



# *Impluvium*

Publicación digital de la Red del Agua UNAM  
Edición Especial, Diciembre 2021

**SEGUNDA**  
**Diáspora Hídrica**  
**Jóvenes Mexicanos Explorando**  
**las Fronteras del Conocimiento del Agua**

## PRESENTACIÓN



México y el mundo experimentan retos complejos y de diversa índole para alcanzar la seguridad hídrica. A pesar de los importantes avances alcanzados por gobiernos, instituciones internacionales, empresas y organizaciones sociales, millones de personas continúan sin acceso a servicios básicos de agua potable y saneamiento o se encuentran en condiciones de riesgo provocado por la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos extremos. Además, los ecosistemas asociados al agua se degradan a escalas que ponen en peligro la sustentabilidad del planeta.

Para hacer frente a estos desafíos, se requiere del trabajo colaborativo entre todos los sectores y del

diálogo permanente entre las disciplinas del conocimiento bajo un espíritu de innovación. Desde su nacimiento en 2010, la Red del Agua UNAM se ha convertido en una plataforma para impulsar la docencia, la investigación y la difusión de la cultura sobre los recursos hídricos. Para alcanzar estos objetivos, hemos realizado alianzas estratégicas con los actores más relevantes a nivel nacional e internacional. Sin lugar a dudas, la colaboración con el Instituto de Ingeniería UNAM y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua nos ha permitido avanzar hacia un entorno con mayor seguridad hídrica.

Los logros alcanzados por la Red del Agua UNAM son producto de sus miembros, principalmente de los jóvenes, pues son ellos quienes impulsan con mayor fuerza las innovaciones científicas, tecnológicas y sociales en la materia. Los jóvenes están en contacto con el conocimiento de vanguardia, se atreven a desafiar sus límites y experimentan con la ciencia de frontera. Sin embargo, es necesario fomentar su crecimiento, no solo a través de capacitaciones, sino mediante el reconocimiento de su papel como agentes de cambio.

La segunda edición de la “Diáspora Hídrica: jóvenes mexicanos explorando las fronteras del conocimiento del agua” se inscribe entre los múltiples proyectos que ha creado la Red para apoyar el talento de los jóvenes mexicanos. Continuamos, junto con Fundación UNAM, el Premio a la mejor tesis en recursos hídricos a nivel licenciatura y posgrado; nos hemos propuesto como política incorporar a jóvenes como ponentes en nuestros eventos académicos; y hemos ofrecido un gran número de actividades académicas para su capacitación.

En los más de 15 números de nuestra publicación digital de divulgación científica Impluvium, hemos difundido ampliamente las investigaciones de los jóvenes, atendiendo en todo momento altos criterios de calidad. Por tanto, es con gran entusiasmo que decidimos dedicar nuevamente un número especial a los trabajos de los participantes de este segundo seminario virtual.

Estamos seguro que la información discutida por los jóvenes autores en los artículos contenidos en este número marcará la agenda de investigación hídrica en el mediano y largo plazos. 💧

DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL  
COORDINADOR TÉCNICO, RED DEL AGUA UNAM

M. EN C. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA  
COORDINADOR EJECUTIVO, RED DEL AGUA UNAM

## BIENVENIDA



Es posible afirmar que el mundo académico del 2050 será completamente diferente al de hoy; más aún, será virtualmente irreconocible respecto a aquel que existió hace treinta años. Las instituciones académicas requerirán la generación de una amplia base de capacidades y líderes altamente calificados que posean habilidades combinadas que resulten de un conocimiento científico multidisciplinario, con uso de la tecnología, la ingeniería y las matemáticas.

Dado que el agua es un elemento clave para el desarrollo social y económico de los países, esta evolución nos obliga a llevar a cabo una transformación en la manera en que enfrentamos y resolvemos los

problemas hídricos. Por otro lado, las nuevas generaciones de científicos e ingenieros constituyen el elemento central de la revolución que se observa en el conocimiento al incorporar tecnologías de la información que han modificado por completo la manera en la que vivimos. De esta manera, evolucionamos con el mundo, transformando nuestro quehacer hacia formas de pensamiento cada vez más interdisciplinarias.

Por esta razón, es necesario construir las vías que favorezcan la evolución de nuestros especialistas hacia un grupo aún más activo, moderno, abierto y vibrante. Necesitamos científicos e ingenieros dedi-

cados al agua que no solo desarrollen el mejor conocimiento disponible en el mundo, sino que tengan la capacidad para llevarlo de forma inmediata al corazón de las decisiones del gobierno para favorecer el desarrollo del país. Requerimos de un ecosistema de cooperación entre generaciones, campos de conocimiento e instituciones. Esto nos permitirá avanzar en la construcción de un México que favorezca el florecimiento del conocimiento y las ideas. Los jóvenes, el conocimiento y la innovación representan las rutas críticas para revivir el crecimiento sustentable de México y cerrar la brecha social y tecnológica.

Este fue el razonamiento que llevó a la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, a través del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), y de la mano del Instituto de Ingeniería y la Red del Agua UNAM, a realizar el 2<sup>do</sup> seminario virtual “Diáspora Hídrica: Jóvenes mexicanos explorando las fronteras del conocimiento del agua”. El evento, se celebró en un ambiente relajado y en acompañamiento de académicos de diversas instituciones nacionales dedicadas

al agua y nos dio la oportunidad de identificar las capacidades de la nueva generación de profesionistas que trabajan en la academia y la industria para dar solución a los problemas hídricos de nuestro tiempo. El objetivo fue generar un ecosistema de cooperación intergeneracional e interinstitucional.

Desde la perspectiva del IMTA, el futuro del agua en México, basado en los principios de la ética, la evidencia científica para sustentar la toma de decisiones y la transparencia en el manejo de la información hídrica, estará construido forzosamente sobre este diálogo intergeneracional. Las fortalezas de los académicos de mayor experiencia, en conjunto con jóvenes investigadores altamente calificados, harán de México un país vibrante para la generación de conocimiento de punta. Este evento nos permitió continuar esta tarea.

Las crisis económica y sanitaria globales que atravesamos el contexto de la pandemia de COVID-19, aunadas a las condiciones de cambio y competencia que se han puesto de manifiesto, demandan más que nunca de la investigación e innovación para mejorar las condiciones ambientales, econó-

micas, sociales y culturales del planeta. La escala y complejidad de los retos de este siglo requieren de un cambio de paradigma en la manera en la que promovemos el desarrollo y conducimos la economía, para enfocarlos hacia la búsqueda del bienestar con equidad y sustentabilidad.

Hoy más que nunca se requiere de la agilidad e ímpetu de las nuevas generaciones, y es tarea de todos conducir la transformación de México a través del uso sostenible del agua, con énfasis en el cierre de brechas de desigualdad, el desarrollo económico de todos y la conservación y recuperación del medio ambiente. 💧

DR. ADRIÁN PEDROZO ACUÑA

DIRECTOR GENERAL DEL INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

Todas las opiniones vertidas en los trabajos aquí publicados son de responsabilidad exclusiva de los autores y no necesariamente reflejan ni comprometen las opiniones del Comité Editorial de Impluvium o, por extensión, de las instituciones participantes en la edición de este número especial.

Se autoriza la reproducción total o parcial de los textos aquí publicados, siempre y cuando se cite la fuente completa y la dirección electrónica de la publicación.



# Impluvium

**Impluvium** es una publicación de la Red del Agua UNAM; puede ser reproducida con fines no lucrativos, siempre y cuando no se mutile, se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Los artículos compartidos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de la Red del Agua UNAM o de sus miembros.

.....

Comité editorial:

**Dr. Fernando J. González Villarreal**

Coordinador Técnico Red del Agua UNAM

**M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina**

Coordinador Ejecutivo de la Red del Agua UNAM

**Mtra. Malinali Domínguez Mares**

Coordinadora de Asesores de la  
Dirección General del IMTA

**Mtra. Ana Gabriela Piedra Miranda**

Responsable de comunicación organizacional del  
Centro Regional de Seguridad Hídrica  
bajo los auspicios de UNESCO

Editores invitados:

**Mtro. Marco Antonio Sánchez Izquierdo**

Encargado de la Coordinación de Comunicación,  
Participación e Información del IMTA

Diseño gráfico y formación:

**Lic. Joel Santamaría García**

**Lic. Marie Claire Mendoza Muciño**

Publicación digital de la Red del Agua UNAM.

Edición Especial, Segunda Diáspora Hídrica.  
Diciembre 2021.

[www.agua.unam.mx/impluvium.html](http://www.agua.unam.mx/impluvium.html)

.....

**Impluvium** es la publicación digital de divulgación de la Red del Agua UNAM, Año 7, Edición Especial, Diciembre 2021. Es una publicación trimestral editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, a través de la Red del Agua de la UNAM, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México, Tel. (55)56233600 ext.8745, <http://www.agua.unam.mx/impluvium.html>, [jarrriagam@iingen.unam.mx](mailto:jarrriagam@iingen.unam.mx). Editor responsable: M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina. Reserva de Derechos al uso Exclusivo: en trámite, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Red del Agua UNAM, M. en C. Jorge Alberto Arriaga Medina, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Instituto de Ingeniería, edificio 5, Col. Copilco, Del. Coyoacán, C.P. 04510, Ciudad de México fecha de la última modificación, diciembre 2021.

## CONTENIDO

### Presentación . . . . . 2

DR. FERNANDO J. GONZÁLEZ VILLARREAL

M. EN C. JORGE ALBERTO ARRIAGA MEDINA

### Bienvenida . . . . . 4

DR. ADRIÁN PEDROZO ACUÑA

## ARTÍCULOS

### Sistema Lagunar Huizache – Caimanero: Estudios para un Plan de Manejo Hidrogeomorfológico . . . . . 12

ROMÁN ALEJANDRO CANUL TURRIZA,

ROSELIA LORENA TURRIZA MENA.

### Papel de la interacción océano-roca en el interés astrobiológico de Encélado . . 19

GUILLERMO A. CHIN CANCHÉ,

ERIKA V. MÉNDEZ LÓPEZ.

### Peligro de inundación por incremento del nivel del mar en Ensenada, México . . . . 27

VIOLETA ZETZANGARI FERNÁNDEZ-DÍAZ.

### Construcción de escenarios viables para la gestión eficiente del agua potable en Tecámac, un municipio conurbado de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (2001-2022). . . . . 33

PAULINA GAMALLO CHAINE.



**La Evaluación Ambiental Estratégica de la Transición Energética como un instrumento para la protección del agua.. . . . . 43**

SANDRA PATRICIA GAMIÑO-GUTIÉRREZ, RODRIGO PATIÑO.

**Estudio de dos pretratamientos de lodo residual para su empleo como sustrato anódico en Celdas de Combustible Microbianas . . . . . 50**

LUCÍA GONZÁLEZ ESPINOZA,  
 PETIA MIJAYLOVA NACHEVA,  
 EDSON B. ESTRADA ARRIAGA,  
 JENNIFER A. BAÑUELOS DÍAZ.

**Los retos que enfrentan los organismos operadores de agua en Veracruz. . . . . 57**

MELISSA GÓMEZ DÍAZ.

**Propuesta de estrategias para el control de la erosión en la playa de Sabancuy, Campeche. . . . . 64**

ANGEL GABRIEL KUC CASTILLA.

**Aplicación de un biorreactor con membranas sumergidas (BRMS) en el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética . . . . . 71**

NÉSTOR DANIEL MACÍAS-ACOSTA,  
 PETIA MIJAYLOVA NACHEVA.

**Entre amnesia y miopia urbana: Generación de mosquitos vectores en el hedor de la eterna primavera . . . . . 79**

GIOVANNI MARLON MONTES MATA,  
 RAFAEL MONROY ORTIZ.

**Abasto de agua y cosecha de lluvia desde una perspectiva socio-técnica: el caso de la Ciudad de México . . . . . 87**

JORGE ADRIÁN ORTIZ MORENO.

**El agua y las relaciones intercomunitarias por la salud en la Microcuenca las Joyas en Ahuacotzingo Guerrero . . . . . 95**

QUEVEDO-CASTAÑÓN NATASHA MYLENA,

MATÍAS ARCOS MARÍA ELENA,

PARDO NÚÑEZ JOALINÉ.

**Disponibilidad de agua y saneamiento básico durante la pandemia de COVID-19 a partir de una evaluación Hidrosocial en México . . . . . 101**

FRANCISCO ANTONIO RAMÍREZ ROJAS,

MARÍA GUADALUPE RAMÍREZ ROJAS.

**Rediseño y Aplicación del Método Oficial para Determinar la Disponibilidad de Agua Superficial: Caso del Río Culiacán, México . . . . . 107**

SERGIO ARTURO RENTERÍA GUEVARA.

# SISTEMA LAGUNAR HUIZACHE – CAIMANERO: ESTUDIOS PARA UN PLAN DE MANEJO HIDROGEOMORFOLÓGICO

ROMÁN ALEJANDRO CANUL TURRIZA.  
CORNELL UNIVERSITY

ROSELIA LORENA TURRIZA MENA.  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE

## Resumen

El sistema lagunar Huizache – Caimanero es uno de los humedales más importantes a nivel nacional e internacional debido a su gran biodiversidad, actualmente presenta una gran degradación originado por el cambio de uso de suelo. Resolver la alta sedimentación que enfrenta el sistema requiere de una serie de estudios que permitan generar un plan de manejo Hidrogeomorfológico que favorezca la recuperación de la funcionalidad ecológica del sistema.

## Introducción

Los humedales son ecosistemas que han sido reconocidos como los ambientes más productivos al

brindar bienes y servicios de gran importancia para el ser humano (DUMAC, 2005). Estos sistemas son sensibles a las problemáticas ambientales, ya que juegan un papel indispensable en el ciclo de vida de muchas especies.

El sistema lagunar Huizache – Caimanero es uno de los humedales más importantes a nivel nacional e internacional al contar con una ubicación estratégica que sirve como hábitat para las aves migratorias del Corredor Migratorio del Pacífico.

Este sistema está considerado dentro de las áreas de importancia para la conservación de las aves al formar parte de los 27 humedales prioritarios para las aves playeras en México, albergando el 19% del



total de aves que invernan en la zona costera del Pacífico (Carrera y de la Fuente, 2003). Llegó a ser la laguna costera más productiva de camarón en el Pacífico Mexicano, llegando a pescar hasta 32 toneladas en un solo “tapo”.

El desarrollo de obras dentro del sistema desde la década de los 80's como: dragados, construcción de canales, ampliación de granjas acuícolas y alteraciones en el paisaje han generado cambios irreversibles. Por lo que, es necesario conocer las condiciones actuales del sistema a fin de contar con información básica y técnica que sirva para el desarrollo de estrategias y acciones de conservación.

### Área de estudio

El sistema lagunar Huizache – Caimanero se encuentra al sur de Sinaloa, México. Es el sitio RAMSAR No. 1689 y posee una superficie aproximada de 48,828.7 ha. Esta al noreste con el Río Presidio y al suroeste con el Río Baluarte (Véase Figura 1).

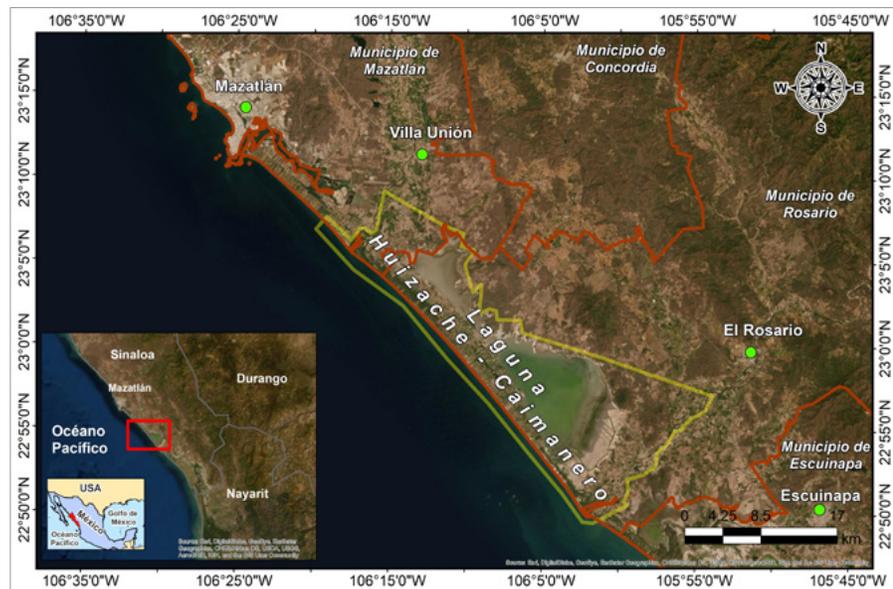
### Evolución de la pesca

El sistema lagunar Huizache- Caimanero, está considerado como uno de los ecosistemas más relevantes desde la vista del sector pesquero. En la década de los años 80's y anteriores, instituyó una de las zonas con mayor rendimiento por unidad de área en las pesquerías de camarón de aguas protegidas. En dicho sistema lagunar se han hecho muchos estudios ecológicos, esencialmente a finales de los años 70, los cuales fueron enfocados a la pesquería, biología y ecología del camarón debido a la gran importancia económica que este representa para dicho estado (Zetina Rejón, 1999).

Huizache-Caimanero es un área de gran importancia para el ciclo de vida del camarón (blanco y azul). Los juveniles ingresan a la laguna y después de una etapa de crecimiento se desplazan hacia el mar; este proceso es aprovechado por los pescadores para capturar la especie del camarón a través de tapos que funcionan como una trampa para que no salga el camarón (Zetina Rejón, 1999).

Su pesca es una actividad relevante para el sector económico de esta laguna, y para el mundo entero

Figura 1.



por lo que es necesario establecer nuevas estrategias económicas para revalorar y aprovechar de forma sustentable los bienes y servicios que ofrece este alimento (EDF, 2015).

## Análisis de imágenes satelitales

Para comprender los cambios espaciales que ha sufrido el sistema lagunar a lo largo del tiempo, se han realizado diversos análisis a partir imágenes satelitales Landsat obtenidas de la base de datos de la USGG, para el periodo 1990 – 2020. Entre los análisis realizados destacan el desplazamiento de la línea de costa; índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI, siglas en inglés) y el uso de suelo.

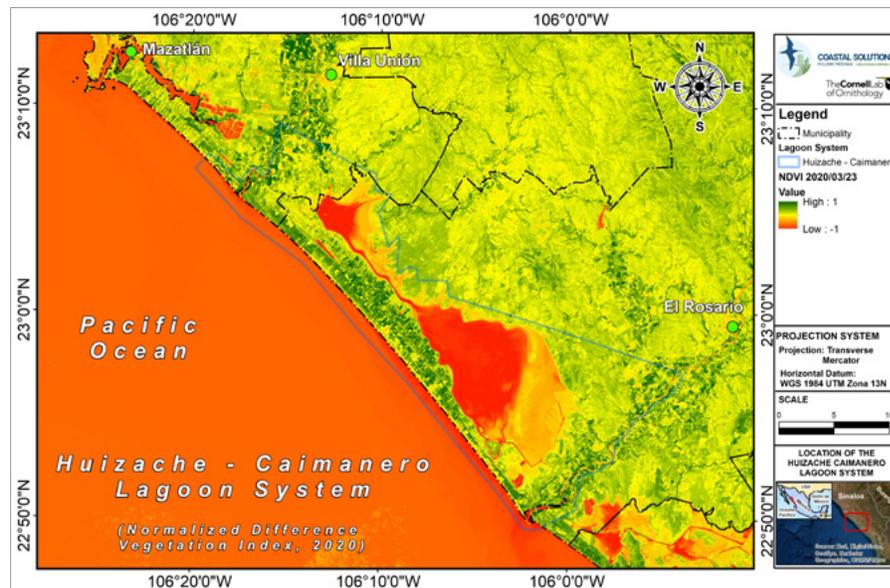
Para el desplazamiento de la línea de costa se digitalizó la línea de costa para cada imagen, posteriormente se construyó una geodatabase en un SIG; las tasas de erosión se calcularon utilizando el Digital Shoreline

Analysis System (DSAS) para transectos ubicados a cada 100 m entre cada uno. Se encontró que la zona sur es la que presenta los mayores retrocesos de la línea de costa con un valor de hasta -270 m.

Para el análisis del NDVI se empleó un SIG, con la finalidad de identificar el tipo de vegetación que se presenta en la zona, así como comparar los cambios que ha habido en el tiempo. Se encontró que la vegetación por agricultura y sucesión secundaria dominan en al menos el 70% del área circundante al sistema (Véase Figura 2).

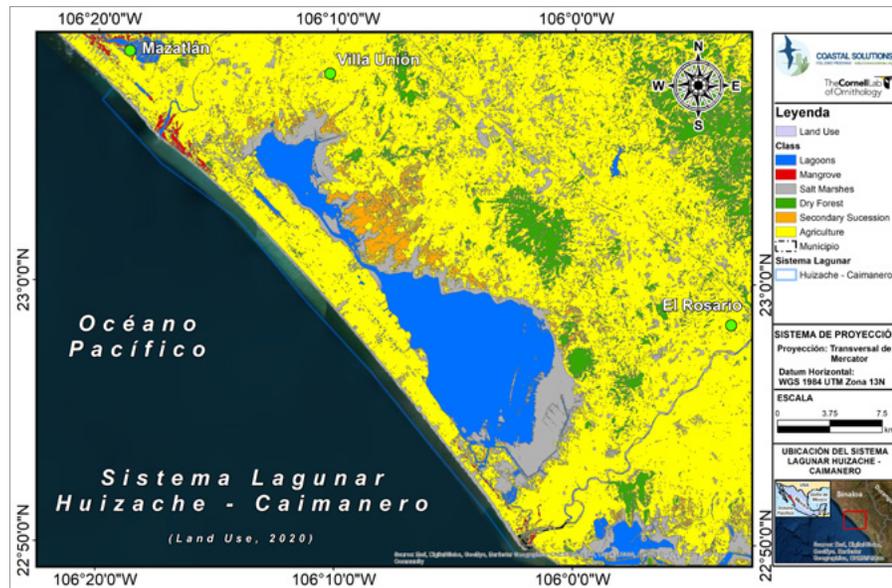
Finalmente, a través de un análisis de clasificación supervisada se agruparon los usos de suelo presenten en Huizache – Caimanero en 6 categorías:

Figura 2.



laguna, manglar, marisma, bosque, vegetación de sucesión secundaria y agricultura. Encontrando que la agricultura ha incrementado su zona de influencia mientras que el manglar casi ha desaparecido; por otro lado, el cuerpo lagunar ha perdido en los últimos 30 años aproximadamente el 10% de su superficie (Véase Figura 3).

Figura 3.



y Geografía (INEGI), de cartas batimétricas de la Secretaría de Marina (SEMAR), así como de mediciones realizadas en campo con equipo GPS. Los datos de entrada requeridos como condiciones de frontera para el módulo hidrodinámico son la descarga de ríos, oleaje, viento y mareas.

Se han identificado los niveles de elevación del agua entre 0.35 y 0.15 en la Boca el Ostial y de 0.35 a 0.60 en la Boca de Agua Brava durante la época de secas, con velocidades entre 0.32 y 0.55 m/s (Véase Figura 4).

### Evaluación de las condiciones hidrodinámicas

Para determinar las condiciones hidrodinámicas se empleó el software Mike21 FM, mediante un modelo topobatimétrico construido a partir de la información del Modelo Digital de Elevación de Alta Resolución (LiDAR) con resolución de 5 m del Instituto Nacional de Estadística

### Propuestas de acciones de intervención y restauración

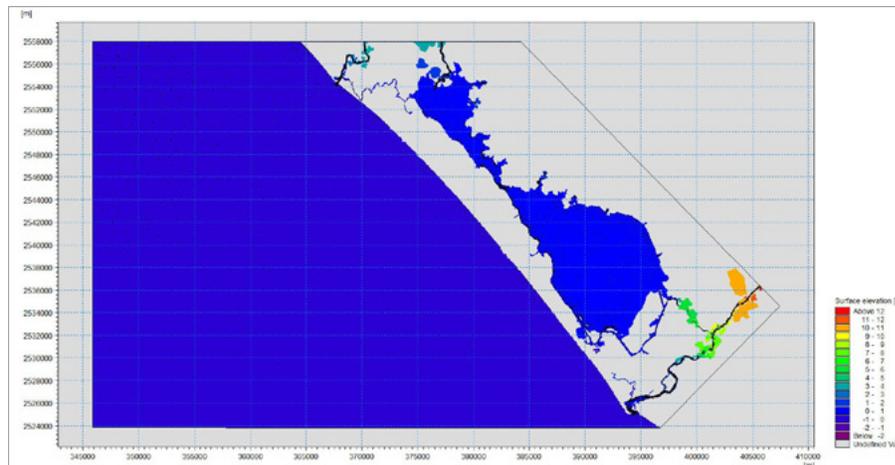
Con los resultados del modelo hidrodinámico y en combinación con los resultados obteni-

dos de las imágenes Landsat más un proceso de validación social se pueden generar propuestas de intervención y restauración; como pueden ser reforestación de zonas que funcionen como zonas de retención de sedimentos y/o buffer para la conservación; eliminación y retiro de estructuras; mejores prácticas pesqueras y concientización de la importancia del sistema lagunar.

### Conclusión

Huizache - Caimanero presenta un grave deterioro originado en gran medida por el cambio de uso de suelo, pasando de una zona natural a una zona de agricultura; trayendo consigo una sedimentación rápida del sistema; el resultado tangible es la pérdida gradual del cuerpo lagu-

Figura 4.



nar y la reducción drástica de la pesa en el sistema lagunar, de la cual dependen las familias ubicadas en el margen del sistema. Es por ello la urgencia de aplicar acciones de intervención y restauración apoyados de un proceso de validación social. 💧

## Bibliografía

Carrera y de la Fuente, . (2003) *Inventario y Clasificación de Humedales en México*. México: Ducks Unlimited de México A.C.

DUMAC (2005) *Estrategia Nacional para la Conservación de las Aves Playeras y sus Hábitats en México: Estudio de Caso – Sistema Lagunar Huizache – Caimanero, Sinaloa*.

EDF Environmental Defense Fund de México. (2015, Noviembre). *Pesca y Economía del Océano, Sustentabilidad y Rentabilidad a Nuestro Alcance*. Retrieved septiembre 06, 2021.

Zetina Rejón, M. J. (1999). *Influencia de la pesca de camarón en la estructura del ecosistema lagunar Huizache-Caimanero, Sinaloa México*. Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Departamento de Pesquerías y Biología Marina, La Paz, Baja California Sur. Retrieved septiembre 24, 2021, from <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/14844/1/zetinar1.pdf>

# PAPEL DE LA INTERACCIÓN OCÉANO-ROCA EN EL INTERÉS ASTROBIOLÓGICO DE ENCÉLADO

GUILLERMO A. CHIN CANCHÉ.  
INSTITUTO NACIONAL DE ASTROFÍSICA, ÓPTICA Y ELECTRÓNICA.

ERIKA V. MÉNDEZ LÓPEZ.  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CAMPECHE.

## Resumen

En 2005 la sonda CASSINI confirmó que Encelado es un satélite activo que esconde un océano global de agua salada líquida debajo de su corteza y que chorros de partículas heladas de ese océano, brotan continuamente al espacio. El análisis de las moléculas de estas erupciones llevó a diversos autores a proponer que Encelado pudiera tener entornos semejantes a las fuentes hidrotermales oceánicas de la Tierra primitiva, lo que ha generado la discusión sobre si dichas condiciones son suficientes para generar y sustentar la vida.

En este trabajo se presenta un panorama general sobre como la hidrogeoquímica de Encélado,

específicamente cómo la interacción océano-núcleo propicia la presencia de biomarcadores de interés astrobiológico. Así mismo se abunda sobre las diversas rutas bioquímicas que podrían estar presentes en esta “Luna” helada.

## Introducción:

Encélado es el sexto satélite más grande de Saturno con unos 500 km de diámetro. Está cubierto por una capa de hielo y posee una temperatura superficial aproximada de  $-198\text{ }^{\circ}\text{C}$  a mediodía (Verbiscer et al., 2007, p. 815). Durante un vuelo cercano en 2008, los instrumentos de CASSINI detectaron un



gran penacho de partículas helada que eran originados por múltiples plumas de gas, polvo y principalmente agua proveniente del océano interno. Estos instrumentos tomaron muestras directamente de la columna, detectaron una sorprendente mezcla de gases volátiles y encontraron una densidad de materiales orgánicos aproximadamente 20 veces superior a la esperada (Waite et al., 2009, p. 315).

Las sustancias encontradas en estas plumas heladas muestran reacciones hidrotermales entre el agua y roca que producen continuamente cantidades prodigiosas de  $H_2$ , como se observa en los sistemas submarinos hidrotermales en la Tierra, tales como Lost City (Proskurowski et al., 2006, p. 331). En Encelado, el  $H_2$  hidrotermal podría producirse por craqueo de  $NH_3$ , por pirólisis de materiales orgánicos de CHON acumulados o por oxidación acuosa de minerales reducidos.

### Importancia astrobiológica de los hidrotermales de Encélado

No hay evidencia geológica contundente sobre las características de la tierra primitiva, aunque gene-

ralmente se acepta que el  $O_2$  estaba ausente. Se requieren condiciones reductoras para la síntesis de aminoácidos, purinas, pirimidinas y azúcares (Stripling, & Miller, 1987, p. 261). La principal conclusión que se extrae de los estudios experimentales y teóricos es que es muy probable que la atmósfera no haya jugado un papel clave en la formación de compuestos orgánicos en la Tierra primitiva (Raulin, Coll, & Navarro-González, 2005, p. 449).

Un mecanismo alternativo para la producción de orgánicos en la Tierra primitiva proviene de respiraderos hidrotermales profundos. Estas fuentes hidrotermales han despertado interés en un proceso geoquímico conocido como serpentización. En estos, el agua de mar invade la corteza oceánica cálida ( $100^\circ C$ ) a caliente ( $400^\circ C$ ) a través de grietas y hendiduras donde tienen lugar las reacciones químicas. Los constituyentes relevantes del agua de mar para la reacción de serpentización son  $H_2O$  y  $CO_2$  (disueltos como  $HCO_3^-$ ).

Para describir un ecosistema subterráneo plausible que pueda existir en Encelado, se deben considerar los ecosistemas en la Tierra que son com-

pletamente independientes del O<sub>2</sub> o material orgánico que no sea fotosintético. En este caso, se han reportado organismos metanógenos que no requieren de la luz solar, organismos autótrofos que utilizan H<sub>2</sub> derivado de reacciones roca-agua (Stevens y McKinley, 1995, p. 450; Chapelle et al., 2002, p. 312) y bacterias reductoras de azufre que utilizan pares redox producidos en última instancia por desintegración radiactiva (Lin et al., 2006, p. 479).

### Química prebiótica en las interacciones océano-roca de Encélado

Se han establecido límites superiores a la densidad columnar de muchas especies requeridas, como CO, CO<sub>2</sub>, HCN, CH<sub>3</sub>OH y NH<sub>3</sub> (Tabla 1), lo que indica que se podrían formar aminoácidos en la interacción roca-líquido de Encelado, donde deberían existir formaciones de arcilla debido a la erosión de las rocas por el agua líquida. La energía no es un problema ya que la resonancia con Dione fuerza el calentamiento de las mareas y también hay un calentamiento radiogénico. Es posible que haya un calentamiento adicional debido a la diferencia-

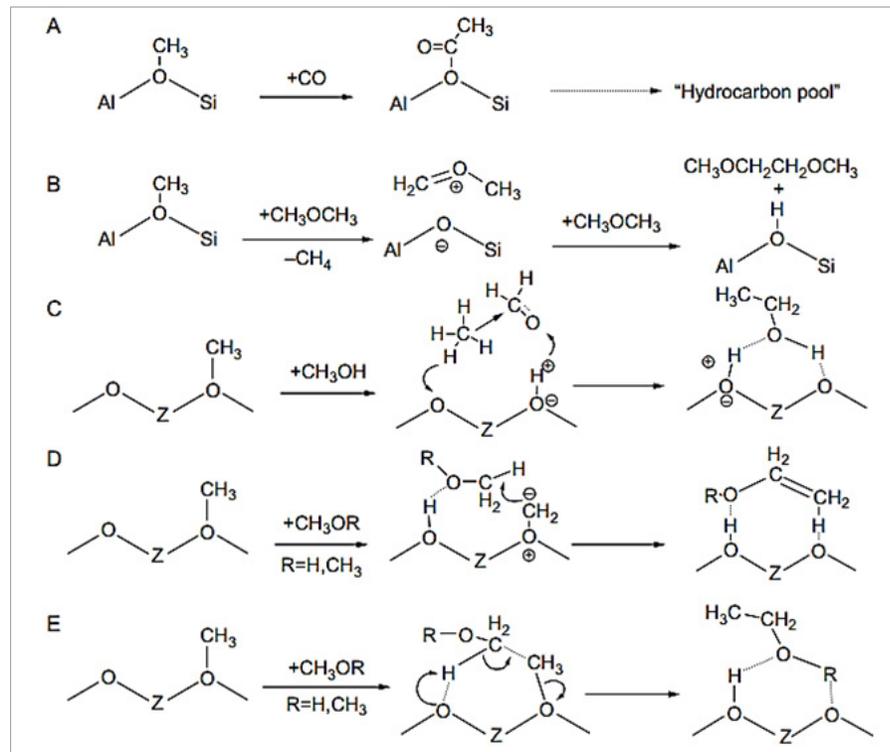
ción del cuerpo lunar con un núcleo fundido tal como se mencionó antes.

Tabla 2: Composición de las plumas en cm<sup>-2</sup> (modificado de Parkinson et al., 2007, p. 353)

Moléculas	Densidad de columna
N <sub>2</sub>	6.0 x 10 <sup>14</sup>
H <sub>2</sub> O	1.5 x 10 <sup>16</sup>
CO	<1.3 x 10 <sup>14</sup>
CO <sub>2</sub>	<1.8 x 10 <sup>17</sup>
O <sub>2</sub>	<2.5 x 10 <sup>18</sup>
CH <sub>4</sub>	<5.6 x 10 <sup>15</sup>
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	<1.6 x 10 <sup>15</sup>
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	<4.0 x 10 <sup>15</sup>
HCN	<2.7 x 10 <sup>15</sup>
NH <sub>3</sub>	<1.3 x 10 <sup>16</sup>
SO <sub>2</sub>	<2.2 x 10 <sup>15</sup>
CH <sub>3</sub> OH	<7 x 10 <sup>15</sup>
electrón	~100cm <sup>-3</sup>

En algunos trabajos se ha estudiado la reacción del radical catión metanol marcado  $\text{CD}_3\text{OH}^+$ , cuyos resultados muestran cómo estos procesos pueden considerarse vías adecuadas para la formación de especies fundamentales como  $\text{CH}_3\text{O}(\text{H})\text{H}^+$ ,  $\text{CH}_3\text{O}^\bullet$ ,  $^\bullet\text{CH}_2\text{OH}$ ,  $\text{CH}_2\text{O}$  que son precursores potenciales de moléculas prebióticas (Catone et al., 2021, p. 771), donde (A) son los mecanismos basado en carbonilación, (B) los mecanismo catiónico metoximetilo, (C) los mecanismo de metanoformaldehído, (D) los mecanismo de inserción de carbono y (E) los mecanismo de activación de dimethyl ether/metanol mediado por metoxi (Véase Figura 1).

Figura 1. Mecanismos directos para la conversión de metanol/dimetiléter en olefinas (Xu et al. 2017, p. 39)



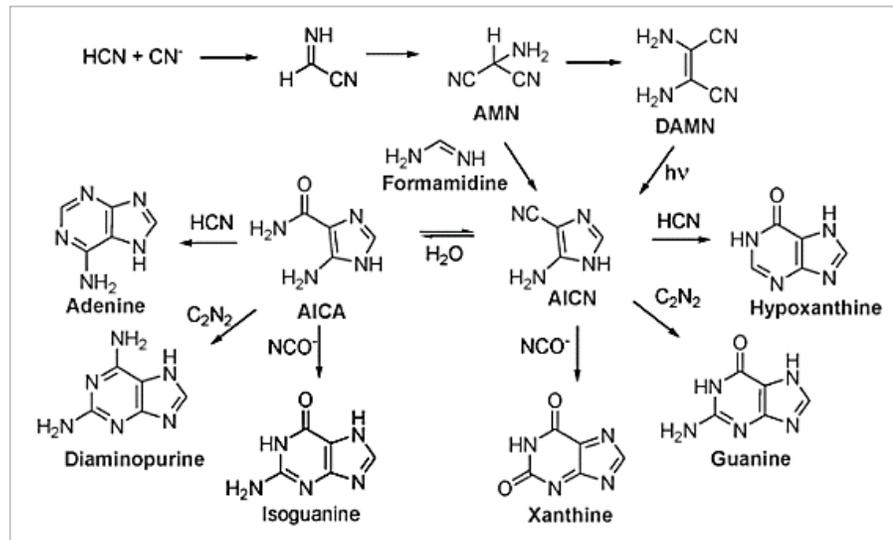
Si bien existen numerosas teorías sobre los orígenes de la vida, en el contexto específico de Encélado, el consenso general es que los enlaces de las redes de reacción química eventualmente llevaron a la síntesis de monómeros orgánicos que se sometieron a polimerización para producir macromoléculas que apoyaron el metabolismo biológico y herencia de sistemas, por lo que astrobiológicamente se implica que la detección de  $\text{CH}_3\text{OH}$  como geomarcador puede tener connotaciones de biomarcador debido a la presencia de  $\text{NH}_3$  y  $\text{CH}_4$ .

Esta transición de moléculas simples a compleja es una explicación basada en la teoría de la evolución química, de la cual los aminoácidos son uno de los constituyentes moleculares más abundantes (Burton et al., 2012, p. 16). Hasta la fecha, la síntesis abiótica de aminoácidos se ha presentado en sistemas hidrotermales naturales y diversos simulados con rendimientos y tipos de aminoácidos variables según el sustrato inicial, la temperatura, el pH y el catalizador metal/mineral (Aubrey, Cleaves, & Bada, 2009, p. 39).

En general, se cree que una de las principales características de la vida es la capacidad de transmitir información de una generación a la siguiente. Todos los organismos vivos modernos tienen un código genético que se utiliza para almacenar y transmitir información basada en sistemas químicos de ácidos nucleicos (Ruiz-Bermejo, Zorzano, & Osuna-Esteban, 2013).

En tierra, en ausencia de agua, puede ser el agente de condensación original de la química prebiótica, creando una estructura polimérica esencial (Matthews, & Minard, 2006). Las condiciones requeridas para la formación de AMN (aminomalonitrilo) resultarán en su rápida conversión al DAMN (diaminomalonitrilo) por reacción con cianuro (*Véase Figura 2*). Por tanto, DAMN o los compuestos derivados de él deben ser precursores de la adenina. Lo más importante es sintetizar péptidos y polinucleótidos en paralelo, lo cual es provocado por la acción de deshidratación de las poliamidinas en los nucleótidos: Poliamidinas + nucleótidos  $\rightarrow$  polipéptidos + polinucleótidos

Figura 2. Vías y estructuras propuestas para la polimerización de HCN. (Ruiz-Bermejo, Zorzano, & Osuna-Esteban, 2013, p. 241).



lite y la forma en la que podría generar y sustentar la vida, cada vez existe más evidencia sobre la posibilidad de utilizar a Encélado como nuestro mejor “laboratorio” de química prebiótica.

Es por lo anterior que estudiar, comprender y sobre todo difundir los avances científicos que se tiene con respecto a la astrobiología de este satélite se vuelve una tarea importante, de forma que más personas miren a esta “Luna” como una posible segunda fuente de vida microscópica. 💧

## Conclusiones

Comprender los procesos hidrogeoquímicos del mar congelado de Encélado nos podría ayudar a responder una de las mayores interrogantes de nuestro siglo, el origen de la vida. Si bien, aun existe cierto debate sobre la habitabilidad en las ventilas hidrotermales de este saté-

## Bibliografía

- Aubrey, A. D., Cleaves, H. J., & Bada, J. L. (2009). The role of submarine hydrothermal systems in the synthesis of amino acids. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 39(2).
- Burton, A. S., Stern, J. C., Elsila, J. E., Glavin, D. P., & Dworkin, J. P. (2012). Understanding prebiotic chemistry through the analysis of extraterrestrial amino acids and nucleobases in meteorites. *Chemical Society Reviews*, 41(16).
- Catone, D., Satta, M., Castrovilli, M. C., Bolognesi, P., Avaldi, L., & Cartoni, A. (2021). Photoionization of methanol: a molecular source for the prebiotic chemistry. *Chemical Physics Letters*, 771.
- Chapelle, F.H., O'Neill, K., Bradley, P.M., Methe, B.A., Ciufo, S.A., Knobel, L.L., and Lovley, D.R. (2002) A hydrogen-based subsurface microbial community dominated by methanogens. *Nature* 415:312–315.
- Hitchcock, D.R. y Lovelock, J.E. (1967). Life detection by atmospheric analysis. *Icarus*, 7, 149–159.
- Lin, L.-H., Wang, P.-L., Rumble, D., Lippmann-Pipke, J., Boice, E., Pratt, L.M., Sherwood Lollar, B., Brodie, E.L., Hazen, T.C., Anderson, G.L., DeSantis, T.Z., Moser, D.P., Kershaw, D., and Onstott, T.C. (2006) Long-term sustainability of a high-energy, low-diversity crustal biome. *Science* 314:479–482
- Matthews, C. N., & Minard, R. D. (2006). Hydrogen cyanide polymers, comets and the origin of life. *Faraday Discussions*, 133, 393. doi:10.1039/b516791d
- Parkinson, C. D., Liang, M.-C., Hartman, H., Hansen, C. J., Tinetti, G., Meadows, V., ... Yung, Y. L. (2006). Enceladus: Cassini observations and implications for the search for life. *Astronomy & Astrophysics*, 463(1), 353–357. doi:10.1051/0004-6361:20065773
- Proskurowski, G., Lilley, M. D., Kelley, D. S., & Olson, E. J. (2006). Low temperature volatile production at the Lost City Hydrothermal Field, evidence from a hydrogen stable isotope geothermometer. *Chemical Geology*, 229(4), 331-343.
- Raulin, F., Coll, P., & Navarro-González, R. (2005). Prebiotic Chemistry: Laboratory Experiments and Planetary Observation. In *Lectures in Astrobiology* (pp. 449-471). Springer, Berlin, Heidelberg.

Ruiz-Bermejo, M., Zorzano, M., & Osuna-Esteban, S. (2013). Simple Organics and Biomonomers Identified in HCN Polymers: An Overview. *Life*, 3(3), 421-448. doi: 10.3390/life3030421

Stevens, T.O. and McKinley, J.P. (1995) Lithoautotrophic microbial ecosystems in deep basalt aquifers. *Science* 270:450–454

Stribling, R., & Miller, S. L. (1987). Energy yields for hydrogen cyanide and formaldehyde syntheses: the HCN and amino acid concentrations in the primitive ocean. *Origins of life and evolution of the biosphere: the journal of the International Society for the Study of the Origin of Life*, 17(3-4), 261–273.

Verbiscer, A., French, R., Showalter, M., & Helfenstein, P. (2007). Enceladus: Cosmic Graffiti Artist Caught in the Act. *Science*, 315(5813).

Waite Jr, J., Lewis, W., Magee, B. et al. Liquid water on Enceladus from observations of ammonia and 40Ar in the plume. *Nature* 460, 487–490 (2009). <https://doi.org/10.1038/nature08153>

Xu, S., Zhi, Y., Han, J., Zhang, W., Wu, X., Sun, T., ... & Liu, Z. (2017). Advances in catalysis for methanol-to-olefins conversion. *Advances in Catalysis*, 61, 37-122.

# PELIGRO DE INUNDACIÓN POR INCREMENTO DEL NIVEL DEL MAR EN ENSENADA, MÉXICO

VIOLETA ZETZANGARI FERNÁNDEZ-DÍAZ.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS.



## Resumen

La identificación de zonas susceptibles a inundarse por el incremento del nivel del mar se ha convertido en un tema de relevancia para muchos países que evalúan el riesgo de sus costas. En la Bahía de Ensenada, la franja costera sur es un área que, por sus características geomorfológicas, alberga zonas con peligro de inundación alto bajo los escenarios de incremento del nivel del mar propuestos por el PEACC-BC. Entre los posibles efectos adversos de la inundación, la erosión y la potencial pérdida de espacios que actualmente tienen algún uso, es la principal amenaza, trayendo consigo otros efectos asociados.

## Introducción

El incremento del nivel del mar es inminente y uno de los asuntos más preocupantes y mayormente difundidos en el mundo sobre los impactos potencialmente adversos del cambio climático (IPCC, 2019), adquiriendo mayor importancia al considerar que casi el 10% de la población mundial vive en zonas costeras bajas, situadas a menos de 10 m sobre el nivel medio del mar y que, uno de los efectos adversos que provoca, son las inundaciones y el aumento en la probabilidad de su ocurrencia (Nicholls, 2004; ONU, 2017) por lo que desde hace algunas décadas, surgió la necesidad de evaluar

el peligro de inundación por incremento del nivel del mar en las costas del mundo.

En México se ha carecido de una cultura de prevención y se ha optado más por la atención de las emergencias, ya que la planeación en las zonas costeras del país es relativamente reciente y obedece al creciente desarrollo económico en esta zona. Sin embargo, se han realizado estudios para evaluar el riesgo costero asociado al aumento del nivel del mar en algunos estados, en donde se abordan perspectivas culturales y ecológicas, así como propuestas de series de indicadores que describen factores fisiográficos y socioeconómicos para evaluar la vulnerabilidad y gestión del riesgo por inundaciones en los municipios costeros (Rivera-Arriaga et al., 2010).

### **El aumento del nivel del mar en Ensenada**

Al igual que en otros estados de México, Baja California cuenta con un Plan de Acción ante el Cambio Climático (PEACC-BC, 2012). En el PEACC-BC se hace mención sobre dos escenarios de incremento del nivel del mar (1 m y 2 m) proyectados para finales de siglo en la región. Particularmente para la

Bahía de Ensenada, los estudios en la zona costera han sido por el lado de las propuestas de manejo de la erosión (Peynador y Méndez-Sánchez, 2010) considerando balance sedimentario y estudios de retroceso de la línea de costa (Delgado-González et al., 2005) mediante imágenes aéreas y de satélite. Los estudios que han abordado el tema de inundación costera han sido a través de evaluar el efecto de erosión (Montoya y Gómez-Morín, 1991), el riesgo de inundación a través de un marco conceptual integrado (Carmona Enríquez, 2013) y por eventos de tormenta sin considerar el incremento del nivel del mar asociado al cambio climático (Fernández et al., 2018). La información referente al peligro de inundaciones costeras debido al incremento del nivel del mar asociado al cambio climático es prácticamente inexistente en la zona, ya que las inundaciones registradas han sido en gran parte de origen fluvial. Debido a esto, en este trabajo se presentan los resultados de una evaluación del peligro de inundación en la costa de la Bahía de Ensenada para identificar aquellas zonas propensas a inundación y establecer un nivel de peligro, así

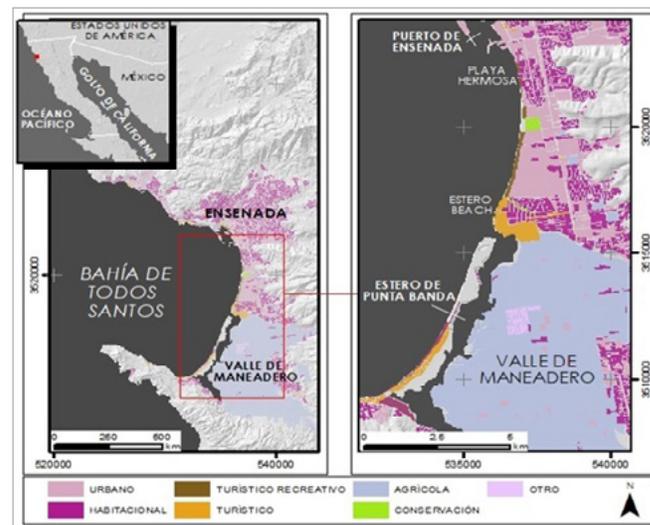
como inferir los posibles impactos socioeconómicos y al medio físico. Este trabajo es un punto de partida en la evaluación del riesgo de inundación en el área de estudio, ya que el enfoque de la evaluación puede ajustarse a las necesidades específicas que se requieran y complementarse con la evaluación de la vulnerabilidad para posteriormente evaluar el riesgo de inundación según sea necesario.

### Área de estudio

La Bahía de Ensenada se localiza sobre la costa noroeste de la Península de Baja California, a 111 km al sur de la frontera México-Estados Unidos. La geomorfología de la bahía concentra la presencia de cantiles marinos activos de hasta 6 m de altura en el norte, lo que sitúa a los asentamientos urbanos en cotas altas; mientras que en la zona sur la presencia de playas arenosas, cordones de dunas, una barra de arena y un estero se localizan en zonas bajas. Respecto al uso de suelo, en la zona costera predominan el urbano, turístico recreativo, turístico y habitacional, además del agrícola. Por su geomorfología, la zona sur de la bahía es un área costera baja, lo que

la hace más vulnerable a inundarse debido al incremento del nivel del mar. Por lo tanto, este trabajo se centra únicamente en el área costera sur, enmarcada en el recuadro rojo Véase figura 1.

Figura 1. Localización del área de estudio y usos de suelo.



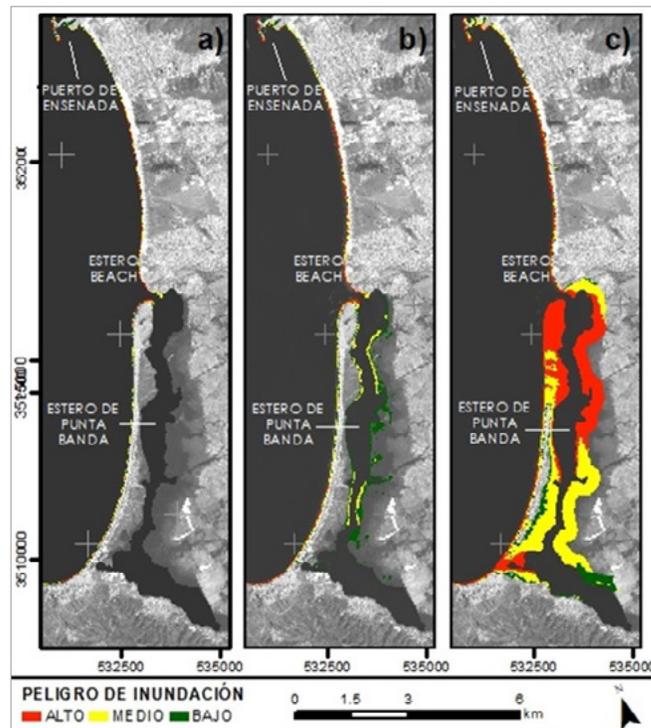
## Metodología y Resultados

Aplicando simulaciones numéricas para escenarios hidrodinámicos proyectados de la zona de estudio y dos escenarios de incremento del nivel del mar propuestos en el PEACC-BC para 2080-2100 (1 m y 2 m) sobre un modelo topobatimétrico de la Bahía de Ensenada; así como los criterios establecidos por el IMTA (2015) y presentados en Alcocer et al., (2016) para determinar el nivel de peligro de inundación basado en el tirante y velocidad del agua sobre la costa, y utilizando herramientas de geoprocésamiento, se crearon mapas de peligro para la zona de estudio. En estos mapas se identifican aquellas zonas en donde la mancha de inundación penetra tierra adentro y se establece el nivel de peligro que presentan.

Los mapas de resultados muestran un peligro de inundación alto para toda la zona de estudio bajo los dos escenarios de incremento. Véase figura 2. Sin embargo, el peligro se ve potenciado para el escenario de incremento del nivel del mar de 2 m, lo que representa un área de afectación mayor, sobre todo en la barra de arena del estero de punta banda

Figura 2. Mapa de peligro.

a) condiciones actuales; b) escenario de incremento del 1 m;  
c) escenario de incremento de 2 m.



y al interior del cuerpo de agua. Considerando las posibles afectaciones socioeconómicas que pudiera generar la mancha de inundación, las playas y dunas que actualmente brindan un servicio de protección o que son espacios para realizar actividades turísticas y recreativas, son susceptibles a erosionarse como consecuencia de la inundación, limitando así el espacio utilizable y condicionando las actividades que actualmente se realizan. Aquella infraestructura que se sitúa en Playa Corona, Nueva España, Playa Mona Lisa, El Faro y la situada en la barra de arena, se encuentra entre las potenciales a ser dañadas y/o sufrir pérdidas por menaje. El valle agrícola de Maneadero, podría perder área de cultivo debido a la salinización de los suelos y la intrusión de agua de mar. Desde un enfoque ecológico, las playas y dunas costeras, así como la barra de arena y al interior del estero sufrirán erosión que repercutirá en una pérdida de espacio físico para aquellas especies que ahí habitan o que utilizan la zona para descansar durante rutas migratorias, como es el caso de varias especies de aves.

## Conclusiones

Identificar las zonas costeras potenciales a inundarse debido al incremento del nivel del mar es fundamental para el desarrollo sostenible y eficaz de las intervenciones de gestión del riesgo en las costas.

En este caso de estudio, la zona sur de la Bahía de Ensenada definitivamente es un área que bajo los escenarios de incremento del nivel del mar propuestos en el PEACC-BC presenta un peligro de inundación alto. Las consecuencias directas se reflejarían como pérdida de espacios físicos debido a la erosión y la salinización del suelo, así como daño a la infraestructura localizada en primera línea de playa. De manera indirecta, algunos de los efectos negativos serían daños económicos asociados a la pérdida por menaje y reducción de área cultivable, actividades turísticas y recreativas limitadas y/o condicionadas y desplazamiento de especies.

Considerar en los planes futuros de desarrollo urbano costero, la implementación de medidas de adaptación ante el incremento del nivel del mar por cambio climático, es altamente recomendable para la Bahía de Ensenada. 💧

## Bibliografía

- Alcocer-Yamanaka, V. H., Rodríguez-Varela, J. M., Bourguett-Ortiz, V. J., Llaguno-Guilberto, O. J., & Albornoz-Góngora, P. M. (2016). Metodología para la generación de mapas de riesgo por inundación en zonas urbanas. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 7(5), 33–55.
- Carmona Enríquez, R. M. (2013). *Modelo de riesgo de inundación costera causada por variaciones del nivel del mar, aplicado a la ciudad de Ensenada, B. C., México*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California.
- Delgado-González, O. E., Lizarraga-Arciniega, R., Martínez-Díaz-de-León, A., Galindo-Bect, L., Ferman-Almada, J. L., Sánchez-Arcilla, A., ... Cruz-Varela, A. (2005). Beach-line changes at the mouth of Punta Banda Estuary, Baja California, during 1972-2003. *Ciencias Marinas*, 31(4), 707–717.
- Fernández, V., Silva, C., Mendoza, E., & Riedel, B. (2018). Coastal flood assessment due to extreme events at Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean & Coastal Management*, 165, 319–333.
- IPCC, 2019. "Summary for Policymakers", in: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama & N. Weyer (eds.). Geneva, World Meteorological Organization, In press.
- Montoya Turrillas, F. J., & Gómez-Morín Fuentes, L. (1991). Definición de zonas de riesgo por erosión e inundación en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 17(2), 25–36.
- Naciones Unidas México, 2017. Las personas y los océanos. Recuperado de: <https://www.onu.org.mx/las-personas-y-los-oceanos/>
- Nicholls, R. J., & Lowe, J. A. (2004). Benefits of mitigation of climate change for coastal areas. *Global Environmental Change*, 14(3), 229–244.
- Peynador, C., & Méndez-Sánchez, F. (2010). Managing coastal erosion: A management proposal for a littoral cell in Todos Santos Bay, Ensenada, Baja California, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 53(7), 350–357.
- Rivera-Arriaga, E., Azuz-Adeath, I., L., A., & G.J., V.-Z. (2010). *CamBio Climático en México: un enfoque costero y marino*.

# CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS VIABLES PARA LA GESTIÓN EFICIENTE DEL AGUA POTABLE EN TECÁMAC, UN MUNICIPIO CONURBADO DE LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO (2001-2022)

PAULINA GAMALLO CHAINE.  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS  
DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL.

## Resumen

La Zona Metropolitana de la CDMX tiene una situación crítica en la gestión, uso y acceso desigual de sus recursos hídricos, lo que lleva a la escasez de agua de forma acelerada y a problemáticas alternas de grandes dimensiones. La presente propuesta de investigación tiene como fin: analizar y correlacionar los factores socioculturales, político-económicos y científicos-tecnológicos que influyen en la gestión del agua potable en Tecámac, un municipio impactado por deficientes dinámicas de planeación a distintas escalas. Generar indicadores mediante técnicas cualitativas y cuantitativas. Y, finalmente, desarrollar escenarios de integración con el software

“Water Evaluation and Planning”, que permitirá proponer estrategias de atención integral para la gestión del agua.

## Aspectos generales. Agua y territorio. Tecámac.

En las siguientes líneas se expone el protocolo de investigación de una tesis doctoral que tiene como fin analizar la gestión del agua transdisciplinariamente y generar proyecciones que incidan en la población de Tecámac.

El agua depende de una compleja red de actores, usuarios, marcos normativos, etc., por lo que se introducirán estos temas en torno al problema



de este municipio del Estado de México, describiendo y proponiendo cómo se estudiará metodológicamente.

## 1.- Agua.

El agua es un elemento vital para diferentes actividades humanas. Según el Banco Mundial, el agua

[...] afecta todos los aspectos del desarrollo y se relaciona con la mayoría de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Además, impulsa el desarrollo económico, apoya los ecosistemas saludables y es fundamental para la vida [...] (Banco Mundial, s/f).

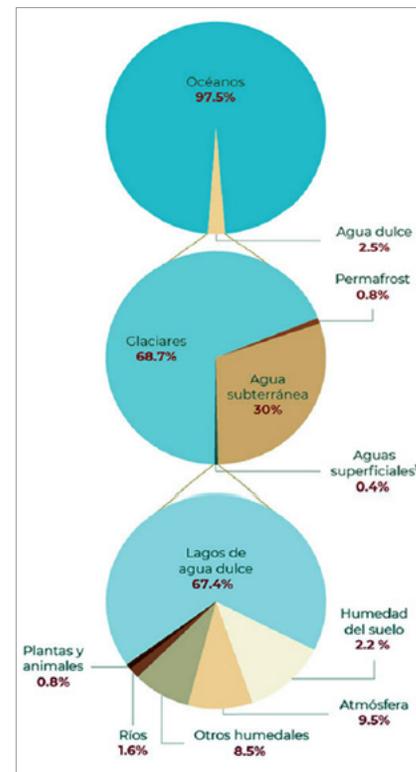
Pese a que cubre el 70% de la superficie del planeta, únicamente el 2.5% es agua dulce. Véase Figura 1, Porcentajes de agua (Banco Mundial, s/f).

### 1.1 ¿Quién rige el agua en México?

En México, la única autoridad en los asuntos referentes al agua es la Comisión Nacional del Agua, “CONAGUA” que reconoce este recurso como un asunto estratégico y de seguridad nacional.

- Es un elemento:
  - central de la política ambiental.
  - clave de la política de desarrollo social.

Figura 1. Porcentaje de agua.



- central de la política económica.
- cuya calidad es determinante para la salud y bienestar.

## 1.2 El agua desde distintas perspectivas.

### 1.2.1 Visiones.

Las visiones son diferentes modos de entender la importancia del agua y, por lo tanto, su tratamiento.

<b>Visiones</b>	<p><b>Como Recurso</b></p> <p>Usos y funciones necesarios para sustentar la vida</p> <p>Administración por cuencas;</p> <p>Obras hídricas y calidad</p> <p>(Sandoval, 2020).</p>
	<p><b>Como Derecho Humano</b></p> <p>Debe garantizarse, cuando menos, la fuente pública de agua potable a menos de 100 metros del hogar</p> <p>Agua necesaria, en cantidad y calidad;</p> <p>De interés público</p> <p>(Valdés y Uribe, 2016)</p> <p>Un bien.</p>
	<p><b>Como Mercancía</b></p> <p>Sujeta a la especulación financiera, poder económico y político. Se puede poner en riesgo la salud pública por subvenciones (Iglesias, 2017).</p>

### 1.2.2 Valores

Las visiones, descritas anteriormente, se aplican de acuerdo a los valores que fortalecen una gestión sostenible y equitativa de los recursos hídricos. Por lo que el Banco Mundial menciona diversas medidas para reducir la vulnerabilidad en cuanto al agua:

- Ampliar la gestión integrada de los recursos hídricos más allá de los enfoques tradicionales.
- Apoyar acciones a escala para generar resiliencia frente al clima combinando la gestión de cuencas, la infraestructura sostenible, y el empoderamiento y el aprendizaje a través de instituciones flexibles. (Banco Mundial, s/f).)

## 1.3 Actores en el escenario del agua

A causa del complejo problema del agua existen diversas circunstancias y actores que interactúan. Entre los principales están:

- FAMA Fórum Alternativo Mundial del Agua
- ONU Organización de Naciones Unidas
- FMI Fondo Monetario Internacional

- Global Water Partnership
- Banco Mundial
- Banco Interamericano de Desarrollo

Y, a nivel nacional:

- CONAGUA

## 1.4 Problemática

Según el banco mundial:

Nueve de cada diez desastres naturales se relacionan con el agua [...] si se quieren lograr los objetivos relacionados con el clima y el desarrollo, el agua debe estar en el centro de las estrategias de adaptación.

Entre las principales problemáticas se encuentran:

- Alteración del ciclo hidrológico
- Cambio climático.  
Afecta a los bosques a través de sequía, temperaturas más cálidas y tormentas más fuertes
- Aumento de temperatura y cambios en las características hidrológicas
- Consecuencias para los pequeños Estados insulares, algunos de los cuales podrían desaparecer.

- Sequías.

Afecta al 80 por ciento del territorio nacional (Milenio,2021)

- Retraso en las lluvias que puede generar restricciones en distritos de riego
- Deforestación  
Patrones de consumo que fomentan la deforestación
- Escasez  
1 de cada 5 personas en el mundo no tiene acceso al agua potable.  
Para el 2030 se proyecta que uno de cada cinco países en el mundo enfrentará escasez de agua

### 1.4.1 Factores

Los factores que integran la gestión del agua son: conocimientos tecnológicos, técnicos y científicos; políticos-económicos y socioculturales. De manera que es importante comprender la gestión desde las políticas internacionales hasta los problemas locales por escasez de agua o falta de abastecimiento.

### 1.4.2 Infraestructura

A pesar de que se tiene la infraestructura hidráulica, esta no es suficiente para toda la población, además de su nula actualización y/o mantenimiento. Asimismo, en el marco político y social se reflejan los valores y las visiones que se tienen del agua, pues aunque en nuestro país los institutos científicos y tecnológicos están desarrollando alternativas, sólo 1 de cada 100 litros de agua de lluvia se capta para uso en distintas actividades y 46% se pierde por fugas en redes de abastecimiento.

### 1.4.3 Marco institucional

El problema de la gestión del agua se encuentra en la debilidad de su marco institucional (Ver Figura 2, Marco Institucio-

Figura 2 Marco Institucional, Estatal y Municipal.



nal, Estatal y Municipal), lo cual no ha permitido que la GIRH tenga los resultados esperados. Asimismo, la centralización del poder que prevalece en el país, al contrario de lo que plantea el modelo (Domínguez,

2006) por la descentralización y alta intensidad de participación de todos los actores. Este modelo establece reformas legales e institucionales que integran la participación ciudadana, pero también la privatización y/o concesión del agua al sector privado y social “organizado”.

Por otro lado, “la escasez convierte al agua en una poderosa moneda de negociación política, pues su supervisión está plagada de desigualdad, corrupción y conflicto” (Herrera, 2018). Uno de los aspectos que más inciden en la crisis de gobernabilidad es la corrupción en el sector hídrico que se manifiesta desafortunadamente de muchas maneras y en donde prevalecen las instituciones disfuncionales e inadecuadas Ortiz (2011).

## 2.- Tecámac, problemática y agua

El conjunto habitacional Héroes de Tecámac consta de 205.02 hectáreas en las que se construyeron 357 726 viviendas de interés social y contó con autorización para aprovechar los recursos de pozos profundos; así como para realizar descarga de aguas residuales al gran canal y aguas pluviales infiltradas

por pozos de absorción. Aloja más del 50% de la población (Ver Figura 3, Promoción de vivienda en Tecámac).

Figura 3. Promoción de vivienda en Tecámac

**LOS HÉROES  
TECÁMAC**

**LOS HÉROES TECÁMAC**

- 7 prototipos de vivienda a elegir
- Elige tu casa sólidamente construida de 2 y 4 recámaras
- Lugar para estacionamiento
- Los mejores acabados
- Máximo aprovechamiento de los espacios
- Terrenos de 52.50m<sup>2</sup> y construcción desde 50.96m<sup>2</sup> hasta 100.19m<sup>2</sup>

Asimismo, diversas empresas cuya materia prima es el agua, se han acercado a este territorio con el beneplácito de las autoridades, tal es el caso de la empresa Peñafiel.

En la comunidad se han preservado sistemas comunitarios tradicionales que administran el recurso potable, esto ha provocado fricciones por la diferencia de visiones y valores. Uno de estos sistemas es el municipal, a través del Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Tecámac (ODAPAS).

Otro es el Sistema comunitario de agua de Tecámac (SAPTEMAC) que agrupa a ocho pueblos originarios.

### 3.- Aproximaciones metodológicas

Los datos obtenidos hasta ahora crean un marco pertinente para analizar el problema de Tecámac y la gestión del agua. Porque el problema es complejo, transdisciplinario y dinámico; se utilizará una metodología de corte mixto: trabajo de gabinete, trabajo cualitativo y cuantitativo.

En el primero se realizarán búsquedas en la web, en tesis de intereses análogos, así como en acervos y bibliotecas locales. En cuanto al segundo, se elaborarán:

**Encuesta**, para conocer la opinión de la población municipal sobre el agua y su importancia, de qué manera la usan y si conocen su origen.

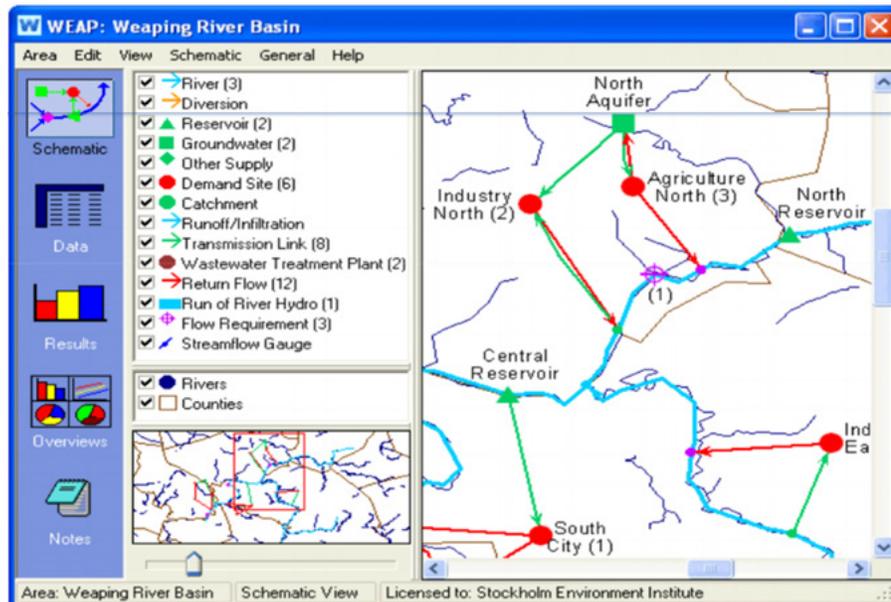
**Grupos focales**, para identificar diferentes formas en que los actores sociales entienden el tema del agua.

**Recorridos**, para comprender los procesos de manejo y potabilización del agua, identificar las técnicas hídricas con las que se trabaja y que permitan tener evidencia fotográfica de los procesos de potabilización de los tipos de gestión de SAPTEMAC y ODAPAS

**Entrevistas estructuradas** a los actores clave.

En cuanto al tercero, se realizarán simulaciones de escenarios con el *software Water Evaluation and Planning* “WEAP”, (Ver Figura 4, Interfaz) que es un sistema de evaluación y planificación del agua que trabaja con Sistemas de Información Geográfica, el cual permite ubicar las condiciones de la

Figura 4. Interfaz de WEAP.



demanda de agua y el suministro para el cual se utilizarán datos cuantitativos para el análisis de todos los componentes en conjunto y se relacionará con la percepción sociocultural y las propuestas de política pública.

Para tener elementos y poder introducir datos en el programa, se han diseñado los siguientes objetivos:

- Analizar el marco jurídico sobre la gestión del agua en las grandes ciudades y áreas metropolitanas en México.
- Caracterizar la gestión institucional y comunal del agua en el municipio de Tecámec desde las políticas públicas.
- Identificar el tipo de prácticas, conocimientos y experiencias disponibles entre los habitantes de Tecámec sobre el proceso de gestión del agua.
- Describir la infraestructura y capacidades técnicas, científicas y tecnológicas en uso por las entidades admi-

nistrativas y comunitarias para la distribución y dotación de agua en Tecámac.

- Identificar patrones de comportamiento y significados socioculturales del agua en la comunidad.
- Construir escenarios viables a partir de variables físicas, de infraestructura, de política pública y de significancia sociocultural.
- Elaborar propuestas de política pública para incidir en la problemática del agua en Tecámac.

## Conclusión

De acuerdo a lo expuesto, el problema del agua es complejo, por lo que con los objetivos que se plantean, se pretenden aterrizar estas inquietudes y se trabajará con ellas para comprenderlas e incidir en la población de Tecámac. 💧

## Bibliografía

Armenta H. (2019) Los retos que enfrenta el sector hidráulico en México. 23 de abril. Disponible en: <https://humbertoarmenta.mx/tag/infraestructura-hidraulica/>

Herrera V. (2018) Los juegos políticos con el agua del que son víctimas los mexicanos, publicado en The Conversation, 26 de marzo. Disponible en:

<https://theconversation.com/los-juegos-politicos-con-el-agua-del-que-son-victimas-losmexicanos-93914>

Iglesias Piña, D. (2017). La valoración económica y mercantilización del agua de consumo humano en el Estado de México. Algunos determinantes. *Espiral (Guadalajara)*, 24(68), 79-109. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-05652017000100079](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-05652017000100079)

Red del agua UNAM (2021) Webinar Los valores del agua. Disponible en: [http://www.agua.unam.mx/archivo\\_WebinarValordelAgua.html?fbclid=IwAR0sOyYy4p\\_uWjo7HzlAHF82kdRkYG2Qwi7v1QT2ym\\_yTR90dVwTWEcat2Q](http://www.agua.unam.mx/archivo_WebinarValordelAgua.html?fbclid=IwAR0sOyYy4p_uWjo7HzlAHF82kdRkYG2Qwi7v1QT2ym_yTR90dVwTWEcat2Q)

SEMARNAT. (2021). Agua. Sistema Nacional de Información ambiental y de Recursos Naturales. Disponible en: <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. UNESCO. (2017). Hechos y cifras. La demografía y el consumo son los principales responsables de la presión ejercida sobre los recursos hídricos. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-andfigures/all-facts-wwdr3/fact1-demographics-consumption/#:~:text=Hechos%20y%20cifras,-a%20demograf%C3%ADa%20y&text=La%20poblaci%C3%B3n%20mundial%20est%C3%A1%20creciendo,en%20los%20%C3%BAltimos%2050%20a%C3%B1os>

Gustavo, O. R. (2011). Algunos apuntes sobre la corrupción en el sector agua. Libro: Autoanálisis latinoamericano sobre conflictos y gestión de servicios urbanos de agua y saneamiento. Disponible en: [https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2011/05/corrupcion\\_del\\_sector\\_agua\\_\(ortiz\\_rendon\).pdf](https://agua.org.mx/wpcontent/uploads/2011/05/corrupcion_del_sector_agua_(ortiz_rendon).pdf)

Valdés de Hoyos, E. I. P., & Uribe Arzate, E. (2016). El derecho humano al agua. Una cuestión de interpretación o de reconocimiento. *Cuestiones constitucionales*, (34), 3-25. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-91932016000100003](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-91932016000100003)

<https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>

# LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA DE LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA COMO UN INSTRUMENTO PARA LA PROTECCIÓN DEL AGUA.

SANDRA PATRICIA GAMIÑO-GUTIÉRREZ,  
RODRIGO PATIÑO.  
CINVESTAV - UNIDAD MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

## Resumen.

La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) es un instrumento de política pública con enfoque holístico, participativo, interdisciplinario y multiactor, que se plantea sea implementado para el desarrollo nacional o regional de políticas, planes y programas. La implementación de la EAE, permitirá que la toma de decisiones, incluya el análisis de las oportunidades y riesgos que conllevan las opciones de desarrollo para Yucatán que es una zona con alto potencial de generación de energía renovable, y en cuyo territorio se han implementado proyectos sin una planeación integral ni el enfoque estratégico que requiere una transición energética en el marco

de los objetivos de desarrollo sostenible, con mejor aceptabilidad social por las comunidades indígenas que habitan ese territorio y un seguimiento continuo que permita corregir los planes a lo largo de su operación, incluyendo la protección del acuífero que es de una vulnerabilidad particular y siendo el agua elemento esencial para la vida.

## Introducción.

El estado de Yucatán tiene una gran riqueza biocultural, cuenta con ecosistemas de gran valor natural que han sido sostenidos por los sistemas productivos basados en los saberes de la milenaria cultura



maya, han adaptado sus prácticas productivas para lograr seguridad alimentaria, las materias primas para su forma de vida y la cultura de sus habitantes, cuyo desarrollo ha estado estrechamente ligado al agua (Reyes y García, 2020, p. 1). El acuífero de la Península de Yucatán se encuentra formado por rocas calizas y depósitos de litoral, la naturaleza calcárea de estas rocas produce el medio kárstico y son el origen de la recarga del acuífero, pues tienen una muy alta permeabilidad, sin embargo, esta característica hace que los procesos de retención o adsorción de contaminantes sean prácticamente nulos dando al acuífero una vulnerabilidad importante a la contaminación, pero también a riesgos geológicos de colapso, pues el agua va provocando disolución de la roca formando oquedades o incluso cuevas conocidas como cenotes (Estrada-Medina et al., 2019, p. 7; Medina Carrillo, et al., 2021, p. 3). Para el estado este acuífero kárstico es el soporte de todos los ecosistemas terrestres y es la única fuente de agua potable para la población (Estrada-Medina et al., 2019, p. 1). Diferentes actividades han ejercido presión sobre el recurso, por un lado la extrac-

ción que ha sido en un porcentaje importante para la actividad agrícola y pecuaria a gran escala, y por otro lado se han ocupado grandes extensiones de terreno deforestando la vegetación natural, para la implementación de negocios agroindustriales, desarrollos inmobiliarios, proyectos como el Tren Maya y los megaproyectos para la generación de energía limpia, actividades que afectan tanto la calidad y como la cantidad del agua, impactando por consiguiente a la población (Espadas-Manrique et al., 2019, p. 11-14). A partir de la Reforma Energética en el 2013, se tuvo el arribo de numerosos megaproyectos fotovoltaicos y eólicos al estado de Yucatán. Todos estos proyectos fueron autorizados para su construcción y operación con el instrumento de política ambiental que es la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), instrumento de carácter rígido y limitado para hacer una evaluación integrada de los impactos acumulativos, sinérgicos y en el largo plazo, por los largos periodos de su operación, para la protección del territorio y sus recursos como el acuífero kárstico (Benítez y Alexander, 2019, p. 3; Sánchez Arceo et al., 2020, p. 66; Zárate Toledo, et

al., 2021, p. 10). La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) es un instrumento con carácter participativo y público, que puede desarrollarse desde una visión multidimensional, integral, intercultural y de gobernanza, acorde a los derechos humanos y desde una perspectiva de justicia ambiental, incluye un seguimiento continuo que le permite evaluar las estrategias de política ambiental para lograr un desarrollo responsable y acorde con la capacidad de carga del territorio. La EAE aborda la visión ambiental desde los elementos biofísicos con sus vínculos a la calidad de vida y la cultura, incluyendo salud, medios de vida, vulnerabilidad, actividad económica y recursos de valor primordial como el agua (Partidário, 2012, p. 16), además genera directrices con un enfoque estratégico, de aplicación de decisiones de largo plazo para el futuro que se desea construir, aborda las verdaderas causas de los problemas y la búsqueda de prioridades (Partidário, 2008, p. 13), para que haya un mejor contexto de desarrollo, con pleno respeto hacia los pueblos originarios. Esto es el marco para un desarrollo sostenible, con acciones que apoyan

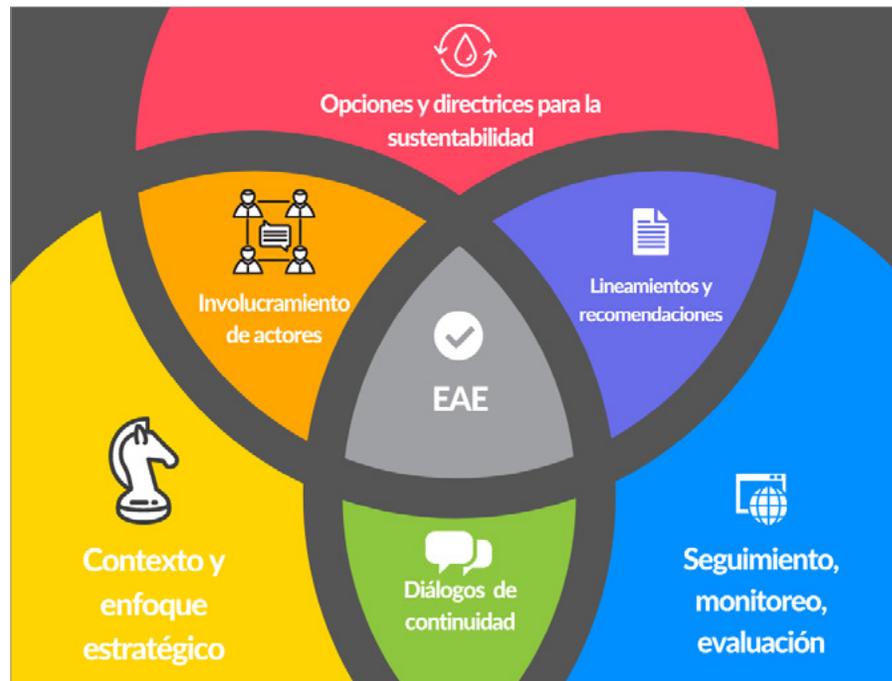
los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), la EAE tiene el potencial para lograr un alto nivel de protección ambiental reflejado en políticas, planes y programas que el gobierno o sus instituciones pretendan implementar (González del Campo, 2020, p. 1). La EAE fue incluida en la Ley de Transición Energética (2015), indicando que debe aplicarse antes del desarrollo de proyectos de generación de energía limpia en zonas con alto potencial de generación, como lo es el estado de Yucatán, pero a la fecha no ha sido implementada, por lo que el objetivo fue establecer los lineamientos generales para la EAE, promoviendo su conocimiento y uso entre diferentes actores sociales, para disminuir los riesgos socioecológicos regionales.

### **Desarrollo.**

Para establecer de una manera interdisciplinaria y participativa los lineamientos técnicos generales para la EAE en los proyectos de generación de energía limpia en el estado de Yucatán, se siguió la metodología propuesta por Partidario (2012), que tiene por objetivo facilitar enfoques integrados en

estrategias nacionales como la Transición Energética que involucra toma de decisiones para la protección ambiental pero también cuestiones de inversión, es necesario generar soluciones que den sustentabilidad a todos los recursos naturales y bioculturales que dan valor al territorio. Dicha metodología, se divide en tres etapas, definición del contexto y enfoque estratégico, identificación de los caminos para la sustentabilidad y el seguimiento, monitoreo, control y evaluación, véase Figura 1. Cabe aclarar que la EAE no sustituye de ninguna manera a una EIA, sino que es un instrumento diferente, con objetivos diferentes y enfoques distintos, mientras que la EAE es un enfoque de estrategia en términos

Figura 1. Metodología para realizar la Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) con enfoque de pensamiento estratégico en un modelo cíclico de desarrollo (Partidário, 2012, p. 50).



ambientales y de sustentabilidad con una visión de largo plazo para opciones de desarrollo, la EIA es un instrumento de evaluación de un proyecto y sus impactos sobre el ambiente, tiene carácter reactivo y dirigido al control de los efectos de actividades específicas sin considerar alternativas de desarrollo. Ambos instrumentos son complementarios pues las decisiones estratégicas tendrán un mejor planteamiento y permitirá procesos de EIA más eficientes, con mejor entendimiento y fluidez.

Para el proyecto se estableció el marco de evaluación estratégica, integrado por los aspectos estratégicos para la transición energética en el territorio de Yucatán, los aspectos ambientales y de sostenibilidad, que corresponden al marco del problema, así como el marco de referencia estratégico que incluye las prioridades de la política en esta materia. Se definió el análisis del marco de gobernanza, que incluyó la identificación de actores clave, sus preocupaciones y preferencias, el trabajo incluyó mesas de diálogo con los sectores de gobierno en los tres niveles, el sector de la industria privada, la sociedad civil y organizaciones no gubernamentales y con el sector

de la academia como eje articulador de todo el proceso. Los actores de las organizaciones de la sociedad civil y comunidades mayas, efectivamente identifican como un problema clave el estado del recurso agua, el sector gobierno identifica limitaciones en la aplicación debido a falta de seguimiento de las políticas y planes de desarrollo entre las diferentes administraciones, la iniciativa privada se encuentra organizada como gremio pero muestran poca interacción con los demás actores. Esta primera etapa desarrollada permitirá diseñar colectivamente escenarios de desarrollo regional que respeten los sistemas socioecológicos y la diversidad biocultural del territorio, proponiendo, analizando y priorizando las rutas más sostenibles en las acciones para la transición energética en el estado de Yucatán.

## Conclusiones.

Contribuir con la integración ambiental y de sostenibilidad como el alcance de la EAE, implica la identificación de una pluralidad de actores y requiere lógicas de pensamiento estratégicas en todos los actores con una nueva actitud fundamen-

tal para comprender y abordar la complejidad de los procesos estratégicos, permitiendo diálogos hacia el entendimiento mutuo, ofreciendo flexibilidad, asegurando perspectivas a largo plazo y a gran escala creada por múltiples niveles de decisión y acción. Lograr implementar la EAE de la transición energética en esta zona de Yucatán con alto potencial de energía renovables, podrá ayudar a crear políticas públicas más integradas socioambientalmente con la protección de los recursos de alto valor, como su acuífero, reconociendo los derechos de las comunidades indígenas, el derecho a un ambiente sano y a la participación pública en la toma de decisiones en un marco de transparencia.

Finalmente, una experiencia exitosa de la EAE en el estado de Yucatán en primera instancia, podría replicarse para otras regiones del país, tanto en el contexto de transición energética como en otros sectores, cumpliendo con su función de instrumento para el desarrollo nacional o regional de políticas públicas que permitan proteger los recursos de gran significancia como lo es el agua. 💧

### Bibliografía.

- Reyes García, C. y García Quintanilla, A. (2020) Seguridad alimentaria en Yucatán y los ecosistemas que la sostienen. Eco-Blog MX 3, Sociedad Científica Mexicana de Ecología. <https://scme.mx/seguridad-alimentaria-en-yucatan-y-los-ecosistemas-que-la-sostienen/>
- Sánchez Arceo, J., Reyes Maturano, I., Patiño Díaz R. T., Munguía Gil, A., Reyes García, C., Espadas Manrique, C., Dupuy Rada J. M., García Quintanilla, A., Rodríguez López, A., Llanes Salazar, R., Migoya, R., Prieto, S., Coraza de los Santos, E., Gasparello, G., Ceceña, A.E., Ramírez, S., García Veiga, J., Núñez Rodríguez, V. y Gutiérrez Navarro, A. (2020) Observaciones técnicas, emitidas en el marco del Proceso de Consulta Pública de la SEMARNAT, respecto a la MIA Regional del Proyecto "Tren Maya Fase 1", con clave: 04CA2020V0009, el cual pretende desarrollarse en los estados de Chiapas, Tabasco, Campeche y Yucatán; promovido por FONATUR TREN MAYA, S.A. DE C.V. <https://lasviasdeltren.files.wordpress.com/202%7/comentarios-colectivos-tmf1-ay.pdf>
- Estrada-Medina, H., Jiménez-Osornio, J. J., Álvarez-Rivera, O., & Barrientos-Medina, R. C. (2019). El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. Acta Universitaria 29. <http://doi.org/10.15174.au.2019.2292>

Espadas Manrique, C., García Quintanilla, A., Munguía Gil, A., López Santillán, A., Patiño Díaz, R., Reyes García, C., Reyes Maturano, I. y Sánchez Arceo J. (2019). Perspectiva de los territorios del Norte de la Península de Yucatán de cara al Tren Maya: Una visión integral de sus condiciones socioeconómicas, socioambientales y socioculturales al 2019. <https://lasviasdeltren.files.wordpress.com/2022/06/gc-ttm-2-2019.pdf>

Partidário, M.R. (2008). Conceptos, evolución y perspectivas de la Evaluación Ambiental Estratégica. Seminario de Expertos sobre EAE en Latinoamérica en formulación y gestión de Políticas. Santiago de Chile. [http://www.iirsa.org/admin\\_iirsa\\_web/uploads/documents/ease\\_taller08\\_m2\\_anexo1.pdf](http://www.iirsa.org/admin_iirsa_web/uploads/documents/ease_taller08_m2_anexo1.pdf)

Partidário, M.R. (2012). Guía de Mejores Prácticas para la evaluación ambiental estratégica: Orientaciones metodológicas para un pensamiento estratégico en EAE. Portuguese Environment Agency and Redes Energéticas Nacionais (REN). Lisbon. [https://www.iaia.org/pdf/special-publications/Guia\\_Evaluacion\\_Ambiental\\_Estrategica\\_\(01.04.14\).pdf](https://www.iaia.org/pdf/special-publications/Guia_Evaluacion_Ambiental_Estrategica_(01.04.14).pdf)

González Del Campo, A., Gazzolab, P., Onyangoc, V. (2020) The mutualism of strategic environmental assessment and

sustainable development goals. Environmental Impact Assessment Review Vol. 82; pp. 1-9. 106383. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106383>

Medina Carrillo, L.G., Fernández Mendiburo, J., Montiel Cortés, J.O. (2021) Contaminación del Acuífero Maya. Responsabilidad gubernamental y empresarial. Fundación para el debido Proceso. Indignación, promoción y defensa de los Derechos Humanos. Pp. 72. [http://dplf.org/sites/default/files/informe\\_contaminacion\\_acuifero\\_maya.pdf](http://dplf.org/sites/default/files/informe_contaminacion_acuifero_maya.pdf),

Zárate Toledo, E., Wood, P. y Patiño, R. (2021) In search of wind farm sustainability on the Yucatan coast: Deficiencies and public perception of Environmental Impact Assessment in Mexico. Energy Policy. Volume 158. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112525>

# ESTUDIO DE DOS PRETRATAMIENTOS DE LODO RESIDUAL PARA SU EMPLEO COMO SUSTRATO ANÓDICO EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS

LUCÍA GONZÁLEZ ESPINOZA

UNAM, PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA CAMPUS IMTA.

PETIA MIJAYLOVA NACHEVA,  
EDSON B. ESTRADA ARRIAGA,  
JENNIFER A. BAÑUELOS DIAZ.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA), COORDINACIÓN DE  
TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA

## Resumen

Con el crecimiento de la población mundial se ha vuelto una necesidad importante el desarrollo de tecnologías sustentables que produzcan energía y a su vez, disminuyan la generación de residuos sólidos y las emisiones de gases de efecto invernadero, como lo son las Celdas de Combustible Microbianas. Esta tecnología genera electricidad a partir de residuos sólidos, pero tiene como limitante de proceso la etapa de hidrólisis en la degradación de la materia orgánica. En este trabajo se investigó la aplicación de pretratamientos en lodo residual secundario con  $\alpha$ -amilasa y

ácido peracético para impulsar la etapa de hidrólisis y posteriormente usarlo como sustrato anódico en celdas de combustible microbianas. Los resultados mostraron que el pretratamiento enzimático puede mejorar la remoción de DQOs llegando a 79% y producir  $4.4 \pm 1.1$  W/m<sup>3</sup>, mientras que el pretratamiento con ácido peracético tiene impactos negativos significativos en la producción de energía eléctrica.

## Introducción

El lodo residual es un material semi sólido que contiene principalmente materia orgánica, así como



otros contaminantes como patógenos y metales (Mian et al., 2019, p. 526). Este se genera como subproducto en los procesos biológicos de las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) y requiere también de un adecuado tratamiento antes de su reuso o disposición en el ambiente. Como los métodos convencionales de tratamiento representan entre el 25-60% de los costos totales de operación en una PTAR (Yu et al., 2018, p. 496), y gran parte de este costo proviene del consumo energético, se han enfocado nuevas investigaciones en alternativas de tratamiento y de conversión de residuos en energía.

Una alternativa potencial son las Celdas de Combustible Microbianas (CCM), las cuales son sistemas bio-electroquímicos que pueden convertir de manera directa la energía química almacenada en enlaces de moléculas orgánicas en energía eléctrica por medio de microorganismos (Slate et al., 2019, p. 60). Esta técnica en comparación con los métodos tradicionales como la digestión anaerobia, tiene como ventaja que convierte de manera directa el lodo residual en energía eléctrica, opera a temperatura ambiente y no

produce gases que necesiten ser purificados (Fernández-Hernández et al., 2015, p. 285).

Sin embargo, las CCM tiene como limitante de proceso la etapa de hidrólisis, con la cual se producen los compuestos solubles que son aprovechados por los microorganismos para la generación de energía. Como solución a esta problemática se ha propuesto la implementación de pretratamientos que aceleren la hidrólisis del lodo residual y mejoren la producción de electricidad (Geng et al., 2021, p. 229616).

Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar la aplicación de la enzima  $\alpha$ -amilasa y el ácido peracético (APA) como pretratamientos de lodo residual para su uso como sustrato anódico en celdas de combustible microbianas biocatódicas, mediante el análisis de la generación de energía eléctrica y remoción de materia orgánica.

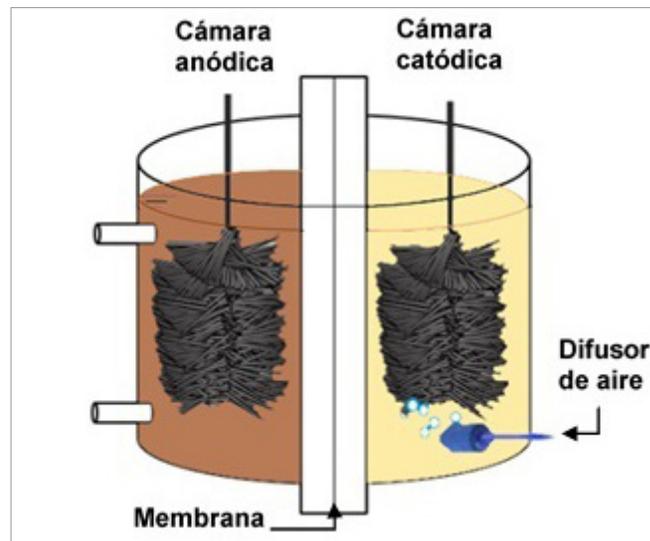
## Desarrollo

Se realizaron experimentos preliminares dando pretratamiento a lodo residual secundario probando 7 dosis de cada pretratamiento: 30, 60, 90, 120, 150,

180 y 210 mg amilasa/ g de sólido total (ST), y 25, 50, 100, 150, 200, 250 y 300 mg APA/ g ST. Este se realizó en agitación por 2 y 5 horas para el APA y la enzima respectivamente a temperatura ambiente (22-28°C). El lodo residual empleado fue obtenido de un sedimentador secundario de la PTAR Cerro de la Estrella de la Ciudad de México y se almacenó a 4°C hasta su uso. De estas pruebas se eligieron dos dosis de cada pretratamiento para aplicarse en CCM, de acuerdo con los resultados obtenidos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) soluble y producción de Ácidos Grasos Volátiles (AGV).

En los experimentos con CCM se emplearon reactores de acrílico de dos cámaras con forma cilíndrica (12cm de diámetro y 13 cm de altura) (Véase figura 1). Estas se dividieron por la mitad transversalmente para conformar la cámara anódica y catódica, separadas con una membrana intercambiadora de protones (Nafion N-117 Dupont Co.). En la cámara anódica se empleó como sustrato el lodo pretratado y se mantuvo en condiciones anaerobias con recirculación a 200 mL/min. En la cámara catódica se utilizó una solución nutritiva (Zhang

Figura 1.



et al., 2012, p. 44) y se mantuvo en aireación mediante un difusor de aire. Las CCM trabajaron por lotes, renovando los sustratos de cada cámara en cada nuevo ciclo (15-20 días), realizando en total 4 ciclos de operación. Para analizar los resultados, se utilizaron también reactores control con lodo sin

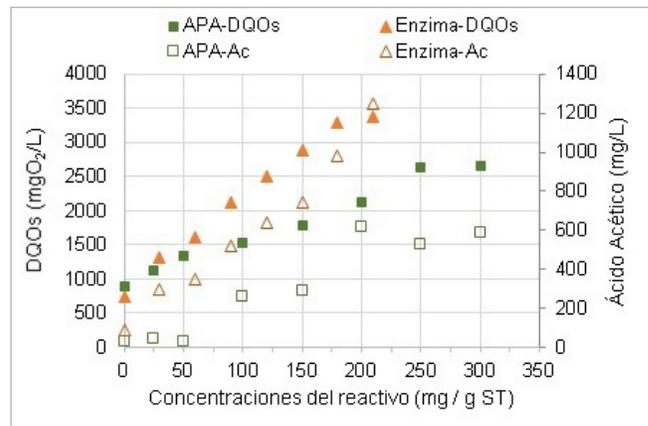
pretratamiento y todos los experimentos se realizaron por duplicado.

Para evaluar el desempeño de las celdas, se determinó la remoción de materia orgánica midiendo los Sólidos Suspendedos Volátiles (SSV), DQO total (DQOt) y DQO soluble (DQOs). Para evaluar la generación de energía, se midió el voltaje generado a circuito cerrado con una resistencia de 100 ohms entre ánodo y cátodo, empleando un sistema de adquisición de datos. Con ello, se calculó la corriente generada, la Densidad de Potencia (DP) y Densidad de Corriente (DC), las cuales se normalizaron respecto al volumen del anolito.

## Resultados

En los resultados preliminares, se logró incrementar la materia orgánica soluble, tanto con la enzima, como con el ácido peracético, aumentando la concentración de DQOs ( $\text{mgO}_2/\text{L}$ ) y ácido acético ( $\text{mg/L}$ ) conforme incrementó la dosis del reactivo (Véase figura 2). Comparando los resultados de solubilización y el costo de cada tipo de pretratamiento, se eligió aplicar en CCM las dosis de enzima 90 y 120 mg enzima/ g ST (E-90

Figura 2.

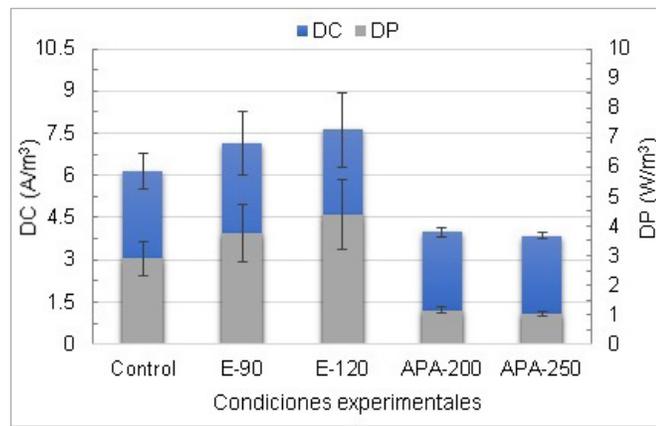


y E-120) y de ácido peracético 200 y 250 mg de APA/ g ST (APA-200 y APA-250).

En la segunda etapa experimental, se aplicaron las dosis seleccionadas de pretratamientos en el lodo residual para usarse como sustrato anódico en las CCM. Los resultados de producción de energía y remoción de materia orgánica se analizaron estadísticamente por medio de la prueba T, con una significancia de  $\alpha=0.05$ , tomando los valores de los cuatro

ciclos que se llevaron a cabo. Como se muestra en resultados del desempeño eléctrico (Véase figura 3), se tuvo mayor densidad de corriente y densidad de potencia en los reactores con pretratamiento enzimático en comparación con el control, sin que existieran diferencias significativas. La mayor producción de corriente se obtuvo con E-120 logrando  $7.61 \pm 1.32 \text{ A/m}^3$  de DC y  $4.4 \pm 1.1 \text{ W/m}^3$  de DP, a

Figura 3.

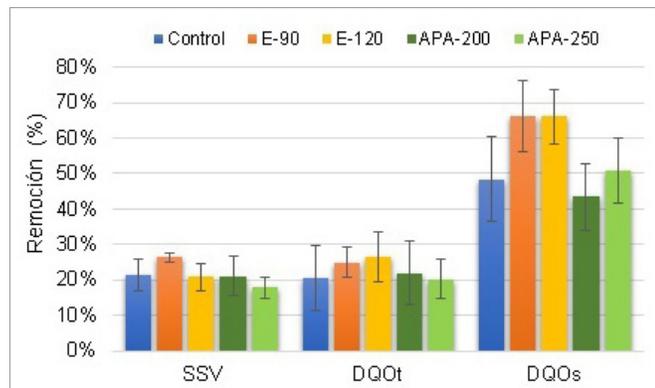


diferencia del control que tuvo  $6.15 \pm 0.6 \text{ A/m}^3$  y  $2.8 \pm 0.5 \text{ W/m}^3$ .

En contraste, el pretratamiento con APA tuvo un efecto negativo significativo en la generación de energía en comparación con el lodo sin pretratamiento. Se piensa que esto puede deberse a que los compuestos formados durante el pretratamiento contienen subproductos de oxidación como los aldehídos (Dell'Erba *et al.*, 2007, p.180), los cuales pudieron haber causado inhibición en los microorganismos.

En cuanto a la remoción de materia orgánica (Véase figura 4), solo se observaron diferencias significativas en la remoción de DQOs, teniendo superiores remociones máximas con E-90 (73%) y E-120 (79%) en comparación con el control (58%). Respecto a los SSV y DQOt no hubo diferencias significativas entre las condiciones probadas y se tuvieron valores por debajo del 40%. Este valor se encuentra por debajo de los reportados en literatura (Geng *et al.*, 2021, p. 229616; Ayol *et al.*, 2021, p. 29534) por lo que se plantea que no se tuvo un buen desarrollo de una comunidad con

Figura 4.



microorganismos hidrolíticos y fermentativos que estabilizaran completamente el lodo residual.

## Conclusiones

Los métodos de pretratamiento de lodo residual con ácido peracético y enzima  $\alpha$ -amilasa a temperatura ambiente (22-28°C), lograron incrementar satisfactoriamente la concentración de materia orgánica soluble del analito, pero esto no generó una mejora significativa en el desempeño eléctrico de las celdas.

Se encontró que el pretratamiento con APA tuvo un impacto negativo significativo en la generación de corriente, relacionado posiblemente a una inhibición en los microorganismos. Por último, el pretratamiento enzimático tuvo las más altas densidades de corriente y de potencia y una mejora significativa en la remoción de DQOs. 💧

## Bibliografía

- Ayol A., Biryol I., Taskan E., Hasar H. (2021). Enhanced sludge stabilization coupled with microbial fuel cells (MFCs). *International Journal of Hydrogen Energy*. 46, 29529-29540.
- Dell'Erba A., Falsanisi D., Liberti L., Notarnicola M., Santoro D. (2007). Disinfection by-products formation during wastewater disinfection with peracetic acid. *Desalination*. 215, 117-186.
- Fernández-Hernández F. J., Pérez A., Salar-García M. J., Ortiz-Martínez V.M., Lozano-Blanco L. J., Godínez C., Tomás-Alonso F., Quesada-Medina J. (2015). Recent progress and perspectives in microbial fuel cells for bioenergy generation and wastewater treatment. *Fuel Processing Technology*. 138, 284-297.
- Geng Y., Yuan L., Liu T., Li Z., Zheng X., Sheng G. (2021). In-situ alkaline pretreatment of waste activated sludge in microbial fuel cell enhanced power production. *Journal of Power Sources*. 491, 229616.
- Mian M., Liu G., Fu B. (2019). Conversion of sewage sludge into environmental catalyst and microbial fuel cell electrode material: A review. *Science of the Total Environment*. 666, 525-539.
- Slate, A. J., Whitehead, K. A., Browson, D. A. y Banks, C. E. (2019). Microbial fuel cells: An overview of current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 60-81.
- Yu H., Zhao Q., Dong Q., Jiang J., Wang K., Zhang Y. (2018). Electronic and metagenomic insights into the performance of bioelectrochemical reactor simultaneously treating sewage sludge and Cr(VI)-laden wastewater. *Chemical Engineering Journal*. 341, 495-504.
- Zhang G., Zhao Q., Jiao Y., Wang K., Lee D., Ren. (2012). Efficient electricity generation from sewage sludge using biocathode microbial fuel cell. *Water research*. 46:43-52.

## LOS RETOS QUE ENFRENTAN LOS ORGANISMOS OPERADORES DE AGUA EN VERACRUZ

MELISSA GÓMEZ DÍAZ.

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES JURÍDICAS - UNIVERSIDAD VERACRUZANA.



**Resumen.** El estado de Veracruz cuenta con un alto nivel de disponibilidad de recursos hídricos en comparación con otros estados de la república. Sin embargo, a nivel estatal se registra el 88.1% de población con acceso a los servicios de agua potable (INEGI:2015), por debajo de la media nacional que es del 95.30% (Conagua:2015). Para lograr la seguridad hídrica en la entidad se requiere de inversión en infraestructura, desarrollo de capacidades y desarrollo de proyectos. Para el gobierno del estado y las autoridades en los niveles de la toma de decisiones representa un reto incrementar la cobertura de agua potable y saneamiento en las localidades

rurales donde se observa la brecha de desigualdad en la disponibilidad de agua. En este artículo se presenta un análisis general de las dificultades que enfrentan los organismos operadores de agua en Veracruz en materia financiera, administrativa y normativa.

**Palabras Clave:** Organismos Operadores de Agua, acceso al agua, localidades rurales, financiamiento, infraestructura y normatividad.

### 1. Planteamiento General

A nivel global la evidencia científica advierte que los efectos del cambio climático están afectando la

disponibilidad de agua. El incremento de las temperaturas y las variaciones en la precipitación del ciclo del agua están causando escasez de agua en algunas regiones del territorio nacional. La insuficiencia de este líquido y la falta de infraestructura hidráulica en nuestros tiempos hace que el agua se considere como el oro azul. (Nieto:2011).

Otras problemáticas sociales como la migración de las zonas rurales a las urbanas a causa de la falta de productividad de sus tierras por las severas sequías en sus regiones. Por otro lado, la sobrepoblación humana que demanda del agua y sobre pasa los niveles de disponibilidad. De acuerdo, al Programa Mundial de Evolución de los Recursos Hídricos de la Unesco en 2019, reveló que el aumento del uso de agua hasta el 2050 se prevé que el incremento sea del 30% y los sectores con mayor demanda el doméstico e industrial.

En México el porcentaje de la cobertura nacional de acceso al agua entubada es del 95.3%, incluye la zona urbana 97.8% y la rural 87.0%. En cuanto a los servicios de agua entubada en la vivienda o predio 94.4%, para las zona urbana 97.2% y la rural

85.0%. Mientras que el acceso a los servicios de alcantarillado y saneamiento básico 92.8%, urbana 97.4% y rural 77.5% y finalmente la cobertura de alcantarillado a red pública o fosa séptica 91.4% en las zonas urbanas 96.6% y rural 74.2% (Conagua:2018) tal como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1.

	<b>Cobertura nacional de acceso al agua entubada (95.3%)</b>		<b>Cobertura nacional de agua entubada en la vivienda o predio (94.4%)</b>	
	Urbana (97.8%)	Rural (87.0%)	Urbana (97.2%)	Rural (85.0%)
	<b>Cobertura nacional de acceso a los servicios de alcantarillado y saneamiento básico (92.8%)</b>		<b>Cobertura nacional al alcantarillado a red pública o fosa séptica (91.4%)</b>	
	Urbana (97.4%)	Rural (77.5%)	Urbana (96.6%)	Rural (74.2%)

Fuente: Conagua:2018.

Es evidente la baja cobertura de los servicios públicos de agua en las zonas rurales. Esto significa que se debe ampliar los esfuerzos en infraestructura hídrica en las localidades rurales y comunidades indígenas. La dispersión de núcleos

pequeños poblacionales dificulta el acceso a los servicios públicos agravando la brecha de desigualdad en este sector de la población.

En Veracruz el porcentaje de población con acceso a los servicios de alcantarillado y saneamiento básico a nivel estatal 87.6%, en las localidades urbanas 95.19% y en localidades rurales 76.95% por debajo del promedio nacional. (INEGI:2015). Esta ampliamente estudiado que la brecha en infraestructura hídrica sólo se puede alcanzar con finanzas públicas sanas que incrementen el capital y los flujos del sector privado. Existe una creciente evidencia entre la relación causal de seguridad hídrica y crecimiento económico.

## 2. Problemáticas de los Organismos Operadores en Veracruz

La Comisión de Aguas en el Estado de Veracruz (CAEV), es la encargada de proporcionar los servicios públicos de agua en la entidad, cuenta con 69 organismos desconcentrados distribuidos en las zonas norte, centro y sur del estado. Las oficinas operadoras en la entidad es la CAEV quien

tiene la responsabilidad de asesor, auxiliar y proporcionar asistencia técnica de conformidad con lo establecido en el artículo 71, fracción XI de la Constitución Local. En tanto, los ayuntamientos en términos de lo dispuesto en la Ley Orgánica del Municipio Libre deben prestar directamente o a través de los organismos operadores los servicios públicos de agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de aguas residuales.

El marco jurídico de Veracruz contempla diversos cuerpos normativos que regulan los recursos hídricos en la entidad, dando cumplimiento a lo establecido en el artículo 8 párrafo tercero de la Constitución Política del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, que a la letra dice: *“El Estado garantiza a todas las personas el derecho de acceso a los servicios de agua potable, en cantidad suficiente y en condiciones de seguridad y calidad para satisfacer necesidades personales y domésticas”*.

Los principales problemas que se observan en los sistemas operadores del servicio de agua en Veracruz son financieros, técnicos, administrativos y normativos. En primer lugar, las tarifas son aproba-

das por el cabildo municipal que en su mayoría son establecidas bajos criterios políticos y aprobadas por la legislatura local y estas no se encuentran alineados con objetivos de sostenibilidad financiera.

En el plano organizacional la CAEV está integrada por la Dirección General, y tres subdirecciones: a) de infraestructura de operación; b) de mantenimiento y; c) de administración. Esta estructura organizacional se observa limitativa en las funciones que desempeña. El artículo 21 de la Ley de Aguas del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, establece que son facultades discrecionales del Ejecutivo del estado es la designación del director general de la Comisión, esto limita la autonomía de dicho organismo.

Los problemas técnicos que se observan en las oficinas operadoras de agua en Veracruz, los continuos tandeos en las diferentes colonias de la capital del estado. No cuenta con un monitoreo eficiente hacia el uso que le dan los usuarios al agua, bajo el argumento de que no hay recursos para contratar personal, igualmente no existe la aplicación de sanciones, mismas que se encuentran previstas en

los reglamentos internos para la dirección de agua potable. (Fabre, Ortiz y Busso:2019:73)

En términos financieros y técnicos destacan la falta de actualización de los padrones de usuarios que pagan el servicio de agua. La medición del uso de agua sigue siendo un reto para la mayoría de los organismos operadores a nivel nacional. La falta de pago por parte de los usuarios esta mermado los ingresos propios de las oficinas operadoras en Veracruz. Es urgente cuestionarnos como administrar los recursos hídricos (escasos) para satisfacer la demanda (inagotable), solo esto puede lograrse con la implementación de una política pública sustentada en un modelo sostenible. (Fierro:2021)

Los escasos ingresos que obtienen los organismos operadores son insuficientes para mantenimiento, operatividad e invertir en infraestructura hídrica que garantice el servicio. El problema del sector del agua es la dependencia que existe con los recursos públicos del gobierno federal y estatal (subsídios).

La realidad es que cada aspecto del manejo tiene un costo, desde su medición, la construc-

ción, operación y mantenimiento de grandes obras hidráulicas. Por ello, resulta necesario mejorar la eficacia de los sistemas financieros de agua en la movilización de capital privado para inversiones en seguridad hídrica.

Pesé a la situación del sector hídrico en México, existe una idea arraigada entre los usuarios del servicios del agua que este debe ser gratuito o de bajo costo. Siendo que actualmente el agua es escasa y la demanda es muy alta. Estos servicios los deben pagar por los usuarios. Es responsabilidad de gobierno y la sociedad generar en las próximas generaciones una cultura del cuidado de agua (valorar los recursos hídricos).

Desde una perspectiva mundial no existe un patrón general de financiamiento de agua, que resuelva en la totalidad los problemas de abastecimiento de agua. Sin embargo, el análisis de modelos o sistemas que han resuelto problemas específicos en la materia, deben ser estudiados bajo una perspectiva de sustentabilidad financiera.

Atacar los problemas estructurales en materia financiera y normativa requiere que la voluntad de

los agentes políticos y demás autoridades en niveles de toma de decisiones generen las acciones necesarias para fortalecer el sistema financiero del agua y garanticen el derecho humano al agua. El respeto a este derecho es una condición indispensable para su garantía y ejercicio de otros derechos humanos como el de la salud. 💧

## Referencias bibliográficas

Banco Interamericano de Desarrollo, Raúl Delgado, Huáscar Eguino y Aloisio López *Política fiscal y cambio climático: experiencias recientes de los ministerios de finanzas de América Latina y el Caribe*. Washington, D.C

Berdegú Julio (2021). *Gobernanza del Agua en América Latina, desafíos tras el Covid-19*, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), recuperado <http://www.fao.org/americas/representante/discursos/gobernanza-del-agua/es/>

Comisión Nacional del Agua. (2018). *Estadísticas del Agua en México*, Ed. Ciudad de México, recuperado [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)

Comisión Nacional del Agua (2021) recuperado <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=coberturaUniversal&ver=grafica&o=0&n=estatal>

Castro José Esteban, (2007). *La privatización de los servicios de agua y saneamiento en América Latina* [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108998/DSAPAS\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/108998/DSAPAS_2015.pdf)

Fabre, Ortiz y Busso, (2019). *Agua. Territorialidades y dimensiones de análisis*. Ed. Resistencia SA de CV- México. Pág. 72 Recuperado <http://www.veracruz.gob.mx/medioambiente/wpcontent/uploads/sites/8/2019/09/Libro-Agua-TyDA-2019-ManoVuelta.pdf>

Fierro Pedro Roberto, (2020). Economía hídrica recuperado <https://www.elheraldodechiihuahua.com.mx/analisis/economia-hidrica-6051516.html>

Houbron Eric, Calidad del Agua. (2010). *Atlas del patrimonio natural, histórico y cultural de Veracruz; Gobierno del Estado de Veracruz – Comisión del Estado de Veracruz para la Conmemoración de la Independencia Nacional y la Revolución Mexicana- Universidad Veracruzana, Xalapa; Ver. Pág. 150*. Recuperado [https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec\\_veracruzsigloXXI/PatrimonionaturalVeracruz/PatrimonionaturalVeracruz2.pdf](https://www.sev.gob.mx/servicios/publicaciones/colec_veracruzsigloXXI/PatrimonionaturalVeracruz/PatrimonionaturalVeracruz2.pdf)

Inegi, (2020) *La Población de Veracruz de Ignacio de la Llave*. Recuperado <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/ver/poblacion/distribucion.aspx?tema=me&e=30>

Nieto, Nubia. (2011). La gestión del agua: tensiones globales y latinoamericanas. Política y cultura, (36), 157-176. Recuperado en 27 de septiembre de 2021, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-77422011000200007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-77422011000200007&lng=es&tlng=es).

Veracruz gobierno del Estado, Nuestro Estado, recuperado <http://www.veracruz.gob.mx/turismo/nuestro-estado/>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO). 2019. *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. París, UNESCO.

# PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN LA PLAYA DE SABANCUY, CAMPECHE

ANGEL GABRIEL KUC CASTILLA.  
UNIVERSIDAD INTERNACIONAL IBEROAMERICANA.



## Resumen

El análisis y comprensión de la variabilidad de la línea de costa, así como las tendencias de erosión-acreción son importantes para orientar los procedimientos de gestión costera.

Este estudio se enfoca en la detección y evaluación de los cambios en la línea costera a fin de proponer la medida de protección más adecuada contemplando a los ecosistemas presentes en la playa de Sabancuy, en Campeche, México.

## Introducción

La zona costera puede definirse como la franja en donde la tierra, el mar y la atmósfera interactúan.

En este espacio confluyen aspectos demográficos, económicos, ecológicos y geográficos, donde el uso de la tierra y las características ambientales afectan directamente las condiciones ecológicas marinas y viceversa (De la Lanza y Cáceres, 1994).

Los procesos que gobiernan la dinámica litoral como la variación de aporte de sedimentos y los cambios de energía originados por el oleaje y las corrientes marinas causan diferencias en el ancho, pendiente y forma de las playas, los cuales varían durante las diferentes épocas del año. Actualmente, el papel de la actividad antropogénica también ha contribuido a modificar la zona litoral, desde el momento que se

construyen vías de comunicación, infraestructura energética y petrolera, hoteles, casas, restaurantes, etc., en su parte continental, hasta la construcción de muelles, espigones, escolleras, rompeolas en la parte marina, alterando el transporte litoral y la morfología de la playa (Torres et al., 2010).

La playa de Sabancuy ubicada en la zona sur del estado de Campeche, presenta un severo proceso de erosión debido a la interrupción del flujo de sedimentos ocasionado por las obras de protección y rectificación de un canal de navegación artificial que se construyó en 1980, para unir el estero de Sabancuy con el Golfo de México y así mejorar las interacciones ecológicas de este hábitat y hacer más eficiente la operación pesquera de la zona. El grado de erosión ha puesto en estado de riesgo el ecosistema de la playa, así como la integridad estructural de la Carretera Federal 180, la cual es una arteria principal que comunica a la Península de Yucatán con el resto del país. Dicho proceso erosivo ha amplificado el daño producido por las tormentas que periódicamente se presentan en la región, al grado que la playa ha perdido toda capacidad de

autorrecuperación. Debido a esto, es necesario establecer un plan urgente de intervención para lo cual, a su vez, resulta imprescindible profundizar en el conocimiento del funcionamiento físico del sistema con el fin de diseñar estrategias adecuadas para la mitigación de la erosión y la consecuente recuperación del sistema.

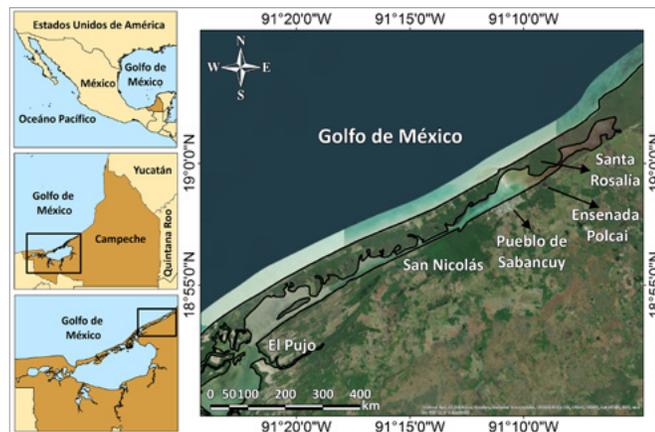
### Caso de estudio

El estero de Sabancuy se localiza en la región oriental del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos (APFFLT) en las coordenadas 18°59'10''N y 91°10'31''O (Carranza-Edwards et al., 1975) a 130 km de la ciudad de San Francisco de Campeche y a 85 km de ciudad del Carmen (*Véase Figura 1*).

El clima de la región es cálido-húmedo con tres estaciones distintas: secas (febrero a abril), lluvias (mayo a octubre) y “nortes”, o tormentas de invierno (noviembre a enero) (Agraz et al., 2015).

La playa de Sabancuy es arenosa de baja y mediana energía (excepto en épocas de nortes), tiene poca pendiente aunque llega a ser dinámica

Figura 1. Localización de Sabancuy.



lo cual cambia totalmente su conformación a través del año por efecto del transporte litoral que modifica continuamente el perfil de playa (Universidad Autónoma del Carmen, 2018).

## Desarrollo

Para el análisis de la variación del litoral de Sabancuy se utilizaron imágenes satelitales obtenidas de la

base de datos de Google Earth para el período 2004 – 2015 y por medio de un Sistema de Información Geográfica (SIG) se digitalizó la línea de costa considerando la zona intermareal interpretada de cada una de las imágenes para posteriormente obtener el desplazamiento entre los diferentes años.

Los datos usados para el análisis y caracterización del oleaje se obtuvieron del módulo de reanálisis del modelo WAVEWATCH III (WWIII). Los datos de oleaje (altura de ola significativa,  $H_s$ , periodo pico,  $T_p$ , y dirección de incidencia,  $Dir$ ) se extrajeron del elemento de la cuadrícula de cálculo ubicado en las coordenadas  $19.3334^\circ$  N y  $-91.3333^\circ$  O, a 40 km de la costa, para el periodo comprendido entre 2005 - 2018.

El modelo XBeach es la herramienta elegida para estimar la propagación del oleaje, la velocidad de corrientes y los cambios morfológicos (Roelvink et al., 2009).

Para realizar las modelaciones matemáticas de la costa de Sabancuy los datos de entrada necesarios fueron los siguientes:

- Modelo topobatimétrico: el dominio computacional usado abarca un área de 80 km<sup>2</sup> (aproximadamente 15.5 km de largo por 5.2 km de ancho).
- Parámetros de oleaje de tormenta: se contemplaron 13 diferentes condiciones de oleaje para representar el número promedio de tormentas que ocurren anualmente en el área de estudio.
- Datos de marea astronómica y de tormenta: se generó el pronóstico de la marea en la zona de estudio a partir de componentes de marea obtenidas de trabajos previos (Pulido, 2011) y se consideró una altura de marea de tormenta de 0.93 m (Posada et al., 2010).

## Resultados

Como resultado se obtuvo que la playa al este del canal artificial ha ganado 70,933 m<sup>2</sup> de playa seca, en tanto que en la playa en el sector oeste del canal muestra un retroceso de 15,766 m<sup>2</sup> de playa seca.

De acuerdo con las características observadas en la costa se determinó que la mejor alternativa para el control de la erosión desde el punto de vista inge-

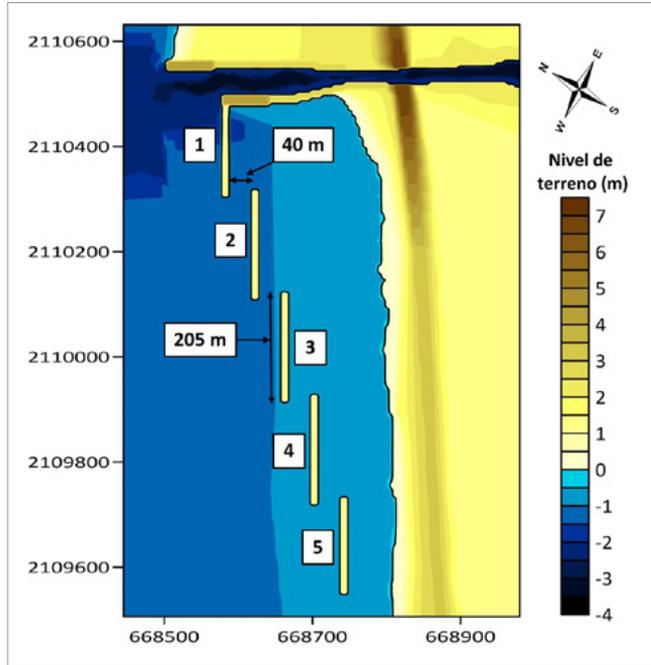
nieril y que tenga el menor impacto negativo en el ecosistema, es la colocación de diques exentos en combinación con un relleno artificial de playa que ayude a la regeneración de las dunas.

Como propuesta se tiene la construcción de 5 diques de forma paralela y a diferentes distancias de la costa (215 m el más alejado y 55 m el más cercano), protegiendo una longitud de 1 km (*Véase Figura 2*). Para las dimensiones de la sección transversal en los diques se considera un ancho de corona de 2 m, 17 m para la base y un francobordo de 1.35 m, conformado por cubos de concreto de 1 m de diámetro y 2400 kg de peso.

Respecto al volumen de arena necesario para el relleno de playa se estimó para un periodo de vida de 5 años un total de 15,000 m<sup>3</sup>, apoyado con vegetación de duna de especies nativas de la zona.

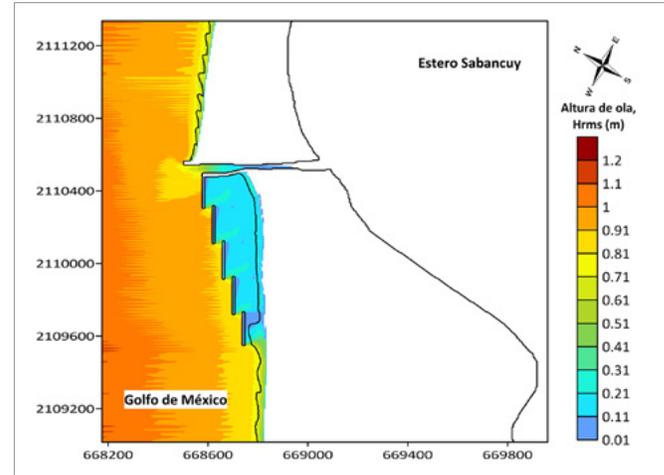
La simulación numérica del comportamiento de la playa protegida con la colocación de las estructuras de protección, muestra oleaje con alturas que no superan los 0.3 m (*Véase Figura 3*), velocidades de corriente que varían de 0.2 a 0.6 m/s (*Véase Figura*

Figura 2. Localización de diques propuestos.



4) y cambios menores en la morfología de la playa (Véase Figura 5).

Figura 3. Altura de ola media cuadrática (Hrms).



## Conclusiones

Los resultados de la simulación hidrodinámica muestran que los diques son capaces de disminuir la energía del oleaje de tormenta, evitando el arrastre de arena de la playa hacia el mar. Respecto al relleno de playa, se obtuvo pequeños cambios en el perfil de la playa, lo que nos demuestra la efectividad de los diques.

Figura 4. Velocidad y dirección de corrientes.

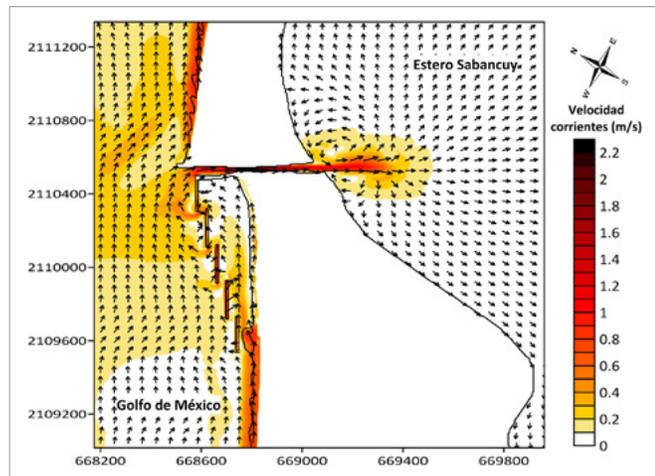
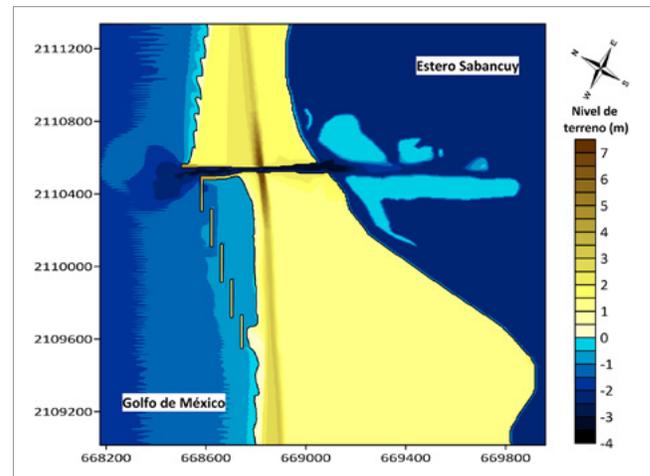


Figura 5. Morfología de la playa con estructuras de protección.



Los resultados obtenidos muestran un panorama de cómo sería el comportamiento de la costa ante la presencia de sistemas de protección costera, los cuales pueden mejorarse al considerar un plan de gestión y monitoreo constante de la playa que permita generar una base de datos robusta. 💧

## Bibliografía

- Agraz, C. M., Chan, C. A., Iriarte-Vivar, S., Posada, G., Vega, B., y Osti, J. (2015). Phenological variation of *Rhizophora mangle* and ground water chemistry associated to changes of the precipitation. *Hidrobiológica*, 25(1), 49–61.
- Carranza-Edwards, A., Gutiérrez-Estrada, M., y Rodríguez, R. (1975). Unidades morfotectónicas continentales de las costas mexicanas. *Anales Del Centro De Ciencias Del Mar Y Limnología*, 2(1), 81–88.
- De la Lanza, G., y Cáceres, C. (1994). *Lagunas costeras y el litoral mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Posada, G., Durán, G., Silva, R., Maya, M. E., y Salinas, J. A. (2010). Vulnerability to coastal flooding induced by tropical cyclones. *Coastal Engineering 2010*, 1–14.
- Pulido, A. J. (2011). *Identificación de marea de tormenta para el estado de Campeche por medio de sensores de presión*. Universidad Autónoma de Campeche.
- Roelvink, D., Reniers, A., van Dongeren, A., van Thiel de Vries, J., McCall, R., y Lescinski, J. (2009). Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56(11), 1133–1152.
- Torres, V., Márquez, A. Z., Bolongaro, A., Chavarria, J., Expósito, G., y Márquez, E. (2010). Tasa de erosión y vulnerabilidad costera en el estado de Campeche debidos a efectos del cambio climático. En A. V. Botello, S. Villanueva-Fragoso, J. Gutiérrez, & J. L. Rojas (Eds.), *Vulnerabilidad de las zonas costeras mexicanas ante el cambio climático* (pp. 325–344). Semarnat-INE, UNAM-ICMyL, Universidad Autónoma de Campeche.
- Universidad Autónoma del Carmen. (2018). *Programa de Protección y Conservación de Tortugas Marinas en Campeche*.

# APLICACIÓN DE UN BIORREACTOR CON MEMBRANAS SUMERGIDAS (BRMS) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA COSMÉTICA

NÉSTOR DANIEL MACÍAS-ACOSTA.

UNAM, PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA AMBIENTAL,  
CAMPUS IMTA.

PETIA MIJAYLOVA NACHEVA.

INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA (IMTA),  
COORDINACIÓN DE TRATAMIENTO Y CALIDAD DEL AGUA.

## Resumen

Se evaluó la eficiencia de un biorreactor con membranas sumergidas (BRMS) en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria cosmética. El sistema experimental consistió en un tanque de 5 L con licor mezclado, dentro del cual se sumergió un módulo de membranas de ultrafiltración. Se aplicó un pretratamiento por coagulación-sedimentación, con el fin de reducir las concentraciones de sólidos, aceites y materia orgánica. El BRMS se operó durante 152 d, considerando tres etapas en las que el tiempo de residencia hidráulica (TRH)

y el tiempo de retención de sólidos (TRS) fueron variados de 2.8 a 1 d y de 27.5 a 20.7 d, respectivamente. Las mejores condiciones de operación fueron: TRH de 2.8 d, TRS de 27.5 d, cargas orgánicas de  $2.06 \pm 0.16 \text{ kgCOD m}^{-3} \text{ d}^{-1}$  y  $0.27 \pm 0.02 \text{ kgCOD kgSSVLM}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ; lográndose remociones del 93.6% de la DQO y 89.3% del color.

## Introducción

La composición de las aguas residuales de la industria cosmética varía en función del perfil productivo



(Naumczyk *et al.*, 2014, p. 541); no obstante, es común que presenten elevadas concentraciones de materia orgánica, colorantes, sólidos suspendidos, grasas, aceites y detergentes (Tobajas *et al.*, 2014, p. 2955). Asimismo, se ha demostrado que contienen compuestos catalogados como contaminantes emergentes. Por ello, los efluentes cosméticos no deben descargarse al ambiente sin un tratamiento previo (Bello *et al.*, 2018, p. 70). Con el propósito de atender esta problemática, se han estudiado diversos métodos fisicoquímicos y biológicos convencionales, obteniéndose resultados satisfactorios (Zhang *et al.*, 2015, p. 1606). Sin embargo, los requisitos cada vez más estrictos en materia de agua, así como la oportunidad de reuso, instan la aplicación de tecnologías capaces de remover incluso los contaminantes más persistentes de la forma más económica posible (Monsalvo *et al.*, 2014, p. 12663; Awad y Abdel, 2013, p.681).

Los biorreactores con membranas son considerados una tecnología prometedora que combina los procesos de biodegradación y filtración en una misma unidad, razón por la cual representan un

gran avance con respecto a los procesos biológicos convencionales (Friha *et al.*, 2014, p. 125). Bajo esta óptica, en el presente trabajo se evaluó el rendimiento de un biorreactor con membranas sumergidas (BRMS) en el tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética.

## Desarrollo

### Agua residual cosmética:

El agua residual cosmética se obtuvo de una planta industrial dedicada a la fabricación de shampoos, desodorantes y cremas. Esta se encuentra ubicada en el municipio de Jiutepec, Morelos. Todas las muestras recolectadas se trasladaron al laboratorio de tratamiento de aguas residuales del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), donde se almacenaron a 4°C.

Debido a las altas concentraciones de sólidos, materia orgánica y aceites presentes en el agua, se implementó un proceso de coagulación-sedimentación como pretratamiento. Para encontrar el tiempo de agitación y pH de operación más convenientes, se

realizaron varias pruebas de jarras en un equipo marca Phipps and Bird, modelo PB-700. Durante dichas pruebas se utilizó una solución de sulfato de aluminio  $[Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O]$  al 5% p/v y se evaluaron tres valores de pH (6, 7 y 8), a diferentes tiempos de agitación (1 y 5 min), con un mezclado rápido a 300 rpm, una dosis de  $40.4 \text{ mgAl}^{3+} \text{ L}^{-1}$  y un tiempo de sedimentación de 30 min.

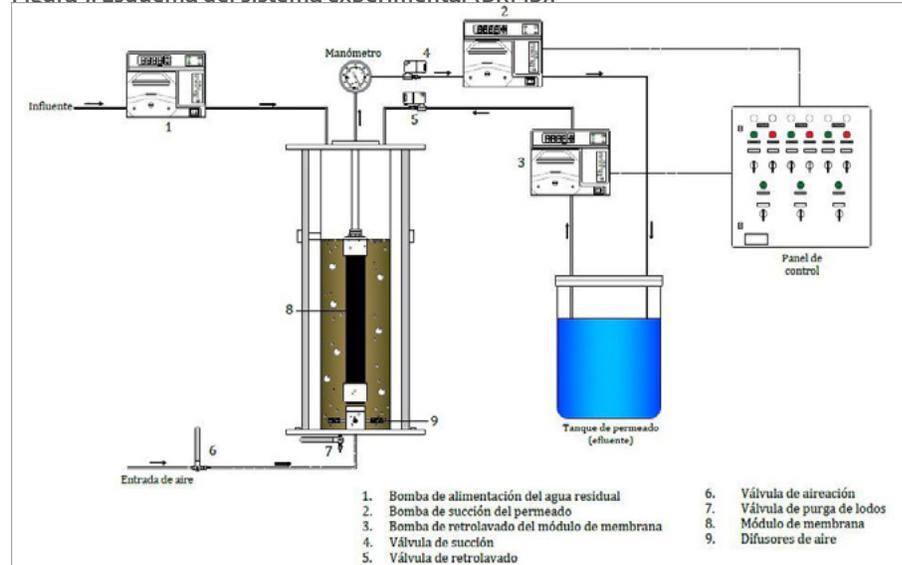
### Configuración experimental:

El BRMS consistió en un tanque cilíndrico de acrílico de 5 L con licor mezclado, en el cual fue sumergido un módulo de membranas de ultrafiltración de fibra hueca. En la parte inferior del tanque se instalaron difusores de aire de piedra porosa, cuya función fue mantener

un ambiente aerobio para el crecimiento de las bacterias degradadoras, homogeneizar el licor mezclado y disminuir el ensuciamiento de la membrana.

La alimentación del biorreactor, la obtención del permeado y los retrolavados se efectuaron por medio de bombas peristálticas marca Masterflex L/S, modelo 7524-40; estas fueron controladas por medio de válvulas solenoides conectadas a un panel electrónico (Véase Figura 1).

Figura 1. Esquema del sistema experimental (BRMS).



### Operación del BRMS:

El proceso biológico comenzó con la aclimatación de las bacterias al efluente industrial. Para esto, dos reactores biológicos secuenciales (RBS) de 6 y 12 L fueron inoculados con biomasa proveniente de un reactor de lodos activados perteneciente a la planta de tratamiento de aguas residuales del IMTA. Las fases del proceso RBS se realizaron a temperatura ambiente y de forma manual en ciclos de 24 h, distribuidas de la siguiente manera: llenado (0.5 h), reacción (21.5 h), sedimentación (1 h), extracción (0.5 h) y reposo (0.5 h). Esta fase tuvo una duración de 138 d.

Una vez aclimatada la biomasa, se inició con la operación del BRMS, considerando una

etapa de estabilización, en la cual la biomasa se adaptó a las nuevas condiciones de operación en flujo continuo, y tres etapas experimentales, en las que se aplicaron diferentes cargas orgánicas (en la primera etapa se aplicó la carga más baja y después se incrementó sucesivamente). Asimismo, se varió caudal (Q) y los tiempos de residencia hidráulica (TRH) y de retención de sólidos (TRS) (Véase Tabla 1). El sistema se operó durante 152 d y su desempeño fue evaluado mediante la remoción de materia orgánica (DQO) y color.

Tabla 1. Condiciones de operación del BRMS.

Etapa experimental	Duración (d)	Q (L d <sup>-1</sup> )	TRH (d)	TRS (d)	A/M (kg DQO kg SSVLM <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	COV (kg DQO m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	SSVLM (mg L <sup>-1</sup> )
<b>Estabilización</b>	34	1.4±0.4	3.8±1	48.5±21	0.22±0.03	1.58±0.36	6,822±1,009
<b>1</b>	30	1.8	2.8	27.5	0.27±0.02	2.06±0.16	7,657±103
<b>2</b>	43	2.5	2.0	24.7	0.36±0.02	2.74±0.13	7,503±188
<b>3</b>	45	5.0	1.0	20.7	0.61±0.02	4.55±0.13	7,451±130

### Resultados

Para el desarrollo de este estudio, se recolectaron y caracterizaron cuatro lotes de agua residual cosmética. Inicialmente el agua recibió un pretratamiento mediante coagulación-sedimentación, con el cual se obtuvieron remociones del 46.2%, 90.5%, 90.6% y 91.2% para DQO, color, turbiedad y SST, respectivamente. Esto se logró bajo las siguientes condiciones de operación: Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> al 5% p/v, dosis de 40.4 mgAl<sup>3+</sup> L<sup>-1</sup>,

pH de 7 y 5 min de agitación a 300 rpm. Las características del agua residual cruda y pretratada se presentan a continuación.

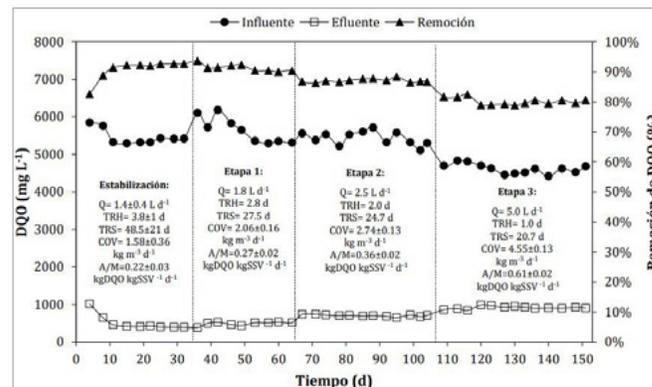
Tabla 2. Características del agua residual cosmética.

Parámetro	Unidad	Agua Cruda	Agua Pretratada
pH	U pH	6.9±0.3	7.27±0.28
Conductividad	μS cm <sup>-1</sup>	1123±629	1840±1039.5
Temperatura	°C	25±1	23.85±4.25
Color	Pt-Co	9038±2413	1013±410
Turbiedad	UTN	2505±705	192.5±96.5
ST	mg L <sup>-1</sup>	2932±992	ND
SST	mg L <sup>-1</sup>	738±188	110±14
SSV	mg L <sup>-1</sup>	547±127	77.2±11
DQO	mg L <sup>-1</sup>	8961±1150	5300±880
DQO <sub>5</sub>	mg L <sup>-1</sup>	4916±344	ND
DBO	mg L <sup>-1</sup>	4201±652	2920
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.02±0.01	0.01
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	0.5±0.4	0.2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg L <sup>-1</sup>	1.4±0.5	1.1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg L <sup>-1</sup>	8.3±2.7	5.7
SAAM	mg L <sup>-1</sup>	1397	ND
G y A	mg L <sup>-1</sup>	158	14.8

ND: No determinado.

En la Figura 2 se muestran las concentraciones de DQO en el influente y efluente (permeado) del BRMS, así como las remociones alcanzadas. Obsérvese que los valores en el influente variaron desde 4,419 mg L<sup>-1</sup> hasta 6,180 mg L<sup>-1</sup>, lo cual se atribuye al uso de distintos lotes de agua residual.

Figura 2. Eficiencia del BRMS en la remoción de materia orgánica (DQO).



Del mismo modo, se observó que los intencionales incrementos del caudal y la carga orgánica

provocaron una disminución en el desempeño del BRMS y, por ende, que los valores de la DQO en el efluente aumentaran (Véase Tabla 3). La razón de esto estriba en la acumulación de sustancias difícilmente biodegradables dentro del biorreactor.

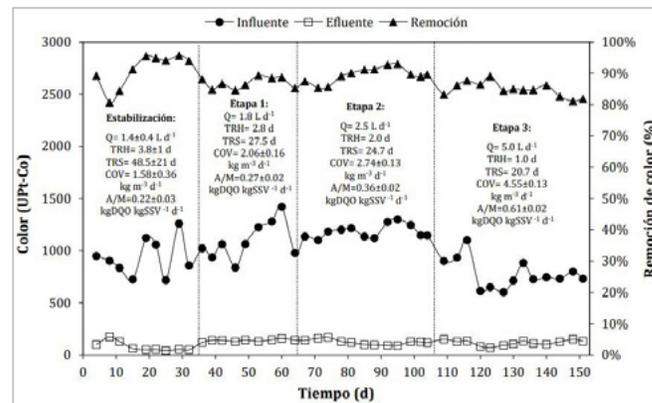
Tabla 3. Valores promedio de la DQO y porcentajes de remoción en el BRMS.

Etapa experimental	Influyente (mg L <sup>-1</sup> )	Efluente (mg L <sup>-1</sup> )	Remoción (%)
Estabilización	5,570±280	709±312	87.85±4.85
1	5,735±445	463±74	91.80±1.80
2	5,413±303	697±46	87.25±1.05
3	4,625±206	919±74	80.62±1.80

Ahora bien, en la Figura 3, se ilustran los resultados obtenidos respecto al color, en donde se aprecia una considerable variabilidad de las concentraciones en el influente, que van desde 603 UPt-Co a 1,423 UPt-Co. La explicación más sensata a tal variación es que la eficiencia del pretratamiento

aplicado a los distintos lotes de agua residual previo a la entrada del sistema biológico fue inconsistente; causando así, valores dispersos del color en el influente.

Figura 3. Eficiencia del BRMS en la remoción de color.



En relación a lo anterior, el valor máximo del color en el efluente fue 174 UPt-Co; mientras que el mínimo fue 42 UPt-Co, obteniéndose remociones de entre el 80.7% y el 95.6%. Cabe destacar que, ni el TRH, ni la carga orgánica influyeron

significativamente en la eficiencia de remoción del color, por lo que se infiere que el proceso de filtración por membrana es el que intervino en mayor medida para tal efecto. En la Tabla 4 se presentan los valores del color en el influente y efluente, así como los porcentajes de remoción en cada etapa.

Tabla 4. Valores promedio del color y porcentajes de remoción en el BRMS.

Etapa experimental	Influente (UPt-Co)	Efluente (UPt-Co)	Remoción (%)
Estabilización	909±352	108±66	88.17±7.46
1	1,131±293	141±20	86.96±2.35
2	1,202±100	130±39	89.20±3.81
3	852±249	119±48	85.12±3.97

### Conclusiones

Se evaluó el rendimiento de un BRMS para la remoción de materia orgánica medida como DQO y color en aguas residuales provenientes de la industria cosmética. Aplicando una carga de 2.06±0.16

kgDQO m<sup>-3</sup> d<sup>-1</sup>, TRH de 2.8 d y TRS de 27.5 d, se alcanzaron eficiencias de degradación de hasta el 93.6% y 89.3% para la DQO y el color, respectivamente. El incremento de las cargas orgánicas provocó una disminución de la remoción de DQO, lo cual se atribuye a la acumulación de compuestos no biodegradables dentro del reactor.

En general, el BRMS podría considerarse como una tecnología eficiente en el tratamiento de efluentes cosméticos con alta carga orgánica; no obstante, no debe descartarse la opción de aplicar un tratamiento posterior con el fin de eliminar las sustancias poco biodegradables en el agua y, con ello, ésta pueda ser descargada al medio ambiente o reusada en el proceso industrial. 💧

## Bibliografía

- Awad, A. M., y Abdel, N. A. (2013). Electrochemical advanced oxidation of cosmetics waste water using IrO<sub>2</sub>/Ti-modified electrode. *Desalination and Water Treatment*, 53(3), 681-688.
- Bello, L. A., Omoboye, A. J., Abiola, T.O., Oyetade, J. A., Udorah, D. O., y Ayeola, E. R. (2018). Treatment technologies for wastewater from cosmetic industry - A review. *International Journal of Chemical and Biomolecular Science*, 4(4), 69-80.
- Friha, I., Karray, F., Feki, F., Jlaiel, L., y Sayadi, S. (2014). Treatment of cosmetic industry wastewater by submerged membrane bioreactor with consideration of microbial community dynamics. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 88, 125-133.
- Monsalvo, V. M., Lopez, J., Mohedano, A. F., y Rodriguez, J. J. (2014). Treatment of cosmetic wastewater by a full-scale membrane bioreactor (MBR). *Environmental science and pollution research international*, 21(22), 12662-12670.
- Naumczyk, J., Bogacki, J., Marcinowski, P., y Kowalik, P. (2014). Cosmetic wastewater treatment by coagulation and advanced oxidation processes. *Environmental Technology*, 35(5), 541-548.
- Tobajas, M., Polo, A. M., Monsalvo, V. M., Mohedano, A. F., y Rodriguez, J. J. (2014). Analysis of the operating conditions in the treatment of cosmetic wastewater by sequencing batch reactors. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13(12), 2955-2962.
- Zhang, C., Ning, K., Guo, Y., Chen, J., Liang, C., Zhang, X., ... Guo, L. (2015). Cosmetic wastewater treatment by a combined anaerobic/aerobic (ABR+UBAF) biological system. *Desalination and Water Treatment*, 53(6), 1606-1612.

# ENTRE AMNESIA Y MIOPIA URBANA: GENERACIÓN DE MOSQUITOS VECTORES EN EL HEDOR DE LA ETERNA PRIMAVERA

GIOVANNI MARLON MONTES MATA,  
RAFAEL MONROY ORTIZ.  
FACULTAD DE ARQUITECTURA,  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS, MÉXICO.

## RESUMEN

El síndrome urbano de “amnesia residual aguda y miopía residual severa” se manifiesta en 95% de las aguas residuales de los países subdesarrollados que no recibe tratamiento y se vierte a fuentes superficiales de agua. Dicho padecimiento, al parecer, se centra intencionalmente en el juicio y atención de los tomadores de decisiones, funcionarios públicos, científicos, técnicos..., cuando se trata de otorgar tratamiento a los residuos que brotan como pus de las llagas del subdesarrollo y que generan expresiones inesperadas. En esta investigación se analiza la relación inusual entre aguas residuales sin tratamiento y su papel como medios de incubación

de mosquitos transmisores en Cuernavaca, Morelos, México. Dicho fenómeno expone la potencial adaptación/diversificación de los mosquitos, así como de las enfermedades mismas en los resquicios urbanos, y hasta confronta el paradigma que reconoce la reproducción de los mosquitos vectores en agua limpia y en temporada de lluvias, y no en los encharcamientos generados por las aguas residuales sin tratamiento.

## I. INTRODUCCIÓN

El paradigma de verter efluentes sin tratamiento al medio ambiente ha convertido a barrancas y ríos en



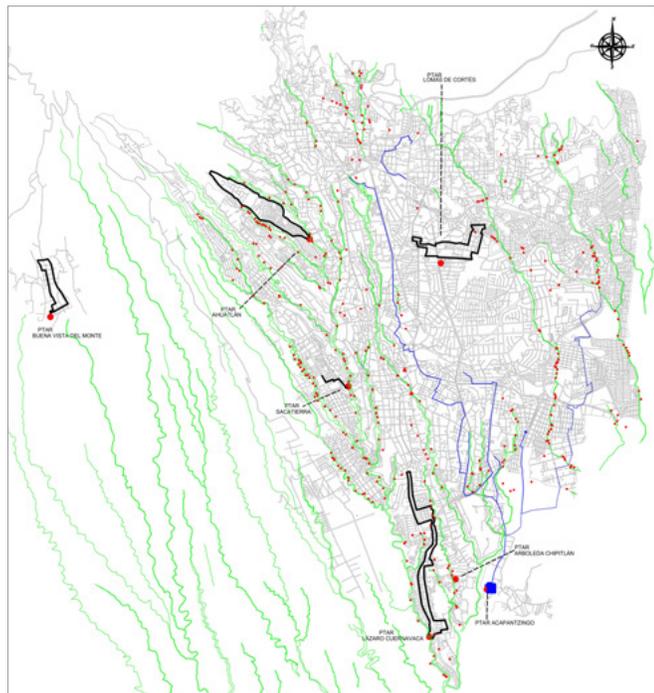
las *fosas sépticas del subdesarrollo*, volviéndose una acción constante y un grave problema que impacta en las condiciones de vida en los asentamientos urbanos de Cuernavaca, predominantemente desiguales. Estas fuentes de agua superficial no tienen oportunidad de recuperación dada la frecuencia y el volumen de residuos líquidos vertidos sin tratamiento (Batllori, 2001, p. 47-60).

Los datos oficiales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Estatal del Agua (CEAGUA) y el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de Cuernavaca (SAPAC) revelan una cobertura de centros de tratamiento, parte de los cuales no están funcionando u operan a menos del 20% de su capacidad, o en su defecto, registran un rango de influencia menor, dado su aislamiento de las redes de drenaje que no fueron pensadas para conectarse a dichos centros (Centro de Investigación Morelos Rinde Cuentas, 2018, p. 8-49; INEGI, 2010; Comisión Estatal del Agua, 2014-2018, p. 24-30). Según Montes y Monroy (2020), de 7 plantas de tratamiento, solo dos funcionan con capacidad para coleccionar y tratar menos

del 16%; resulta menos costoso para los responsables del municipio, *i*) sufrir del *síndrome urbano de amnesia residual aguda y miopía residual severa*, para retorcer la red de drenaje municipal y aprovechar los más de 505 km lineales de barrancas, *ii*) encender de vez en cuando algunas plantas de tratamiento para que la población de cuenta de la sensibilidad socio-ambiental de sus líderes políticos, *iii*) blindarse con licenciados en derecho penal en lugar de expertos en agua, saneamiento y salud para capotear sanciones o procesos legales por contaminar, *iv*) extender al máximo con amparos jurídicos acciones que intenten resolver el grave problema de contaminación para evadir la responsabilidad social, hasta heredar dichos problemas a la siguiente administración política, que también seguirá el mismo patrón, aunque prometa lo contrario (Montes y Monroy, 2020, p. 490-508), véase figura 1.

Las líneas de drenaje en la zona Centro-Oeste, Noroeste y Suroeste del municipio se han diseñado en función de la existencia de barrancas susceptibles de transformarse en las cloacas naturales de la ciudad. Poco vale tener centros de tratamiento

Figura 1. Barrancas, puntos de descarga y rango de influencia de las plantas de tratamiento.



Fuente: Elaboración propia con datos de (Montes y Monroy, 2020, p. 490-508 y SAPAC, 2008, p. 23).

municipales si las venas colectoras de aguas residuales no tienen conexión con las mismas; si bien existen *mausoleos de tratamiento* cuyo costo por emplazamiento superó los 100 millones de pesos, el raquíctico efluente colectado y tratado es devuelto nuevamente al caudal contaminado, con la salvedad de que ya se gastó dinero en su tratamiento. Tal pareciera que su construcción se basa en intenciones políticas en lugar de criterios urbanísticos locales, empañando la realidad ante la población quien observa como hierven sus residuos líquidos, además de sufrir efectos colaterales (Montes y Monroy, 2020, p. 490-508; SAPAC, 2008, p.23). De 311 puntos de descarga de efluente líquido proveniente de la red municipal y que es dirigido hacia la barranca más cercana, la mayor parte se concentra en la zona Centro-Oeste, Noroeste y Suroeste de la ciudad, justo donde predominan asentamientos irregulares.

Se estiman 15 millones de metros cúbicos al año vertidos en los puntos de descarga, lo cual significa que en las miles de viviendas en condiciones irregulares y ampliamente desiguales, no solo se suma

el atenuante de las aguas residuales sin tratamiento, sino *expresiones urbanas inesperadas* como infecciones gastrointestinales o embestidas de millones de mosquitos (Montes y Monroy, 2020, p. 490-508), véase figura 2.

## II. DESARROLLO

La estrategia metodológica incluyó la visita de 74 puntos de descarga como resultado de la muestra estadística representativa considerando un universo de 311 puntos de descarga, con el objeto de localizar criaderos potenciales de mosquitos vectores, y al mismo tiempo, recolectar muestras en charcos contaminados para su análisis en laboratorio. En estas se Identifican larvas recolectadas del cuarto estadio en microscopio estereoscópico, con base en claves de identificación larval de mosquitos comunes en las áreas urbanas y suburbanas de la república mexicana. Asimismo, se recolectaron huevos, larvas y pupas de mosquitos en frascos sin alcohol independientes a las muestras, para observar el proceso de metamorfosis hasta que los mosquitos alcanzaron su fase adulta. Se analizó la distribución territorial de

Figura 2. Picaduras junto a los asentamientos miseria.



Fuente: Tomas propias

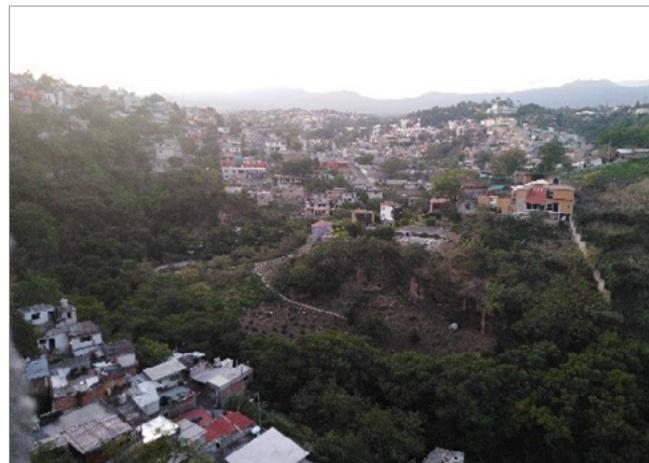
los casos de “dengue no grave” distribuidos en los centros de salud de Cuernavaca, así como su correlación con los puntos de descarga de agua residual y puntos positivos de mosquitos vectores.

### III. RESULTADOS

El hallazgo tiene que ver con estancamientos de color negro que parecen en *estado de ebullición*, aunque no por alcanzar los 100°C, sino por la presencia de los *maromeros* o *retorcedores* cuya cantidad parece en momentos cubrir charcos como en disputa por el líquido contaminado. Para dimensionar la magnitud preliminar del fenómeno, calculamos que en un rango de 4 km de barranca con disturbios, existen poco más de 60 encharcamientos, todos repletos de huevos, larvas, pupas, y moscos hembra engendrando y disponiendo los huevos nuevamente, dejando todo listo para repetir el ciclo y garantizar su supervivencia. En efecto, las barrancas no solo hacen las veces del segundo sistema de drenaje de la ciudad, sino de *cámaras de incubación* de huevos, pupas y larvas de mosquitos transmisores, véase figura 3.

Las características morfológicas de las larvas encontradas y su preliminar análisis de laboratorio con claves de identificación, indican que pertenecen a las especies de *aedes albopictus*, *aedes aegypti*, *culex quinquefasciatus*, *culex stigmatosoma*, y *culex*

Figura 3. Medios de incubación de mosquitos en puntos de descarga



Fuente: Tomas propias

*tarsalis*; debido a la contingencia sanitaria mundial por la COVID-19 no se ha logrado concluir con dicho análisis larval de las 74 muestras, por lo que se desconoce la magnitud y proporción hasta retomar dichas pruebas. Del análisis territorial de los

puntos de descarga, los puntos positivos con larvas y la distribución de “dengue no grave” en los Centros de Salud (CS), se puede apreciar que existe una relación al parecer causal, más no concluyente, ni definitiva. Pero, es cierto que donde existe una mayor concentración de puntos de descarga y a su vez una menor condición de higiene y saneamiento, existe proporcionalmente un número de casos de “dengue no grave” y puntos de incubación de mosquitos. Por el contrario, en el área territorial con infraestructura de drenaje y sin puntos de descarga hacia una barranca, no se identifican padecimientos, véase figura 4.

Figura 3.1



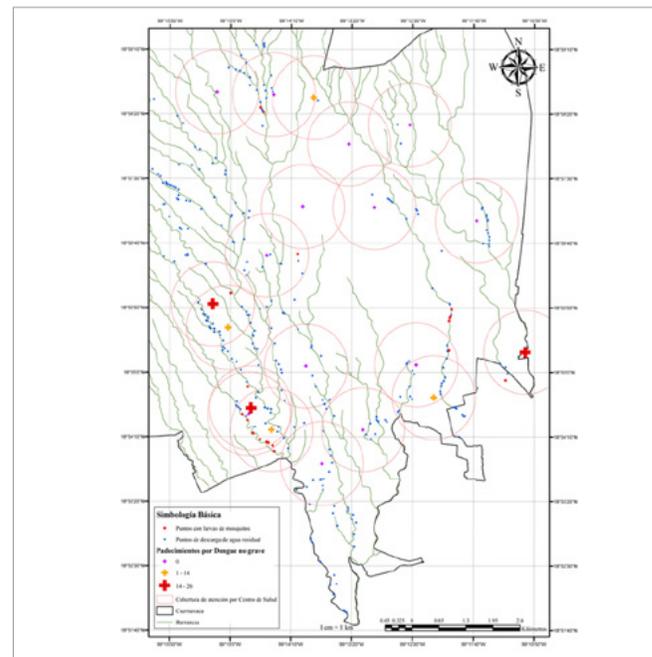
Figura 3.2



#### IV. CONCLUSIONES

El *síndrome urbano de “amnesia residual aguda y miopía residual severa”*, provoca expresiones urbanas inesperadas como la incubación de mosquitos que agudizan las peores condiciones de los sectores con mayor vulnerabilidad socio-económica. A pesar que poco se ha estudiado el fenómeno de criaderos de mosquitos transmisores en aguas residuales urbanas, el análisis y la evidencia recopilada confirman causalidad más no conclusión, pues más allá de respuestas, esta investigación ofrece amplios cuestionamientos replicables en el subdesarrollo ampliamente afectado por este fenómeno. 💧

Figura 4. Puntos de descarga, puntos positivos y padecimientos por dengue no grave distribuidos por CS



Fuente: Elaboración propia con datos de (Montes y Monroy, 2020, p. 490-508; Secretaría de Salud, 2018; Servicios de Salud Morelos, 2018; SEDESOL, 1999; INEGI, 2016).

## V. REFERENCIAS

- Batliori G., A. (2001). Los problemas ambientales del estado de Morelos: la educación como parte de la solución. *Gaceta Ecológica*, núm. 61, 2001, pp. 47-60
- INEGI, (2010). Censo de población y vivienda. Viviendas particulares habitadas por municipio, disponibilidad de energía eléctrica y agua según disponibilidad de drenaje y lugar de desalojo
- Comisión Estatal del Agua, (2014-2018). Programa Estatal Hídrico 2014-2018. pp. 24-30. Recuperado de: [https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu\\_planeacion/planea\\_estrategica/programas\\_sectoriales/15.PROGRAMA\\_ESTATAL\\_HIDRICO.pdf](https://www.hacienda.morelos.gob.mx/images/docu_planeacion/planea_estrategica/programas_sectoriales/15.PROGRAMA_ESTATAL_HIDRICO.pdf)
- Centro de Investigación Morelos Rinde Cuentas, (2018). SAPAC al borde del colapso. Plan ciudadano para salvarlo. Cuernavaca, Morelos. Recuperado de: [//www.morelosrindecuentas.org.mx/sapac/upload/sapac-estudio-2018.pdf](http://www.morelosrindecuentas.org.mx/sapac/upload/sapac-estudio-2018.pdf)
- Montes, G. y Monroy, R. (2020). Ravines of "Eternal Spring," the Second Drainage System of Cuernavaca. In: Otazo-Sánchez E., Navarro-Frómata A., Singh V. (eds) *Water Availability and Management in México*. Water Science and Technology Library, vol 999. Springer, Cham.
- SAPAC, (2008). "Informe de resultados de la revisión de la cuenta pública del Sistema de agua potable y alcantarillado del municipio de Cuernavaca (SAPAC); Auditoría especial del empréstito de 70 millones de pesos (Ejercicio 2006)". Periódico oficial, Cuernavaca, 26 marzo, p. 23.
- Servicios de Salud Morelos, (2018). Directorio de unidades médicas. Servicios de Salud Morelos. Recuperado de [evaluacion.ssm.gob.mx/directorioum/](http://evaluacion.ssm.gob.mx/directorioum/)
- Secretaría de Salud Morelos, (2018). Respuesta de Secretaría de Salud Morelos al oficio No. SAPS/DRSAPS/643/2018. Respuesta a petición de la plataforma de transparencia folio 00231718. *Petición estadística de las enfermedades registradas en 23 unidades de atención ambulatoria del municipio de Cuernavaca*. Ficha técnica 2017.
- SEDESOL, (1999). Sistema normativo de equipamiento urbano 1999. Tomo II. Salud y asistencia social. (Subsecretaría de desarrollo Urbano y vivienda. Dirección general de infraestructura y equipamiento), pdf.
- INEGI, (31/05/2016). 'Áreas geoestadísticas municipales, 2016', escala: 1:250000. Edición: 2016. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.

# ABASTO DE AGUA Y COSECHA DE LLUVIA DESDE UNA PERSPECTIVA SOCIO-TÉCNICA: EL CASO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

JORGE ADRIÁN ORTIZ MORENO.

INSTITUTO DE ESTUDIOS DEL DESARROLLO, UNIVERSIDAD DE SUSSEX



## Resumen

El presente artículo busca adentrarse a la inequidad en la distribución y acceso a los servicios de agua y saneamiento desde una perspectiva socio-técnica. Es decir, contemplando los diferentes aspectos sociales y tecnológicos que condicionan las infraestructuras mediante las que se proveen dichos servicios. En este sentido, se presenta a la Ciudad de México como estudio de caso, haciendo particular énfasis en el reciente impulso a la instalación de sistemas de cosecha de lluvia como una alternativa de infraestructura descentralizada en barrios excluidos o con acceso deficiente a los servicios de agua potable. Además de presentar un marco analítico que

ilustra el contexto socio-técnico del abasto de agua en la capital mexicana, esta contribución invita a aproximarse a los sistemas de infraestructura desde perspectivas que reconozcan las inequidades estructurales que las condicionan.

## Introducción

Las redes de infraestructura son esenciales para el funcionamiento de las ciudades porque permiten la provisión de servicios básicos. Desde finales del siglo XIX su expansión masiva se convirtió en uno de los pilares de la modernidad que pronto comenzó a extenderse alrededor del mundo (Gra-

ham & Marvin, 2001). A más de un siglo de distancia, sin embargo, en la mayoría de las ciudades del *Sur Global*<sup>1</sup> aún persiste una *modernidad incompleta* donde servicios esenciales como el agua potable y el saneamiento, a pesar de ser reconocidos como derechos humanos por las Naciones Unidas, siguen siendo generalmente limitados, intermitentes y pueden resultar incosteables para las poblaciones en condiciones de pobreza (Gandy, 2004; Mitlin et al., 2019).

Desde América Latina hasta el Sureste de Asia, el acceso a los servicios básicos suele ser profundamente inequitativo. De hecho, en algunas ciudades se ha documentado que la modernización diferenciada de la infraestructura hidráulica ha contribuido a perpetuar sistemáticamente la escasez de agua que experimentan las poblaciones más pobres (Graham et al., 2015; Kooy & Bakker, 2008). En estas circunstancias, resulta pertinente aproximarse a la infraestructura urbana contemplando las diferentes condiciones sociales a partir de las que se construye

la segregación que impide garantizar un acceso universal y equitativo al agua y el saneamiento. En otras palabras, es necesario entender a la infraestructura no solo como un arreglo de artefactos físicos, como las tuberías y los acueductos, sino también de rasgos y elementos políticos y culturales.

A través del presente artículo se discute el abasto de agua en la Ciudad de México desde una perspectiva socio-técnica, contemplando sus diferentes aspectos sociales y tecnológicos. Particularmente, se analiza el reciente impulso de la cosecha de agua de lluvia como una alternativa de infraestructura descentralizada ante las fallas de cobertura y servicio del sistema local de agua, que afectan mayoritariamente a los residentes de barrios marginados.

## Desarrollo

### El caso de la Ciudad de México

La Ciudad de México vive una crisis diferenciada, mientras que en algunos barrios se subsiste con apenas 20 litros diarios de agua por persona, en las zonas acomodadas de la ciudad el consumo puede

<sup>1</sup> Aunque la diferenciación entre Norte y Sur Global no es precisa, puede ser útil para hacer explícitas las disparidades asimétricas entre los países ricos de Europa, Norte América y Asia, y el resto del mundo, que coincidentemente se encuentra al sur geográfico del planeta (Hollington et al., 2015).

ser ilimitado (Tortajada & Castelán, 2003). De acuerdo a Tellman et al. (2019), actualmente alrededor de 148,000 residentes viven en condiciones de alta precariedad hídrica y social. La mayoría de ellos sin acceso a la red de agua potable y a expensas de obtener el recurso a través de camiones cisterna, llamados *pipas*, ya sean privados o subsidiados por agencias gubernamentales. Esta alternativa además de insuficiente y contaminante, es bastante más costosa que las tarifas del servicio formal.

En este contexto, durante la última década se ha impulsado la instalación de sistemas de cosecha de lluvia como una alternativa para suplementar el acceso al agua y al mismo tiempo reducir la demanda del sistema durante la temporada de lluvias. La influencia de esta tecnología ha crecido de tal manera que en 2019 el gobierno de la ciudad lanzó un programa social con el objetivo de instalar 10,000 sistemas domésticos de cosecha de lluvia en los barrios con mayores niveles de escasez hídrica y marginalidad social.

## La perspectiva socio-técnica

Un abordaje socio-técnico consiste en el entendimiento de las relaciones entre las tecnologías y las prácticas sociales desde una perspectiva no determinista (Thomas, 2008). Es decir, que las infraestructuras no se determinan social o tecnológicamente de manera exclusiva, porque sus elementos técnicos se construyen socialmente de la misma manera que sus elementos sociales se condicionan tecnológicamente. Como resultado, los sistemas urbanos de infraestructura pueden entenderse como ensamblajes socio-técnicos interconectados para satisfacer servicios como el agua potable, transporte, energía, saneamiento, entre otros.

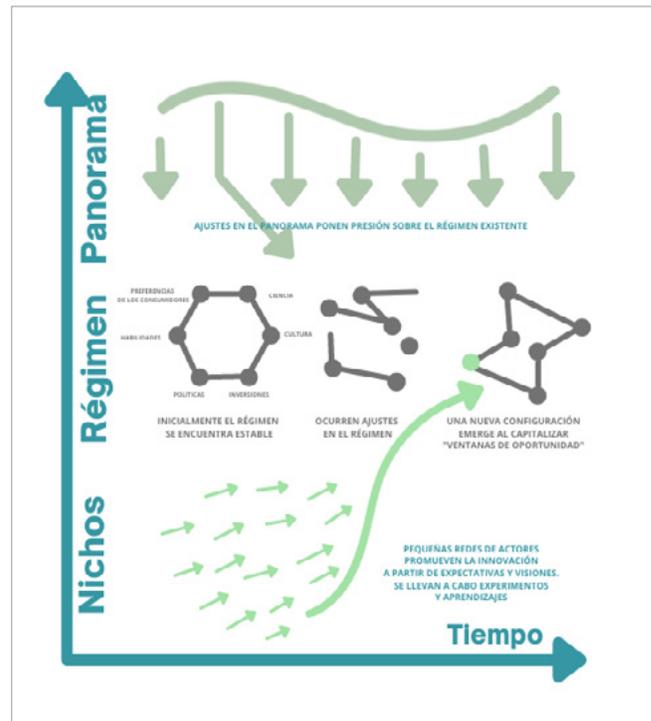
Durante las últimas dos décadas se ha ido consolidando una creciente discusión académica enfocada en descifrar cómo se pueden impulsar *transiciones* socio-técnicas encaminadas hacia la sostenibilidad (Köhler et al., 2019). En este sentido, un cúmulo importante de la literatura sugiere que éstas ocurren como resultado de interacciones a través de tres niveles analíticos<sup>2</sup> (Véase Figura 1):

<sup>2</sup> Adaptado de Geels (2004) y Geels y Schot (2010).

- Los *panoramas socio-técnicos*, que refieren a las tendencias estructurales de largo plazo, es decir, los paradigmas y estructuras políticas y económicas, entre otras, que influyen en los sistemas de infraestructura.
- Los *regímenes socio-técnicos*, que consisten en el conjunto de reglas, artefactos, prácticas e instituciones que hacen funcionar los sistemas de infraestructura.
- Los *nichos*, que representan pequeñas redes de actores y conocimiento a partir de las que se crean innovaciones con potencial de desencadenar cambios en los regímenes.

A partir de estas categorías, a continuación, se presenta un marco analítico generado específicamente para el estudio de caso, enfocado en el surgimiento de la cosecha de agua de lluvia en el contexto socio-técnico del abasto de agua en la capital mexicana.

Figura 1. Perspectiva de multinivel de las transiciones socio-técnicas<sup>3</sup>.

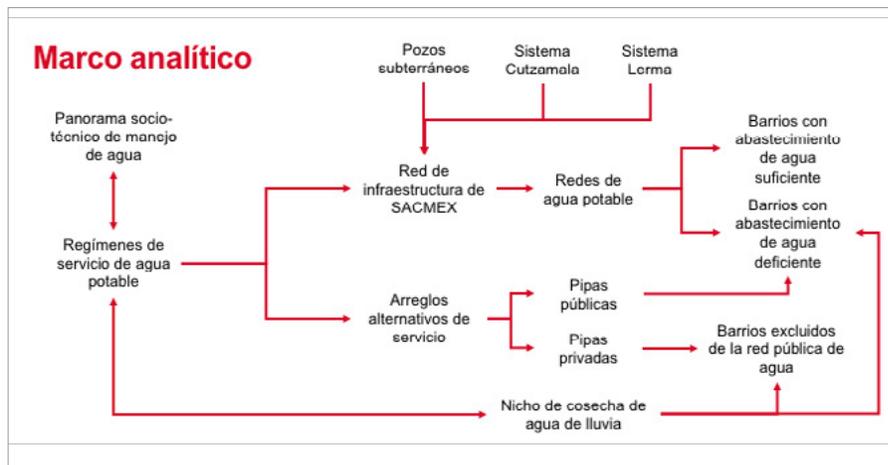


3 Adaptado de Geels (2002).

## El contexto socio-técnico de la Ciudad de México

El presente marco analítico identifica empíricamente los principales constructos teóricos provenientes de la literatura que han sido aquí mencionados (Véase Figura 2). En primer lugar, se reconoce un panorama socio-técnico conformado principalmente por tendencias de política y gobernanza asociadas al manejo del agua, que influyen en los dos principales regímenes socio-técnicos a partir de los cuales se provee el servicio de agua potable: uno formal que consiste en la red de infraestructura del Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) y una serie de arreglos alternativos, principalmente operados a través de pipas, que han surgido

Figura 2. Marco analítico del estudio de caso.



para abastecer a aquellos barrios excluidos del régimen formal o que padecen de un servicio deficiente.

Es en este contexto donde se ha creado un nicho que, hasta el momento sin competir con los arreglos alternativos documentados, ha servido para proveer soluciones de infraestructura descentralizada para quienes habitan en barrios que se encuentran fuera de la red pública o que cuentan con un servicio deficiente.

## Conclusiones

Las redes de infraestructura no solo se componen de ensamblajes tecnológicos sino también de las condiciones sociales y culturales que las hacen funcionar y les dan forma. Bajo este entendido, resulta relevante aproximarse a las infraestructuras hidráulicas urbanas desde perspectivas que reconozcan las inequidades estructurales que las condicionan. Además, particularmente en ciudades del Sur Global, es imprescindible incorporar al análisis a las infraestructuras alternativas, como los sistemas de cosecha de lluvia, que surgen cuando los sistemas de infraestructura no logran proveer servicios de forma universal y confiable.

El estudio de caso presentado en esta oportunidad representa solo un breve acercamiento al entendimiento de los servicios urbanos de agua y saneamiento desde una perspectiva socio-técnica. Para que nuestras ciudades rompan con la *modernidad incompleta* que mantiene a millones sin acceso o con acceso deficiente a los servicios urbanos básicos es necesario entender mejor a nuestros sistemas de infraestructura para así fomentar su transición hacia la sostenibilidad. 💧

## Bibliografía

- Gandy, M. (2004). Rethinking urban metabolism: water, space and the modern city. *City*, 8(3), 363–379. <https://doi.org/10.1080/1360481042000313509>
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33, 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Geels, F. W., & Schot, J. (2010). The Dynamics of Transitions: A Socio-Technical Perspective. *Transitions to Sustainable Development: New Directions in the Study of Long Term Transformative Change*, (2010), 1–93. <https://doi.org/10.4324/9780203856598>
- Graham, S., Desai, R., & McFarlane, C. (2015). De-networking the poor: Revanchist urbanism and hydrological apartheid in Mumbai. En O. Coutard & J. Rutherford (Eds.), *Beyond the Networked City* (Primera edición, pp. 114–137). London: Routledge.
- Graham, S., & Marvin, S. (2001). *Splintering urbanism: networked infrastructures, technological mobilities and the urban condition*. London: Routledge.
- Köhler, J., Geels, F. W., Kern, F., Markard, J., Onsongo, E., Wieczorek, A., ... Wells, P. (2019). An agenda for sustainability transitions research: State of the art and future directions. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 31, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2019.01.004>
- Kooy, M., & Bakker, K. (2008). Splintered networks: The colonial and contemporary waters of Jakarta. *Geoforum*, 39(6), 1843–1858. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2008.07.012>
- Lawhon, M., Le Roux, L., Makina, A., Nsangi, G., Singh, A., & Sseviiri, H. (2020). Beyond southern urbanism? Imagining an urban geography of a world of cities. *Urban Geography*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/2723638.2020.1734346>
- Mitlin, D., Beard, V. A., Satterthwaite, D., & Du, J. (2019). *Unaffordable and Undrinkable: Rethinking Urban Water Access in the Global South. Towards a More Equal City*. Washington, DC.
- Tellman, E., de Alba, F., Serrano-Candela, F., Rodríguez-Izquierdo, E., Ruiz-Durazo, E., Echeverría-Estrada, C., ... Flores-Alejandro, I. (2019). *Captación de lluvia en la CDMX: Un análisis de las desigualdades espaciales*. Mexico City.
- Thomas, H. (2008). Estructuras cerradas versus procesos dinámicos: trayectorias y estilos de innovación y cambio tec-

nológico. En H. Thomas & A. Buch (Eds.), *Actos, actores y artefactos: Sociología de la tecnología* (pp. 217–289). Bernal: Universidad Nacional de Quilmes.

Tortajada, C., & Castelán, E. (2003). Water management for a megacity: Mexico City Metropolitan Area. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(2), 124–129. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.2.124>

# EL AGUA Y LAS RELACIONES INTERCOMUNITARIAS POR LA SALUD EN LA MICROCUENCA LAS JOYAS EN AHUACOTZINGO GUERRERO

NATASHA MYLENA QUEVEDO-CASTAÑÓN,  
MARÍA ELENA MATÍAS ARCOS,  
JOALINÉ PARDO NÚÑEZ.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTADO DE JALISCO A.C.



## Resumen

El agua es un elemento prioritario en la salud, donde las principales problemáticas de acceso y saneamiento merman la calidad de vida de millones de personas en el mundo. Las comunidades indígenas son la población más afectada en México ya que carecen de servicios básicos y han sido históricamente olvidadas por las autoridades, ante lo cual, han consolidado su autogestión basada en sus usos y costumbres para hacerles frente. Por lo que el caso de la Microcuenca Las Joyas en Ahuacotzingo, Guerrero descrito en este trabajo muestra cómo el proceso de fortalecimiento de las relaciones intercomunitarias resulta una estra-

tegia efectiva en la gestión hídrica ante problemáticas de salud comunitaria.

Palabras claves: Microcuenca Las Joyas, Monitoreo Comunitario, Relaciones Intercomunitarias

## Introducción

El agua y la salud comunitaria están estrechamente relacionados y cualquier alteración en su calidad afecta directamente a la población que la ocupa. Esto representa un desafío para México donde existe una distribución desigual de servicios, en el que menos del 50% de su población tiene acceso al

agua diaria (CONAGUA, 2020), siendo el estado de Guerrero uno de los más rezagados y con alta incidencia en mortalidad infantil por enfermedades diarreicas asociadas a falta de higiene prevenibles con acceso al agua y saneamiento (CONAPO, 2000). Si bien se han implementado en las últimas décadas programas para erradicar esta problemática, las comunidades indígenas continúan siendo las más afectadas por lo que históricamente han utilizado la gestión comunitaria como una estrategia para solventar los vacíos institucionales, la cual está basada en sus usos y costumbres, así como de la ciencia campesina que han desarrollado en el conocimiento de su recurso hídrico y su relación con el medio ambiente.

### Microcuenca Las Joyas

La microcuenca las Joyas se encuentra en el municipio de Ahuacutzingo, Guerrero en la región centro del estado. Su orografía es accidentada con pendientes pronunciadas de 900 a 1300 msnm por donde recorren afluentes que nutren el Río Petatlán, Pochuapa y Mitlancingo pertenecientes a la Región

Hidrográfica IV subregión Alto Balsas. Las localidades que conforman esta microcuenca se han asentado a los márgenes de los ríos tributarios desde la época prehispánica siendo la comunidad Nahua y Tlapaneca la de mayor presencia. Actualmente esta zona tiene un alto rezago social, con el 60% de su población en pobreza extrema de los cuales menos del 50% tienen acceso a agua corriente, saneamiento y servicios de salud (CONEVAL, 2021). No obstante, continúa su aumento poblacional y su actividad agrícola-pecuaria que sin planes de ordenamiento territorial han ido degradando las condiciones ambientales y su calidad del agua. Durante el ejercicio 2008, diversas comunidades de la microcuenca fueron beneficiadas con recursos provenientes del Programa para la Construcción y Rehabilitación de Sistemas de Agua Potable y Saneamiento en Zonas Rurales (PROSSAPYS), en algunos casos para la construcción del sistema de alcantarillado sanitario y saneamiento, y en otros con inclusión de planta de tratamiento, pero él no considerar a las comunidades en su construcción y abandonándolos a su operación se convirtieron en focos puntuales de contami-

nación donde las aguas residuales se desbordan sobre los arroyos afectando el ambiente escalando y permeando en la salud comunitaria de la microcuenca generando conflictos intercomunitarios.

### **Gestión Comunitaria e Intercomunitaria del Agua en la Microcuenca las Joyas**

El agua no solo representa un elemento indispensable para la vida en las comunidades de Las Joyas, sino que tienen una cosmovisión ancestral en el cual existe una relación mítica de comunicación con sus dioses. Su calendario agrícola está en función del ciclo del agua al cual continúan ofrendando año con año para el beneficio de sus cosechas, en los cuales existe una coordinación intercomunitaria para el acompañamiento y realización de actividades colectivas. Esta relación íntima con el agua ha favorecido que dentro de sus estructuras comunitarias existan autoridades encargadas de su resguardo (Matías, 2020, pág. 30-31). Estas son elegidas de manera popular en asambleas comunitarias siguiendo sus usos y costumbres con periodos de duración cortos en los cuales su encomienda es la de gestionar, admi-

nistrar y desarrollar todas las actividades en torno a el agua de la comunidad y realizar alianzas con otras comunidades para la administración del recurso. Estas figuras simbólicas de autoridad se han logrado amalgamar con las figuras oficiales para un trabajo colaborativo donde se resguarda el bien común como eje rector. Esta estrategia les ha permitido conservar su cultura haciendo frente a las problemáticas usando su historia y aprendizaje comunitario y regional. Pero en la actualidad las dificultades son mayores a sus atribuciones y trascienden los límites geográficos haciendo que los problemas se sigan acumulando, llegando a afectar la salud comunitaria con la presencia de enfermedades gastrointestinales recurrentes en niños que acuden de forma recreativa a los cauces. Ante esta circunstancia y la falta de servicio médico continuo en la comunidad han buscado y reactivado alianzas y vinculaciones intercomunitarias para resolver el conflicto.

### **Vinculación con Organizaciones Sociales**

Las comunidades ante la ausencia institucional han logrado alianzas con organizaciones civiles compro-

medidas con los pueblos indígenas y el ambiente. En la microcuenca las Joyas el trabajo colaborativo con el Grupo de Estudios Ambientales A.C. (GEA A.C.) desde el 2006 ha permitido consolidar y resguardar sus estructuras comunitarias en torno al agua con el objetivo de empoderar sobre sus recursos naturales en búsqueda de la sustentabilidad (Isley, 2006). Se realizaron desde esa fecha hasta 2018, proyectos con metodologías participativas en las que se conformaron Comités del Agua que se incorporaron a las estructuras comunitarias, donde la población en general fue capacitada en aspectos teóricos y prácticos sobre la cuenca, su conservación, así como de ecotecnias de bajo presupuesto y la realización de cientos de obras para conservar, mitigar, prevenir y compensar las problemáticas del agua de la región. Sumado al tema del agua se trabajó sobre los procesos agroecológicos, de conservación y comercialización del mezcal y la educación ambiental (Isley, 2007 pág. 186-189), generando un semillero de jóvenes involucrados con la sustentabilidad de su entorno que pudieron confluír en los procesos de capacitación intercambiando experiencias y

generando redes de colaboración entre comunidades. Este proceso ha sido clave en la región en este momento donde los conocimientos y prácticas forman parte de la resolución de problemas de salud comunitaria en las cuales no solo se requiere del entendimiento técnico del problema sino de un trabajo colaborativo entre comunidades afectadas que surjan del diálogo y no del conflicto compartiendo que si bien la problemática se genera en comunidades específicas estas afectan a toda la cuenca. Sin embargo, para la resolución efectiva de la problemática también se necesita la presencia de expertos y académicos que compartan su experiencia, métodos e infraestructura, ya que las organizaciones tienen limitaciones en presupuestos y en proporcionar estas herramientas.

### Vinculación en proyectos de Investigación-Acción

Los técnicos y la academia tradicionalmente se han mantenido al margen de la resolución de problemáticas puntuales comunitarias, dejando su campo de acción a la producción científica y privada recu-

rriendo a prácticas de extracción de información de las comunidades lo cual ha generado que exista una desconfianza de estas a su presencia ya que no las vinculan con resoluciones. Sin embargo, con el cambio en la política de ciencia y tecnología de la administración actual se han abierto canales de dialogo donde la ciencia este al servicio de las problemáticas nacionales con generación de incidencia, lo que ha propiciado un acercamiento de centros de investigación. La Microcuenca las Joyas ha buscado la participación de proyectos de investigación-acción en su problemática de salud comunitaria en temas de calidad de agua y saneamiento. Desde 2019 forman parte de proyectos hidro agroalimentarios por la Soberanía Alimentaria, así como Proyectos semilla de PRONACE Agua donde convergen entidades académicas como el Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. en su consorcio con ADESUR y la Universidad de Chapingo, trabajando de manera horizontal y transdisciplinaria con las diferentes comunidades de la microcuenca y abordando de manera interdisciplinaria e integral

los procesos intercomunitarios que coadyuven a la capacitación y empoderamiento de las comunidades en la resolución de la problemática de agua actual y futuras de una manera autogestiva.

## Conclusiones

El agua y la salud comunitaria ha sido el eje unificador de diferentes actores y procesos de vinculación intercomunitaria, académica y con organizaciones civiles que muestran que las estrategias colaborativas logran un impacto positivo en la resolución de problemáticas, donde el aprendizaje es horizontal. 💧

Los autores agradecen al proyecto FORDECYT que lleva por nombre OPERACIÓN DE LA ALIANZA ESTRATÉGICA PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA REGIÓN PACÍFICO SUR (ADESUR).

## Bibliografía

CONAGUA (2020). Programa Nacional Hídrico 2020-2024. [https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa\[1\]nacional-hidrico-2019-2024-190499](https://www.gob.mx/conagua/articulos/consulta-para-el-del-programa[1]nacional-hidrico-2019-2024-190499).

CONAPO (2000) Índice de marginación por localidad 2000, México, 2002. [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Localidades\\_rurales](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Localidades_rurales)

CONEVAL (2021) Guerrero Informes anuales sobre la situación de pobreza y rezago social. Ahuacuotzióngo. 2021. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611365/Informe\\_anual\\_2021\\_mun\\_12002.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/611365/Informe_anual_2021_mun_12002.pdf).

Illsley Granich, Catarina et al., 2006. El Programa de Manejo Campesino de Recursos Naturales. Proyecto México Nación Pluricultural. Estado del desarrollo económico y social de los pueblos indígenas de Guerrero. México, UNAM.

Illsley Granich, Catarina., 2007. El Grupo de Estudios Ambientales, A.C.: entre la acción social y la consolidación institucional, 'Investigación y cambio social: desafíos para las ONG en Centroamérica y México', Editorial de Ciencias Sociales.

Matías, M. E. (2020). La política hídrica nacional y sus consecuencias en la gestión comunitaria del agua. Impluvium, 12, 28–33. <http://www.agua.unam.mx/assets/pdfs/impluvium/numero12.pdf>

# DISPONIBILIDAD DE AGUA Y SANEAMIENTO BÁSICO DURANTE LA PANDEMIA DE COVID-19 A PARTIR DE UNA EVALUACIÓN HIDROSOCIAL EN MÉXICO.

**FRANCISCO ANTONIO RAMÍREZ ROJAS.**

INVESTIGADOR INDEPENDIENTE, MAESTRO EN SALUD PÚBLICA  
CON ÁREA DE CONCENTRACIÓN AMBIENTAL POR EL INSP,  
CUERNAVACA, MORELOS, MÉXICO.

**MARÍA GUADALUPE RAMÍREZ ROJAS.**

INVESTIGADORA CÁTEDRAS CONACYT ADSCRITA AL CIESAS-SURESTE,  
DEPARTAMENTO DE ANTRPOLOGÍA MÉDICA, SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS,  
CHIAPAS, MÉXICO.

## Resumen

Se buscará evaluar a nivel de cuencas hidrológicas, escenarios de vulnerabilidad existentes en tres localidades de México que afectan a su población, incluyendo todas aquellas problemáticas relacionadas con el agua, como falta de saneamiento básico, la extracción intensiva de aguas subterráneas, escasez de agua, procesos contaminantes del agua, falta de acceso a servicios institucionales de salud y el impacto de la falta de un adecuado ordenamiento territorial, haciendo énfasis de aquellas prácticas

locales de gestión y uso del agua y de los conflictos sociales frente a la pandemia de la COVID-19. Con una metodología mixta de investigación se construirán indicadores de rezago social a partir de información de bases secundarias y se retomaran entrevistas realizadas a actores clave y autoridades locales y municipales, para poder entender condiciones de vulnerabilidad preexistentes antes de la pandemia y que se exacerbaron con la ocurrencia de la misma. Este es un trabajo en desarrollo.



## Introducción

El acceso del agua y saneamiento básico en México al igual que muchos otros países de todo el mundo atraviesa por situaciones de adversidad, conflictos sociales y devaluación sistemática de prácticas tradicionales de gestión del agua en muchas comunidades, los contextos urbanos o rurales no siempre están lo suficientemente visibilizados en cómo repercuten sobre la distribución equitativa de servicios relacionados con el acceso al agua y el saneamiento básico, por lo que el entendimiento de la realidad de diferentes grupos poblacionales, es fundamental para comprender a su vez a otros determinantes sociales de la salud.

Durante la pandemia por COVID-19 se observa como muchas condiciones de salud se exacerban al igual que las desigualdades sociales, en este momento se requiere de la higiene para poder hacer frente a la pandemia, es por eso por lo que la escasez o carencia del agua y de sistemas adecuados de saneamiento básico se vuelven críticos y tienen un impacto en la vida de millones de personas.

## Antecedentes

Relatores Especiales y Expertos Independientes de Procedimientos Especiales del Consejo de Derechos Humanos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), lo cuales son un mecanismo independiente de determinación de hechos y monitoreo del Consejo que abordan situaciones específicas y temáticas en todas partes del mundo, mencionaron que no se podrá parar la pandemia de COVID-19 sin proporcionar agua a las personas en situación de vulnerabilidad, por lo que el tener la capacidad de poder lavarse las manos con jabón y agua limpia de manera constante es vital en la lucha contra el COVID-19.

A partir de esta idea fue que se realizó la recomendación de que los gobiernos de todo el mundo deben garantizar que se proporcione acceso continuo al agua a poblaciones que viven en condiciones más vulnerables, por lo que la lucha mundial contra la pandemia tiene pocas posibilidades de éxito si la higiene personal, no está al alcance de 2.2 millones de personas que no tienen acceso a servicios de agua potable. Y se les pidió a los gobiernos prohíban cor-

tes de agua a quienes no puedan pagar las facturas de agua. (ONU, 2020)

El caso de México al igual que en muchas otras partes del mundo y sobre todo de aquellos países en vías de desarrollo es que existe un deterioro en la capacidad de garantizar la disponibilidad del vital líquido para la población, así como a brindar servicios de saneamiento básico, a lo que podemos ahondar que el caótico crecimiento de centros urbanos no se detiene aún con la falta de infraestructura física, lo que supone en el futuro una carestía todavía mayor, la manera en que los gobiernos a diversos niveles afrontan esta problemática es un reto que se complejiza ante la ocurrencia de la pandemia.

En las mismas palabras de los Relatores Especiales y Expertos Independientes de Procedimientos Especiales del Consejo de Derechos Humanos de la ONU:

*“Para las personas más privilegiadas, lavarse las manos con jabón y agua limpia – la principal defensa contra el virus – es un gesto sencillo. Pero para algunos grupos en todo el mundo es un lujo que no pueden permitirse”.* (ONU, 2020)

Esta expresión nos pone perfectamente en el contexto de lo que se buscará estudiar a través de la evaluación a nivel de cuencas hidrologicas, de aquellos escenarios de vulnerabilidad que existen en las poblaciones de tres localidades de México:

- Alpuéyeca, Morelos, ubicada en la periferia de la zona metropolitana de Cuernavaca, con características periurbanas, en esta localidad se está dando un proceso de conurbación en sus primeras etapas, de manera interna la localidad experimenta un crecimiento anárquico de la mancha urbana hacia terrenos anteriormente destinados para la agricultura y esto ocasiona que muchas viviendas terminen conviviendo en su cercanía inmediata con canales de distrito de riego, en esta localidad existe población indígena de origen Tlahuica.
- Zapopan, Jalisco, ubicada en la periferia de la zona metropolitana de Guadalajara, con características periurbanas, en esta localidad también se está dando un proceso de conurbación ya consolidado, por lo que existen asentamientos humanos en colonias donde el acceso a servi-

cios urbanos es limitado, la inseguridad y el difícil acceso a condiciones de habitabilidad contrasta con otras colonias de Guadalajara donde se cuenta con todos los servicios.

- Chalchihuitan, Chiapas, ubicada en la zona denominada como Los Altos de Chiapas es una extensa área de población dispersa con características totalmente rurales, donde el difícil acceso de las personas es un común denominador a casi todos los servicios posibles, en esta localidad existe población indígena.

Un común denominador de las tres localidades es un alto grado de rezago social, el cual se manifiesta como la falta al acceso de agua, falta de saneamiento básico, falta de acceso a servicios institucionales de salud, características inadecuadas de la vivienda y la falta de un adecuado ordenamiento territorial, por lo que la evaluación busca identificar también como es que la propia población resuelve sus problemáticas haciendo énfasis de aquellas prácticas locales de gestión y uso del agua y de los conflictos sociales frente a la pandemia de la COVID-19.

## Objetivo General

Evaluar a nivel de cuencas hidrológicas, escenarios de vulnerabilidad preexistentes que muchas personas viven incluyendo todas aquellas problemáticas relacionadas con el agua frente a la pandemia de la COVID-19, en tres localidades de México.

## Metodología

Por medio de una metodología mixta de investigación se buscará realizar una aproximación al enfoque de sistemas hidrosociales, para en una primera etapa describir las características del territorio hidrosocial de cada una de las localidades el cual es la articulación de tres espacios territoriales:

- Espacios físicos de la cuenca hidrográfica, además de la infraestructura y los sistemas hídricos, tomando datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Espacios sociales definidos por usos y manejos materiales y simbólicos de los actores sociales hacia el agua, tomando datos de entrevistas

semiestructuradas a población en general y de encuestas en línea.

- Espacios político-administrativos generados a partir de discursos de desarrollo territorial y de la institucionalidad de regulación hídrica, tomando datos de entrevistas semiestructuradas a actores clave, autoridades de diferentes niveles de gobierno y encargados de sistemas operadores del agua a nivel local y municipal.

Estos tres espacios descritos con la ayuda de un sistema de información geográfica Qgis con el que se reuniran y gestionaran todos datos para generar mapas, apoyandose para ello tambien con software de analisis etnografico Atlas Ti, y en una segunda etapa analizar como funciona este territorio hidrosocial antes y durante el desarrollo de la pandemia de COVID-19.

Las condiciones preexistentes de vulnerabilidad se analizaran con el uso del indicador de rezago de social del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), el cual utiliza una medida ponderada resumen de cuatro indicadores: educación, salud, servicios básicos y

calidad y espacios en la vivienda, para ello se tomaran datos del INEGI y se contrastaran por medio del uso de las herramientas de analisis geostadistico ya descritas, para poder generar la evaluación.

### Resultados esperados

A partir del estudio descrito se tendra evidencia contextualizada a la realidad de México con respecto a condiciones de vulnerabilidad que se pudieron haber exacerbado con la ocurrencia de la pandemia de COVID-19, consideramos que a partir de estos datos se podria entender de mejor manera los procesos involucrados en los sistemas hidrosociales, abona en la discusión de las vulnerabilidades de ciertas poblaciones y las inequidades que son prevenibles y evitables, a su vez este trabajo se podrian detonar trabajos similares y coadyuvar a la comprensión del desarrollo de la pandemia de COVID-19. ♦

## Bibliografía

Damonte-Valencia, G. H. (2015). Redefiniendo territorios hidrosociales: control hídrico en el valle de Ica, Perú (1993-2013). Cuadernos de Desarrollo Rural, 12(76), 109-133. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.cdr12-76.rthc>

ONU (23 DE MARZO DE 2020). No se podrá parar el COVID-19 sin proporcionar agua a las personas en situación de vulnerabilidad, dicen Expertos de la ONU. Comunicado Oficial. <https://www.onu.org.mx/no-se-podra-parar-el-covid-19-sin-proporcionar-agua-a-las-personas-en-situacion-de-vulnerabilidad-dicen-expertos-de-la-onu/>

# REDISEÑO Y APLICACIÓN DEL MÉTODO OFICIAL PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DE AGUA SUPERFICIAL: CASO DEL RÍO CULIACÁN, MÉXICO

SERGIO ARTURO RENTERÍA GUEVARA.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA. FACULTAD DE INGENIERÍA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA,

## Resumen

La aplicación en México del método para determinar la disponibilidad de agua superficial establecido en la norma NOM-011-CONAGUA-2015 (NOM-011) ha revelado inconsistencias. Por ejemplo, se publicaron oficialmente resultados con valores negativos de disponibilidad, lo cual es físicamente improcedente. Además, la normatividad mexicana establece que la cuenca hidrológica es una unidad de territorio, mientras que la delimitación oficial agrupa superficies correspondientes a cuencas distintas. Asimismo, dicha norma establece que los volúmenes anuales ecológicos y los volúmenes para programación hídrica deben considerarse para

determinar la disponibilidad, sin embargo, se omiten en las estimaciones oficiales.

En este trabajo, mediante el caso de la Cuenca Río Culiacán, una de las más importantes en México, se analiza el método en cuestión y se proponen medidas para mejorarlo.

## Introducción

En México, el principal criterio para otorgar permisos para usar agua superficial es su disponibilidad que debe ser calculada mediante un método establecido en la NOM-011 (SEMARNAT, 2015, p. 1). Al aplicarlo se identifican inconsistencias que producen resultados sin significado claro como valores negativos



de disponibilidad de agua superficial (CONAGUA, 2020a, p. 15), lo cual es físicamente imposible.

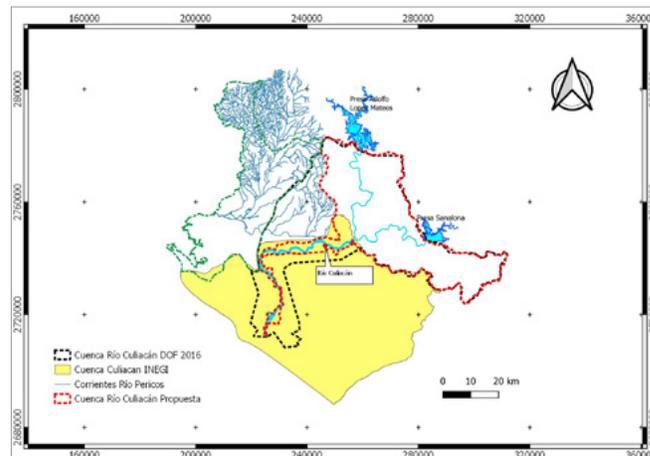
En este trabajo, mediante el caso de la Cuenca Río Culiacán se identifican inconsistencias en el método y la forma de subsanarlas.

## Desarrollo

La Cuenca Río Culiacán es preponderante en la producción agrícola, actividad que se sustenta en concesiones para usar agua otorgadas con base en la disponibilidad de agua. Esta debe calcularse mediante el método oficial de la NOM-011, para lo cual es esencial la delimitación de las cuencas.

La delimitación de la Cuenca Río Culiacán DOF 2016 fue publicada en el Diario Oficial de la Federación (CONAGUA, 2016a, p. 121) e incluye a la cuenca del Río Pericos que drena independientemente al mar (Véase Figura 1). Esto implica que se incumple el criterio establecido legalmente (CONAGUA, 2020d, p. 3) de considerar a la cuenca como la unidad hidrológica. Es notable que para INEGI la cuenca Río Culiacán es distinta a la de CONAGUA (Véase Figura 1).

Figura 1.- Cuenca del Río Culiacán según CONAGUA e INEGI, hidrografía del Río Pericos, Río Culiacán y Cuenca del Río Culiacán Propuesta.



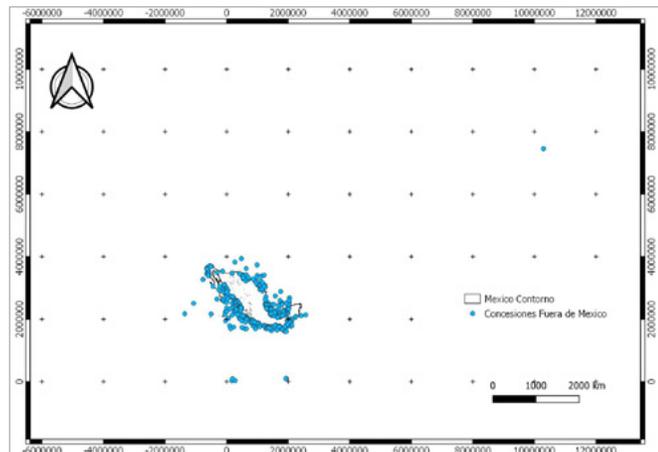
Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2016) e (INEGI, 2017).

Para subsanar lo anterior, se propone una delimitación de la cuenca de estudio, Cuenca Río Culiacán Propuesta (Véase Figura 1), considerando la topografía y la red de conducción del Distrito

010 (Véase Figura 4) como límites físicamente operantes (Rentería-Guevara, 2019, p. 6).

Las ubicaciones de las concesiones en México (CONAGUA, 2020b, p. 1) tienen severas deficiencias. Véase Figura 2.

Figura 2.- Concesiones de agua superficial de base de datos oficial mexicana (REPDA) ubicadas fuera de México.

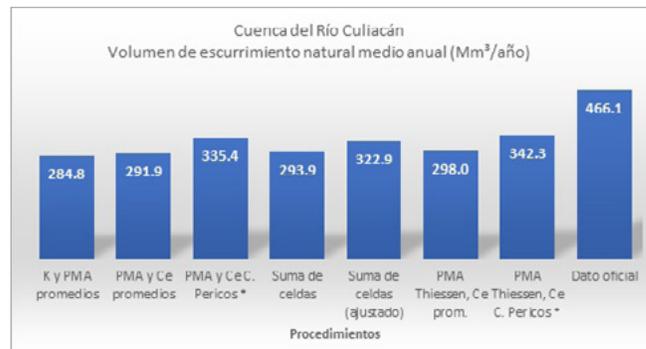


Fuente: Elaboración propia con base en (CONAGUA, 2020b).

Por ello, se depuró la base de datos correspondiente. Además, para aproximarse a la realidad física, se calcularon las extracciones reales (CONAGUA, 2012, p. 1).

Se recalcularon los términos del balance, por ejemplo, el escurrimiento natural. Véase Figura 3.

Figura 3.- Comparación entre valores del escurrimiento natural para la cuenca del Río Culiacán calculados mediante siete procedimientos en este estudio contra el dato oficial.



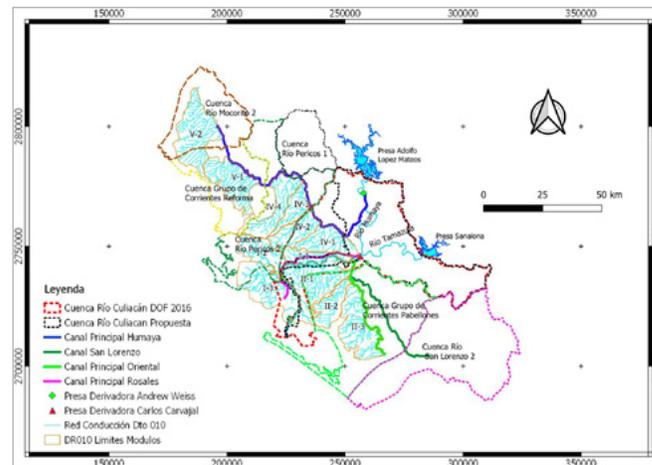
Fuente: Elaboración propia y dato oficial de (CONAGUA, 2020a).

Los siete procedimientos aplicados generan valores inferiores al dato oficial, lo que significa que este está sobreestimado.

Los valores de las exportaciones y las importaciones oficiales son incorrectos, lo que se deduce al contrastarlos con el trazo de los canales de conducción. En el primer caso, se conducen a través del Canal Principal Humaya, cuyo flujo no sale de la Cuenca Río Humaya como la autoridad publicó, sino de la Cuenca Río Culiacán (Véase Figura 4). Por ello deben incluirse en el balance de esta última.

En cambio, las importaciones del balance oficial de la Cuenca Río Culiacán en realidad no cruzan su parteaguas, por lo que no deberían formar parte del cálculo. Los volúmenes en cuestión provienen de la Cuenca Río San Lorenzo 2 y pasan por la Cuenca Grupo de Corrientes Pabellones a través del Canal San Lorenzo (Véase Figura 4). Dicho canal confluye, antes de los límites de la Cuenca Río Culiacán con el Canal Principal Oriental que transporta gastos hacia afuera de dicha cuenca (Véase Figura 5).

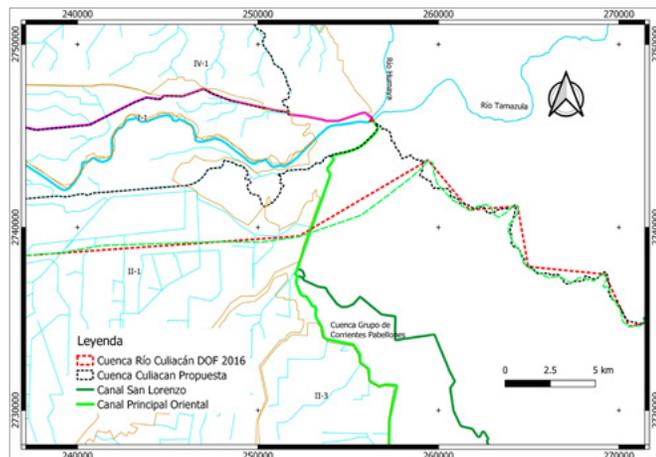
Figura 4.- Red de conducción del Distrito de Riego 010 Culiacán Humaya, cuencas oficiales CONAGUA en la zona de estudio y Cuenca Río Culiacán Propuesta.



Fuente: Elaboración propia con información de (CONAGUA, 2016) y (CONAGUA, 2020c).

Gran parte de la superficie del Distrito de Riego 010 Culiacán Humaya se ubica fuera de las fronteras de la cuenca en estudio, por lo que aproximadamente la misma proporción de sus extracciones

Figura 5.- Confluencia de los canales San Lorenzo y Principal Oriental.



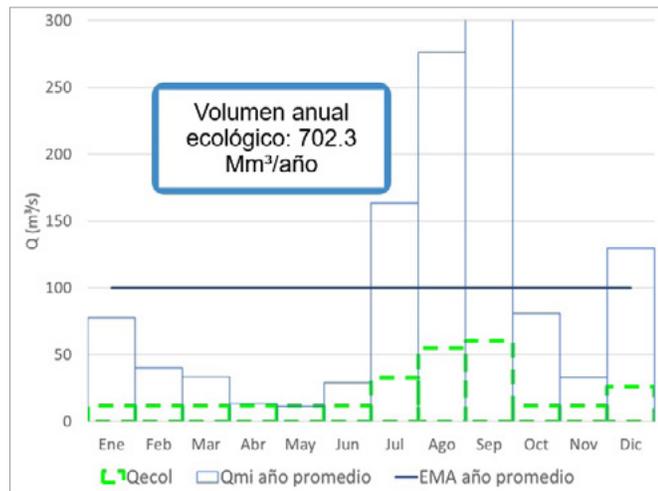
Fuente: Elaboración propia con información de (CONAGUA, 2016) y (CONAGUA, 2020c)..

ocurren en dicha superficie. Entonces, estos volúmenes deberían considerarse como exportaciones y no como extracciones dentro de la cuenca como se presentan en el balance oficial.

De acuerdo con la NOM-011, para determinar la disponibilidad de agua superficial se deben considerar los volúmenes ecológicos y de programación hídrica; no obstante, en los resultados oficiales ambos se excluyen. En este estudio, se calculó el volumen anual ecológico (Véase Figura 6) conforme a la norma aplicable (SE, 2012, p. 57) y se identificaron los requerimientos establecidos en el Programa Nacional Hídrico 2019 2024 (CONAGUA, 2020e, p. 50).

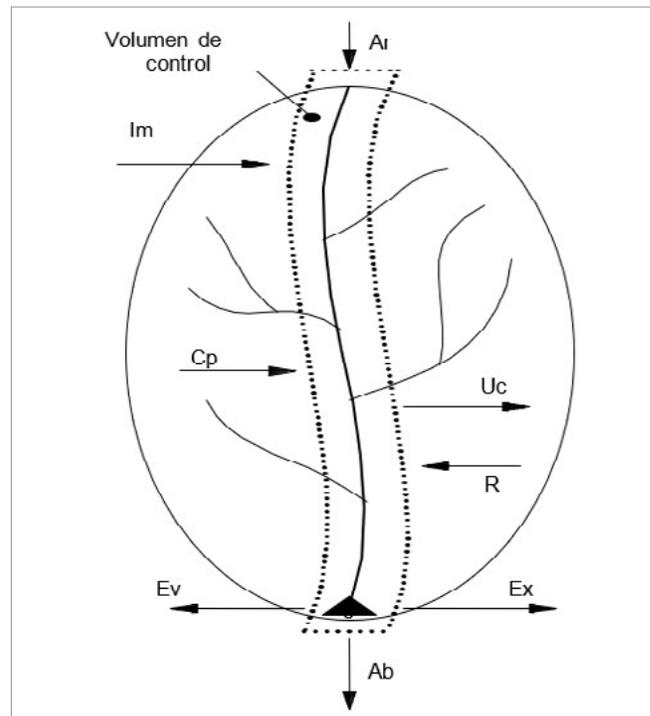
La NOM-011 establece que el límite de la cuenca es la frontera de sistema para realizar un balance de agua superficial. Sin embargo, incluye el término de retornos como una entrada al sistema. Estos son volúmenes que se reincorporan a la red de drenaje como remanentes de usos de agua dentro de la misma. Es decir, no atraviesan el parteaguas, sin embargo, se consideran entradas. Para corregir esta inconsistencia, se plantea establecer a la red de drenaje principal de la cuenca, como el volumen de control (Véase Figura 7).

Figura 6.- Análisis para determinar el volumen anual ecológico a partir de los gastos ecológicos mensuales mediante el método de la NMX-AA-159-SCFI-2012. Qecol = Gasto ecológico mensual; Qmi año promedio = Gasto mensual promedio; EMA año promedio = Escurrimiento medio anual promedio.



Fuente: Elaboración propia mediante método establecido en (SE et al., 2012) e información de (CONAGUA, 2020C)..

Figura 7.- Esquema de una cuenca tipo con el volumen de control alrededor de la corriente principal.



Fuente: Elaboración propia.

El resultado oficial del año 2020 para la cuenca del río Culiacán es una disponibilidad de agua superficial de 266.5 Mm<sup>3</sup>/año; no obstante, siguiendo rigurosamente el método el resultado es -615.7 Mm<sup>3</sup>/año. Si se aplican las mejoras propuestas, el resultado es el que se indica en la tabla siguiente.

Tabla 1.- Valores de las variables para calcular la disponibilidad de agua superficial de la Cuenca Río Culiacán.

Ar	En	R	Im	Ex	Uc	Ev	ΔV	Ab	Rxy	D
0.0	1,825.7	4.5	0.0	0.0	6.0	124.1	31.6	1,668.5	1,440.1	228.5
0.0	750.7	2.0	0.0	0.0	2.6	42.6	13.4	694.1	599.0	95.0
2,362.6	225.8	55.0	0.0	2,095.3	180.4	5.8	0.0	362.0	0.0	362.0
Oferta				Demanda				Cálculo de disponibilidad		
Ar = escurrimiento aguas arriba; En = escurrimiento natural; R = retornos; Im = importaciones; Ex = exportaciones; Uc = extracciones para usos consuntivos; Ev = evaporación en embalses; ΔV = variación de almacenamiento en embalses; Ab = escurrimiento hacia aguas abajo; Rxy = comprometido aguas abajo; D = disponibilidad agua superficial. Millones de m <sup>3</sup> /año.										

Fuente: Elaboración propia.

## Conclusiones

La disponibilidad de agua superficial calculada con el método oficial publicada por la autoridad mexicana es cuestionable. Cada balance de cuenca debe ser revisado de acuerdo con los criterios establecidos en este estudio para identificar inconsistencias. Estas pueden ser subsanadas mediante las propuestas de este trabajo de investigación.

Lo anterior es importante porque la subestimación de la disponibilidad significa negar permisos para utilizar agua cuando existen volúmenes disponibles, lo que limita el desarrollo económico de la cuenca. La sobrestimación implica otorgar permisos para usar el agua con base en volúmenes inexis-

tentes, es decir, se tiende legalizar la sobreexplotación del recurso.

En este trabajo se propone un nuevo esquema de cálculo que puede aplicarse a países con sistemas de administración del agua similares al mexicano. En México puede someterse a consideración a través del proceso de Revisión Quinquenal de las Normas Oficiales Mexicanas. Esto podría derivar en modificar la NOM-011 hasta la posible incorporación total o parcial de las propuestas. 💧

### Bibliografía

CONAGUA (2012). SISTAG (Sistema Gerencial de Estadísticas Agrícolas e Hidrométricas de los Distritos de Riego). Comisión Nacional del Agua, Jiutepec, Mor., México.

CONAGUA (2016). 2a Sección ACUERDO por el que se dan a conocer los límites de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos, Diario Oficial de la Federación, Mexico, D. F.

CONAGUA (2020a). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 Regiones Hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. Diario Oficial De La Federación, Ciudad de México.

CONAGUA (2020b). Consulta la Base de Datos del REPGA, Comisión Nacional del Agua. <https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx>.

CONAGUA (2020c). Datos sobre distrito de Riego 010 Culiacán Humaya. Jefatura del Distrito de Riego 010 Culiacán Humaya y 074 Mocorito, Culiacán, Sinaloa, México

CONAGUA (2020d). Ley de Aguas Nacionales. Cámara de Diputados, Ciudad de México.

CONAGUA (2020e). Programa Nacional Hídrico 2019-2024. Comisión Nacional del Agua, Ciudad de México.

INEGI (2017). Red Hidrográfica escala 1:50 000 edición 2.0. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. [http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones\\_hidrograficas.aspx](http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/regiones_hidrograficas.aspx)

Rentería-Guevara, S. A. et al. (2019). Effect of agricultural and urban infrastructure on river basin delineation and surface water availability: Case of the Culiacan River Basin. Hydrology. MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Basel, Switzerland.

SE et al. (2012). Norma mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del causal ecológico. 1st edn, Diario Oficial de la Federación. Comisión Nacional del Agua, México, D.F.

SEMARNAT (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-011-CONAGUA-2015, Conservación del recurso agua-Que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Diario Oficial de la Federación, Mexico, D. F.



**MEDIO AMBIENTE**

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



**IMTA**

INSTITUTO MEXICANO  
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

# *Impluvium*

Publicación digital de la Red del Agua UNAM,  
Edición Especial, Segunda Diáspora Hídrica,  
Diciembre 2021.

[www.agua.unam.mx](http://www.agua.unam.mx)