Costeras del Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad en el Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa. Sus áreas de interés se enfocan en la ciencia y práctica ambiental del agua tanto a escala de sitio y paisaje como regional y nacional.

**Dra. Citlalli Aidee Becerril-Tinoco** (cbecerril@centrogeo.edu.mx)

Es Doctora en Estudios del Desarrollo y Maestra en Evaluación de Impacto Ambiental, Auditoría y Sistemas de Gestión (EIAAMS), ambos por la Universidad de East Anglia (UEA) del Reino Unido. Es Licenciada en Geografía y Ordenación del Territorio por la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMex). Actualmente es Investigadora por México adscrita al Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C. (CentroGeo) en la subsede Querétaro. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1. Entre sus líneas de investigación destacan: pluralismo legal; gestión del agua; manejo comunitario del agua; gobernanza; agua, ciudades y dinámicas en las zonas metropolitanas; acceso al agua potable; heterogeneidad y desigualdades en las ciudades; Sistemas Socioecológicos resiliencia; entre otros. Sus investigaciones se han enfocado en estudiar el servicio de agua potable en contextos mexicanos, apoyándose de marcos de referencia tales como la Ecología Política, el Pluralismo legal, así como de los Sistemas Socioecológicos. Forma parte de la Red “WaterLat-Gobacit” encaminada a estudiar, dialogar y

difundir sobre temas relacionados con el agua. Algunas de sus publicaciones: Gobernanza y pluralismo legal en la gestión agua potable: interacción de instituciones (2020). Crecimiento urbano y gestión del servicio de agua potable en la localidad de Copoya, de Tuxtla Gutiérrez, México (2024). Modelos en la gestión del agua: una mirada hacia las instituciones de la sociedad civil (2024).

**Dr. José Luis Miranda Jiménez**

**(pepimiranda.jlmj@gmail.com)**

Geógrafo por la Facultad de Geografía de la UAEMex, Maestro en GIC (mención honorífica) por la UAQ y Doctor en Ingeniería en Ciencias del Agua, en el Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua, IITCA-UAEMex. Cuenta con un Posdoctorado en Agua y Educación para universitarios y otro Posdoctorado en Agua y Educación para profesores universitarios, ambos por la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ-CONAHCYT). Es egresado del curso de especialización en “Sistematización Hidráulico-Forestal”, en el Departamento de Ciencias Agro-Ambientales y Territoriales, de la Universidad de Estudios de Bari, Italia, donde también realizó estancia de investigación en “Hidrología y Riesgo de Inundación”. Realizó estancia de especialización en “Estudio Hidrológico sobre plataformas de Sistemas de Información Geográfica”, en SIIG Ingeniería y Consultoría. Y es egresado del Diplomado en “Administración y Política Pública”, en el Instituto de Capacitación y Desarrollo Político A. C. (ICADEP).

Ha impartido clases, y participado en proyectos de investigación, conferencias, seminarios, cursos de capacitación y talleres para la Licenciatura en Geografía Ambiental, en la Maestría en Gestión Integrada de Cuencas y del Doctorado en Recursos Bióticos, de la Universidad Autónoma de Querétaro, UAQ, también para el sector gobierno y consultoría especializada. Es ponente, asistente, instructor y organizador de diversos congresos, cursos, seminarios de investigación, diplomados, foros y talleres nacionales e internacionales. Ha participado como compilador institucional de productos académicos y ha publicado artículos de investigación, capítulos de libro y productos de divulgación, en temas de educación del agua, agua y desarrollo social, hidrología y riesgos de inundación, y manejo y gestión de cuencas hidrográficas.

**M. en C. Carmela Xochitla Castrejón**

**(cxochitlcastrejon@gmail.com)**

Bióloga por la Universidad Autónoma de Guerrero y Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural por el Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR). Actualmente cursa el doctorado en Recursos Naturales y Ecología en la Facultad de Ecología Marina de la UAGro. Las líneas de investigación que ha desarrollado son: riesgos siconaturales principalmente geomorfológicos e hidrometeorológicos desde la gestión local del riesgo y la hidrogeomorfología aplicada en la distribución de especies de peces dulceacuícolas.

**M. en C. Rafael Germán Urbán Lamadrid**

**(sigro2020@gmail.com)**

Ingeniero Geólogo del Instituto Politécnico Nacional 1974. Master of Sciences 2002: Earth resources and environmental Geosciences, specialization natural hazard studies. - ITC. international institute for geo-information science and earth observation. Enschede, The Netherlands. Experiencia en geomorfología aplicada, análisis y manejo de cuencas, ordenamiento ecológico territorial, atlas de riesgos en diversos estados y municipios; manejo de sistemas de información geográfica, exploración geológica-minera, metalogénesis. Docente Investigador desde 1988 en diversas facultades: Ciencias Químico-Biológicas, UAGro, Facultad de Ciencias de la Tierra, UAGro. Profesor Invitado en Facultad de Ciencias Naturales UAQro. Facultad de Agrobiología en UATx. Coodirector en tesis de posgrado en ECOSUR. Campos de Especialización y Proyectos de Investigación: cartografía geológica, geomorfología de ríos, geomorfología

kárstica, modelado de inundaciones, deslizamientos, sismicidad, modelado de erosión de suelos, ordenamiento ecológico territorial.

**Dr. Alfredo Méndez Bahena** (amendezbahena@gmail.com)

Biólogo por la Universidad Autónoma de Guerrero y Doctor en Desarrollo Rural por la Universidad Autónoma Metropolitana- Xochimilco. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 2. Profesor investigador de la Universidad Autónoma de Guerrero y de la Universidad Pedagógica Nacional Unidad 12A. Se interesa en el manejo y conservación de los ecosistemas y los recursos naturales desde la perspectiva de los bienes comunes, es decir desde y para las comunidades indígenas y campesinas, para lo cual desde hace 25 años acompaña procesos comunitarios, participando en equipos interdisciplinarios y comúnmente desde proyectos de investigación acción. Desarrolla líneas de investigación enmarcadas en la planeación comunitaria del territorio, ecología de comunidades y poblaciones silvestres, educación ambiental e intercultural, conocimiento tradicional y mecanismos comunitarios para el manejo de bienes comunes, así como defensa del territorio frente a megaproyectos extractivos.

**M. en C. Vicente Alfredo Sereno Chávez+**

Ingeniero Geofísico por el Instituto Politécnico Nacional, con Maestría en Geociencias por la Universidad Nacional Autónoma de México. Se especializó en estudios sobre riesgos socioambientales en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Fue profesor investigador de la escuela de Ciencias de la Tierra y en la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero. Coautor del primer Atlas de Riesgos de la ciudad de Acapulco de Juárez. Desarrollo líneas de investigación enfocada en análisis de riesgos y sismología.

**M. en C. Alma Gladis Rendón Sandoval** (biol.gladis@gmail.com)

Bióloga egresada de la Facultad de Ciencias Químico-Biológicas de la Universidad Autónoma de Guerrero. Maestra en Ciencias de Recursos Naturales y Ecología egresada de Facultad de Ecología Marina de la UAGRO. Actualmente desempeñando actividades en empresa de consultoría ambiental, realizando asesoría y gestión ambiental, así como la elaboración de estudios de Impacto Ambiental a nivel federal y estatal.

**Dr. Alfredo Amador García** (amador.umich@gmail.com)

Biólogo egresado de la ENCB del Instituto Politécnico Nacional, IPN, Maestro en Ciencias por la UMSNH y Doctor en Ciencias por la Autónoma de Querétaro, UAQ. Colaborador para CFE y la SEMARNAT en temas ambientales, puestos desempeñados como docente en la Universidad de Chapingo Nicolaíta y la Universidad Autónoma de Guerrero. Retirado del medio académico desde 2019, en el tiempo libre brinda asesoría para consultorías ambientales. El puesto más reciente es de "Remote Sensing and Spatial Data Analyst" para una corporación internacional con sede en Monterrey.

**M. en C. Zitlali Solano Díaz** (z.sd991@gmail.com)

Bióloga por la Universidad Autónoma de Guerrero, Maestra en Ciencias de Recursos Naturales y Ecología por la Universidad Autónoma de Guerrero. Impartió cursos de manejo básico y avanzado de Qgis a estudiantes de Licenciatura. Realizó un estudio de manejo integral del recurso hídrico en la microcuenca del río Huacapa, en Chilpancingo de los Bravo. Ha participado en estudios de ordenamiento ecológico territorial

dentro del estado de Guerrero. Actualmente se desempeña en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Estado de Guerrero. Su trayectoria se ha centrado en el análisis espacial de los recursos naturales bajo un enfoque de manejo integral de cuencas haciendo uso de los sistemas de información geográfica como una herramienta básica.

**Dr. Juan Suárez Sánchez** (jsuarezs71@hotmail.com)

Académico Titular de Tiempo completo nivel “A” en la Facultad de Agrobiología de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (1990-2024). Biólogo Agropecuario por la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Maestro en Ciencias en Biología de Sistemas y Recursos Acuáticos por la Universidad Nacional Autónoma de México. Doctor en Ciencias Ambientales por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Perfil PRODEP (Julio 2005-Julio 2025). Especialidades en educación superior y elaboración de modelos de simulación. 34 años de experiencia como docente-investigador en el área de Gestión de los Recursos Naturales en la Facultad de Agrobiología de la UATx. Durante este periodo ha participado en más de 50 cursos de especialización, impartido más de 125 cursos y dirigido 35 tesis, en licenciatura, maestría y doctorado; ha generado 53 productos académicos (artículos científicos, capítulos de libro, libros, entre otros) y participado en 16 proyectos de investigación. Es responsable del Laboratorio de Recursos Naturales, coordinador de la Maestría en Ciencias en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas y líder del Cuerpo Académico Estudio de Sistemas Naturales y Artificiales en la UATx (Consolidado). Participa activamente en la Red Internacional de Colaboración Académica en Sistemas Agroforestales y Cuencas Hidrográficas.

**Dr. Emmanuel Poblete Trujillo** (emmanuel.poblete@uaem.mx)

Profesor Investigador de Tiempo Completo adscrito al Centro de Investigación Transdisciplinar en Psicología de la UAEM. Estudios de Licenciatura y de posgrado en psicología y gerontología. Colaborador en equipos de investigación en diferentes centros de investigación en México, España y Argentina. Socio afiliado a gremios profesionales nacionales e internacionales. Autor y coautor, en publicaciones científicas en temas como: educación ambiental, psicología ambiental comunitaria, envejecimiento, migración y medicina familiar. También, ha presentado trabajos académicos en eventos científicos nacionales e internacionales. Miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores y del Sistema Estatal de Investigadores.