



Diáspora Hídrica

Jóvenes Mexicanos Explorando
las Fronteras del Conocimiento del Agua

20 24

MEMORIAS DE LA V EDICIÓN DEL SEMINARIO DIÁSPORA HÍDRICA

Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras
del Conocimiento del Agua

Del 11 al 13 de septiembre de 2024



BUAP



Patrocinadores:



**Educación por
la Experiencia**
LO BUENO DE SER BUENO



**La Humanidad
y la Naturaleza**
NUESTRO PLANETA ES UN SER VIVO



333.9117
M5334

Memorias de V Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua / compiladores: Gabriel Ruiz Martínez, Claudia Martínez Salgado, Guillermo Hernández González, Gibran Mubarqui Guevara. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), 2024.
125 páginas: ilustraciones, mapas; recurso digital.
ISBN *en trámite*
DOI: <https://doi.org/10.24850/b-imta-2024-14>

1. Gestión integrada de recursos hídricos -- congresos. 2. México -Política ambiental -- congresos. 3. Derecho humano al agua -- congresos. 4. Agua de lluvia -- Aprovechamiento --investigaciones. 5. Abastecimiento de agua -- Administración -- congresos.

- I. Diáspora Hídrica (5) 11,12, 13 de septiembre de 2024. Puebla, México.
- II. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, organizador.
- III. Ruiz Martínez, Gabriel, compilador.
- IV. Martínez Salgado, Claudia, compilador.
- V. Hernández González, Guillermo, compilador.
- VI. Mubarqui Guevara, Gibran, compilador.

Memorias de la V Edición del Seminario Diáspora Hídrica

D.R. © 2024 Instituto Mexicano de Tecnología del Agua Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, 62550 Jiutepec, Mor., México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales www.gob.mx/imta

Directorio

Dr. Adrián Pedrozo Acuña
Director General del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Dr. María Lilia Cedillo Ramírez
Rectora de La Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
Dra. Rosa María Ramírez Zamora
Directora del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México
Dr. Fernando J. González Villarreal
Coordinador Técnico de la Red del Agua, Universidad Nacional Autónoma de México

Comités organizadores

IMTA

Mtra. Malinali Domínguez Mares
Titular de la Unidad de Vinculación y Asuntos Internacionales
Dr. Gabriel Ruíz Martínez
Subcoordinador de Posgrado y Educación Continua
Mtra. Nayely Cortez Sánchez
Subcoordinadora de comunicación, divulgación y cultura del agua
Mtra. Claudia Patricia Martínez Salgado
Jefa de proyecto Diáspora Hídrica 2024
Lic. Guillermo Hernández González
Tecnólogo del Agua
Lic. Adolfo Remigio Armillas
Diseño editorial, ilustración, formación y portada
Mtro. Marco Antonio Sánchez Izquierdo
Tecnólogo del Agua
Mtra. Roberta Karinne Mocva Kurek
Subcoordinadora de inteligencia e información tecnológica
Mtra. Daniela Noriega Bernabé
Subdirectora de Asuntos Internacionales

BUAP

Dr. José Jaime Vázquez López
Vicerrector de Docencia
Dr. Ygnacio Martínez Laguna
Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado
Dr. Armando Ibáñez Martínez Armando
Director de la facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias
Mtro. Ignacio Muñoz Máximo
Dr. Efraín Rubio Rosas
Jefe de Recursos Tecnológicos de la DITCo
Mtra. Cynthia Apam García
Coordinadora Administrativa de la VD
M.I. Silvia Contreras Bonilla
Coordinadora Colegio de Ingeniería Civil
Mtro. Juan Carlos Flores González
Director de Educación Superior
Mtro. Ignacio Muñoz Máximo
Responsable de Geociencias Aplicadas DITCo/VIEP

UNAM

Mtro. Jorge Alberto Arriaga Medina
Coordinador ejecutivo, Red del Agua UNAM

Comité revisor

IMTA

Dr. Ariosto Aguilar Chávez
Dr. Edmundo Pedroza González
Dr. David Ortega Gaucín
Dr. Efraín Mateos Farfán

BUAP

Dr. Armando Ibáñez Martínez Armando

UNAM

Mtro. Jorge Alberto Arriaga Medina

Compiladores

Dr. Gabriel Ruíz Martínez
Mtra. Claudia Patricia Martínez Salgado
Lic. Guillermo Hernández González
Mtro. Gibran Mubarqui Guevara

ISBN en trámite
DOI: <https://doi.org/10.24850/b-imta-2024-14>

Diciembre 2024, Jiutepec, Morelos
Hecho en México / Made in Mexico

Se autoriza la reproducción sin alteraciones del material contenido en esta obra,
sin fines de lucro y citando la fuente.



MEMORIAS DE LA V EDICIÓN DEL SEMINARIO DIÁSPORA HÍDRICA

Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras
del Conocimiento del Agua

Compiladores:

Gabriel Ruiz Martínez
Claudia Patricia Martínez Salgado
Guillermo Hernández González
Gibran Mubarqui Guevara

Jiutepec, Morelos, México, 11 al 13 de septiembre de 2024

V Edición del Seminario Diáspora Hídrica
Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua

Del 11 al 13 de septiembre de 2024

**Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)
Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Red del Agua UNAM
Centro Regional de Seguridad Hídrica de la UNESCO
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA
Cátedra UNESCO IMTA**

El contenido de los resúmenes incluidos en esta memoria se presenta tal como fue enviado por sus autores. Las opiniones, datos y citas expuestos en los artículos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan, necesariamente, los puntos de vista de las instituciones que publican esta obra.

Presentación

La Diáspora Hídrica comenzó en 2020 con el objetivo de crear un espacio en el que jóvenes estudiantes del IMTA y de diversas universidades pudieran compartir sus experiencias, conocimientos y perspectivas sobre el agua y su gestión sustentable.

Desde su origen, este proyecto ha buscado fomentar el diálogo y la colaboración entre los participantes, promoviendo soluciones innovadoras a los desafíos relacionados con el agua en México. Representa una oportunidad para avanzar hacia un país donde el conocimiento y las ideas prosperen.

La complejidad y magnitud de los desafíos actuales exigen una transformación en la manera en que abordamos y resolvemos los problemas hídricos, lo que resalta el papel crucial de las nuevas generaciones de científicos e ingenieros.

Este evento en su modalidad presencial, organizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Red del Agua UNAM, el Centro Regional de Seguridad Hídrica de la UNESCO y la Cátedra UNESCO

IMTA, proporciona una plataforma para identificar las capacidades de la nueva generación de profesionales dedicados al agua en México.

En un contexto marcado por crisis económicas y sanitarias globales, exacerbadas por la pandemia de COVID-19, la necesidad de investigación e innovación para mejorar las condiciones ambientales, económicas, sociales y culturales del planeta es más urgente que nunca. Las nuevas generaciones son fundamentales en esta tarea, y es responsabilidad de todos impulsar la transformación de México hacia un uso sostenible del agua, cerrando brechas de desigualdad, promoviendo el desarrollo económico y conservando el medio ambiente.

La Diáspora Hídrica también contribuye a la difusión y promoción de la investigación y el desarrollo en el ámbito del agua, aumentando la visibilidad de las instituciones participantes como entidades comprometidas con la investigación, la formación y la búsqueda de soluciones en este campo. Además, ayuda a identificar jóvenes talentos dedicados al estudio y gestión del agua.



Palabras de Dr. Adrián Pedrozo Acuña

Director General del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua



Dado que el agua es un elemento clave para el desarrollo social y económico de los países, 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 dedicados 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.

Desafíos de semejante calibre requieren del mejor conocimiento y talento disponibles. El Seminario Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua surge a iniciativa del IMTA como un espacio de intercambio en el que confluyen, por un lado, el mejor conocimiento científico en temas hídricos y, por otro, la juventud y el talento de estudiantes de posgrado y nóveles investigadores de todo el país.

Se trata de un punto de encuentro en el que los jóvenes pueden compartir entre pares sus conocimientos e intereses y abreviar de la experiencia de reconocidos investigadores, pero también de una plataforma que permite visibilizar sus propuestas para la solución de problemas sobre el agua y su gestión sustentable.

En ediciones anteriores el seminario se llevó a cabo en la modalidad virtual debido a la emergencia sanitaria ocasionada por el SARS-CoV-2 y las restricciones a la movilidad durante la pandemia. Por ello, cabe destacar que en 2024 - gracias al trabajo colaborativo e interinstitucional de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), el Instituto de Ingeniería de la UNAM y el IMTA- el seminario se ha celebrado por primera vez de manera presencial en la Unidad de Seminarios de la BUAP.

La estrecha colaboración interinstitucional hizo posible la realización de esta quinta edición del seminario, durante la cual se presentaron 52

ponencias que dan cuenta de las inquietudes y el compromiso de los jóvenes con la sustentabilidad del agua, así como del carácter transversal del recurso.

El Seminario Diáspora Hídrica refleja el compromiso del IMTA con la formación de recursos humanos altamente capacitados en los niveles de especialización y posgrado. Con la realización de eventos como éste, buscamos fomentar la ética y la ingeniería moderna con un enfoque interdisciplinario y multipropósito, de tal suerte que sea posible atender los retos de hoy y mañana.

Las investigaciones y los proyectos presentados durante el seminario no solo reflejan un profundo compromiso con la sostenibilidad y la gestión eficiente de los recursos hídricos, sino que también demuestran el potencial de la juventud para liderar el cambio y enfrentar los grandes desafíos relacionados con el agua.

Con la publicación de las "Memorias del V Seminario Diáspora Hídrica" no solo celebramos el conocimiento y la innovación, también el trabajo colaborativo y el compromiso con un futuro sostenible. Los jóvenes investigadores cuyas ponencias se presentan en este libro están empujando los límites del conocimiento del agua, perfilando nuevos enfoques en el abordaje de los retos del agua en nuestro país y planteando soluciones innovadoras para un México con equidad y justicia hídricas.

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.

Palabras de Dra. María Lilia Cedillo Ramírez

Rectora de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla



En la actualidad, el agua es uno de los temas más relevantes para el país y el mundo. En los últimos meses hemos sido testigos de una crisis sin precedentes ocasionada por la sequía en más de tres cuartas partes del territorio nacional, mientras el sistema Cutzamala, que abastece a la Ciudad de México una de las metrópolis más pobladas del mundo, llegó a su nivel más bajo de los últimos 27 años.

En tanto, en otras latitudes las inundaciones han ocasionado graves daños humanos y materiales y algunas más se han visto aquejadas por severos procesos de erosión y deforestación, así como incendios devoradores.

Resulta evidente que a los fenómenos hidrometeorológicos extremos se suma la degradación de los ecosistemas asociados al agua, lo cual es una grave amenaza a la sostenibilidad del planeta.

La importancia del agua para el desarrollo económico, ambiental, social, y para la supervivencia humana, hace indispensable corregir el rumbo en materia hídrica y elaborar una agenda emergente de soluciones de corto, mediano y largo plazo en la que participen los tres niveles de gobierno y, por supuesto, la sociedad.

Es indispensable poner el conocimiento, la ciencia y la tecnología al servicio de estos propósitos, pues la situación de los recursos hídricos se recrudece día con día debido a los cambios climáticos que afectan el ciclo natural del agua, así como la sobreexplotación y contaminación de los mantos freáticos, con la consecuente escasez del líquido para amplios grupos de población.

Requerimos formular estrategias que incluyan desde planes para el uso eficiente del agua, programas de potabilización y tratamiento de aguas residuales, hasta una gestión integral de los recursos hídricos.

Todo ello debe enmarcarse en un esquema de gobernanza de los recursos hídricos que parta de políticas públicas que garanticen que el agua sea un bien común, asegurando el abastecimiento para atender las necesidades básicas de la población.

En este esfuerzo, los jóvenes tienen mucho que aportar. Ya hemos visto, en anteriores ediciones de este seminario, las propuestas e innovaciones elaboradas por estudiantes y consideramos que es un foro propicio para alentar las capacidades y competencias de los alumnos, a fin de que se conviertan en nuevos líderes, científicos e ingenieros capaces de establecer redes de colaboración interdisciplinaria para enfrentar los graves problemas relacionados con el agua.

En tanto, las instituciones de educación superior están llamadas a impulsar ecosistemas de conocimiento e innovación científica y tecnológica, de los que surjan nuevas soluciones a los problemas hídricos, en los que confluyan profesionales experimentados y nuevas generaciones, en una colaboración corresponsable que dé paso a cambios de paradigmas y una nueva consciencia social sobre el agua, que den viabilidad al futuro de nuestro país.

La realización del seminario *Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua*, constituyó una ocasión muy alentadora para avanzar hacia esos objetivos que, eventualmente, nos permitirán disminuir las brechas de desarrollo, garantizar niveles de bienestar para todos y alcanzar la sustentabilidad que demandan la vida, el avance económico y la prosperidad social.

Las memorias de este encuentro seguramente serán útiles para la consulta y contribuirán a la difusión del conocimiento generado y constituirán un documento importante en el debate sobre el tema del agua.

Como rectora de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, y en nombre de nuestra comunidad, celebro que hayamos tenido la oportunidad de albergar los trabajos del mencionado seminario y agradezco a todos las instituciones y especialistas participantes su interés para compartir experiencias, buenas prácticas y perspectivas sobre la gestión del vital líquido.

Conferencias Magistrales

- **Dr. José Agustín Breña Naranjo**
Coordinador de Seguridad Hídrica del
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Miércoles 11 de septiembre, 10:30 a.m.
Ponencia: *Conocimiento del Agua al
Servicio de México*



-
- **Lic. Mónica Prida Coppe**
Fundación Educación por la Experiencia AC
 - **Dra. Nadia Ruiz Muñoz**
Facultad de Derecho - BUAP



- **Mtro. Ignacio Máximo Muñoz**
Dirección de Innovación y Transferencia del
Conocimiento (DITCo) – BUAP

Jueves 12 de septiembre, 9:10 a.m.
Ponencia: *Diagnóstico Integral de la
Subcuenca Alto Atoyac-Valle de Puebla*



-
- **Dra. Alma Concepción Chávez Mejía**
Investigadora de la Coordinación de
Ingeniería Ambiental del IIUNAM

Viernes 13 de septiembre, 09:10 a.m.
Ponencia: *Técnicas alternativas de
desinfección de agua de fácil aplicación:
Cuenca del Alto Atoyac*



Índice

Gestión de recursos hídricos	11
<i>Análisis de la GIRH a nivel municipal en la cuenca del río Magdalena, CDMX</i> Aceves Fonseca, Esteban.	12
<i>La huella de agua y su importancia en la política hídrica de México</i> Loredo Rasgado, Jesús.	13
<i>Género, pobreza e injusticia hídrica en una región indígena de México</i> Barro Marín, María Guadalupe.	14
<i>Gestión integral de diseño: mitigación del riesgo en ciudades metropolitanas inundables</i> López Ortiz, Jorge.	16
<i>Hacia un mejor manejo del agua para el avance del derecho humano: las organizaciones locales</i> Zavala Vázquez, Luz del Carmen.	18
<i>Estimación espacio-temporal de la recarga natural del acuífero Chupaderos mediante el uso de percepción remota</i> López Cuevas, María de Jesús; Pacheco Guerrero, Anuard Isaac; Ortiz Robles, Fidel Alejandro; Villalobos de Alba, Ángel Alfonso; Olmos Trujillo, Edith; Dzul García, Oscar Antonio.	20
<i>Volcán de fuego, montaña de agua: un modelo colectivo para el manejo del territorio</i> Santana Guzmán, Marcela.	21
<i>Las memorias sociohídricas como herramientas de gestión del territorio y del agua del río Amatzinac</i> Yañez Reyes, Diana Laura; Pérez Mendoza, José Salvador Esteban; Vélez Pliego, Francisco.	23
<i>Evaluación del impacto de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales de México: recomendaciones para su fortalecimiento.</i> Moreno Salinas, Alma Leslie.	25
<i>Cruces conceptuales entre el derecho humano al agua y el saneamiento (DHAS) y los territorios hidro- sociales. un análisis desde los sistemas comunitarios de agua</i> Tercero Cruz, Laura Priscila.	29
Seguridad hídrica	31

<i>Evaluación del desempeño de los modelos climáticos globales (GCMS) del CMIP5 y CMIP6 en México</i>	
Ordoñez Sánchez, Alejandro; Montero Martínez, Martín José; Andrade Velázquez, Mercedes.	32
<i>Evaluación de la problemática de abastecimiento y saneamiento de agua en el área periurbana del poniente de la ciudad de San Luis Potosí</i>	
Félix Carrillo, Juan José; Aldama Aguilera, Cristobal; Cisneros-Almazán, Rodolfo; Rocha-Escalante, Hermann; Bernal-Jacome, Luis Armando; Berber Mendoza, Maria Selene.	33
<i>Incremento del volumen de escurrimiento bajo la curva de recesión por variación en la densidad arbórea</i>	
Bravo Jácome, José Avidán.	34
<i>Tormentas, inundaciones y sequías: hacia un sistema de alerta temprana en México</i>	
Dávila Ortiz, Rodrigo; Velázquez Zapata, Juan Alberto.	36
<i>Determinación de caudal ecológico en Cuatro Ciénegas, Coahuila</i>	
Silva Núñez, Jaqueline; Breña Naranjo, José Agustín.	38
<i>La producción agroalimentaria de exportación en un contexto de crisis hídrica en México</i>	
Cepeda Arellano, Yessika Mabel.	39
<i>Amenazas hídricas y climáticas: evaluación de vulnerabilidad en Quintana Roo, México</i>	
Mondragón Muñoz, Valeria F.; Cervantes Avilés, Pabel A.	41
<i>Avances en la generación de un modelo predictivo de tormentas basado en aprendizaje automático</i>	
Vazquez Zavaleta, Miguel Angel; Mendoza Uribe, Indalecio.	43
<i>Análisis de probabilidad de falla con redes bayesianas aplicado a inundaciones</i>	
Bonilla-López, Edith; Corona-Vásquez, Benito.	45
<i>Análisis hidrológico e hidrodinámico del río Tula basado en una metodología por ensambles</i>	
Peñaloza Rueda, Xóchitl; Courty Laurent, G; Rodríguez Rincón, Juan Pablo; Centeno Álvarez, Juan Carlos.	47
<i>Estimación de la recarga de aguas subterráneas en la Península de Yucatán, a partir de productos satelitales y fuentes de datos globales</i>	
Siles Zarate, Ana Claudia; Breña Naranjo, Agustín; Ontiveros Capurata, Ronald.	48

Medio ambiente 51

<i>Lirio acuático en cuerpos de agua: Una revisión científica y tecnológica</i>	
Martínez Muñoz, Ana Laura; Gayosso Morales, Manuel Aaron; Valdez Calderón, Alejandro; Gonzalez Pérez, Brenda Karen.	52
<i>Identificación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como estrategia de conservación para el área de captación del ANP Lago de Texcoco.</i>	
Márquez Zárate, Julio César; Ugalde Lezama, Saúl; Arévalo Galarza, Gustavo Antonio.	54

<i>Hacia nuevos modelos urbano-regionales desde la gestión del agua: el caso de la Ciudad de México</i>	
Estefan Fuentes, Laila Patricia.	56
<i>Impactos de los sectores productivos en el Golfo de California: análisis de los riesgos en cadena</i>	
Olvera Fuentes, Norma Elizabeth; González Villarreal, Fernando J.	58
<i>Comportamiento de la toxicidad en un sistema biológico granular para el tratamiento de lixiviados</i>	
Rodríguez Díaz, Ulises Duvan; García Sánchez, Liliana; Trujillo Domínguez, Gissel.	60
Innovaciones científicas, tecnológicas y sociales	61
<i>Daños causados por las inundaciones al cultivo de maíz</i>	
Cruz Santiago, Michell Deyanira; Roblero Hidalgo, Rodrigo; Ballinas González, Héctor Alonso; Quevedo Tiznado, José Antonio; Aguilar Chávez, Ariosto; González García, Héctor.	62
<i>Diseño de distritos de medición con estructura centro-periferia en redes de agua potable</i>	
Solis Jácome, Rair; De Freitas Anchieta, Thomaz Felipe; Mora Rodríguez, Jesús.	63
<i>Aplicación de tomografía de resistividad eléctrica para la modelación de flujo en la zona no saturada en tiempo real</i>	
Díaz Espíritu, Nerí; Expósito Castillo, José Luis; Esteller Alberich María, Vicenta.	65
<i>Análisis de cuadrantes en la zona no aireada de un vertedor escalonado</i>	
Cisneros Contreras, Ileana Paloma; Mubarqui Guevara, Gibrán; Aguilar Chávez, Ariosto	66
<i>Análisis del transporte de la turbulencia generada por las pilas de puentes</i>	
Mubarqui Guevara, Gibrán; Aguilar Chávez, Ariosto; Ruiz Martínez, Gabriel	68
<i>Aplicación de machine learning en la evaluación del riesgo por sequía y sus componentes: estado del arte.</i>	
Castellano-Bahena, Heidy Viviana; Ortega-Gaucin, David	70
<i>Reducción de escala estadística aplicando escalado lineal y redes neuronales en la Región Noroeste de México</i>	
Rodríguez Torres, Sergio; Montero Martínez, Martín José; Andrade Velázquez, Mercedes	71
Calidad del agua	73
<i>Elementos potencialmente tóxicos en el lago de Tuxpan, Gro.</i>	
Flores Ronces, José Alfredo; Salcedo Sánchez, Edith; Esteller Alberich, Ma. Vicenta.	73
<i>Tratamiento de drenaje ácido de mina con huevos de gallina y sistemas bio-electroquímicos</i>	
López Díaz, Jazmin Alaide; Hernández Flores, Giovanni.	74
<i>Distribución y caracterización microscópica de microplásticos en agua de los ríos Tula y Salado, Hidalgo, México</i>	
Anaya Hernández, Arely; Aguilar Hernández, Berenice; González Hernández, Elio Israel.	76

<i>Potabilización de agua superficial con residuos de frutas como alternativa natural a los químicos</i> Díaz Martínez, Guillermo; Navarro Amador, Ricardo; Flores Cervantes, D. Xanat.	78
<i>Recuperación del calcio del agua residual de la nixtamalización como hidroxapatita para aplicaciones biomédicas</i> Valenzuela, Edgardo I.; Cervantes-Avilés, Pabel A.	80
<i>Evaluación del pretratamiento campo magnético y ultrasonicación en lodos residuales para la producción de metano</i> Reza Chávez, Edwin Aldair; Gutierrez-Macias, Tania.	82
<i>Diseño de un prototipo de un humedal artificial para el tratamiento de un agua residual en el municipio de Tizayuca, Hidalgo</i> Rodríguez Negrete, Ingrid Ximena; Rangel Martínez, Yamile; Baños Rodríguez, Ubaldo.	83
<i>Remoción de contaminantes emergentes mediante procesos de superficie y oxidación avanzada</i> Meléndez López, Adriana Leticia; Cruz Castañeda, Jorge Armando; Negrón Mendoza, Alicia.	85
<i>Producción de energía eléctrica en celdas de combustible microbiana utilizando como sustrato lodos residuales</i> Esquivel Sotelo, Alberto; Mijaylova, Nacheva; Gutierrez Macias, Tania.	86
<i>Humedal artificial en la escuela Zacatelco" en Tlaxcala: tratando el agua gris para reusarla</i> Barojas Castañeda, Brayan Agustín; Fernández Carreto, Giselle Alejandra; Montiel Martínez, Aidée	88
Cultura del agua	91
<i>Nueva Cultura Hídrica: procesos sociales y comunitarios en torno al agua en 5 cuencas del estado de Guerrero</i> Quevedo Castañon, Natasha Mylena; Sampedro Rosas, María Laura	92
<i>Conectando vidas para un futuro sostenible: agua y agricultura en un área natural protegida</i> Baez-Horihuela, Alma Ivonne; Cotler-Ávalos, Helena; Barrientos-Rivera, Guillermina.	94
<i>Propuesta integral para la conservación del charal de la preciosa, (Poblana letholepis, Álvarez 1950), Puebla, México.</i> Ramos Contreras, Daniela; Cruz Aviña, JR; Álvarez González, CA	96
<i>Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión hídrica en la subcuenca río Nexpa, Guerrero</i> Pérez Reyes, Sendy Atzy; Quevedo Castañon, Natasha Mylena; Escobar Neira, Carolina; Sampedro Rosas, María Laura	98
<i>Propagación de la sequía meteorológica a sequía hidrológica en la cuenca del río Conchos, México</i> Ceballos-Tavares, Jesús Alberto; Ortega-Gaucin, David	100

<i>Presentación del Laboratorio Nacional Conahcyt de Evaluación de la Integridad Ecológica en Sistemas Acuáticos Dulceacuícolas (LAN – EVIESAD)</i>	
Rodríguez-Romero, Alexis Joseph; Alonso Eguía-Lis, Perla Edith Cruz; López López, Eugenia; Sedeño Díaz, Jacinto Elías; Vázquez Hurtado, Gabriela; Medina Nava, Martina; Piñón Flores, Miguel Aurelio; Barba Macías Everardo; Rico Sánchez, Axel Eduardo; Mercado Silva, Norman	101

Medio Ambiente 103

<i>Impactos de los sectores productivos en el Golfo de California: análisis de los riesgos en cadena</i>	
Olvera Fuentes, Norma Elizabeth; González Villarreal, Fernando J.	104
<i>Hacia nuevos modelos urbano-regionales desde la gestión del agua: el caso de la Ciudad de México</i>	
Estefan Fuentes, Laila Patricia.	106
<i>Lirio acuático en cuerpos de agua: Una revisión científica y tecnológica</i>	
Martínez Muñoz, Ana Laura; Gayosso Morales, Manuel Aaron; Valdez Calderón, Alejandro; Gonzalez Pérez, Brenda Karen.	108
<i>Identificación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como estrategia de conservación para el área de captación del ANP Lago de Texcoco.</i>	
Márquez Zárate, Julio César; Ugalde Lezama, Saúl; Arévalo Galarza, Gustavo Antonio.	110





MEMORIAS DE V DIÁSPORA HÍDRICA

Gestión de recursos hídricos



Análisis de la GIRH a nivel municipal en la cuenca del río Magdalena, CDMX

Aceves Fonseca, Esteban.

Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Unidad de Posgrado Edificio D primer piso
Ciudad Universitaria, CDMX.

eacevesfonseca@gmail.com

Palabras clave: Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH), cuenca del río Magdalena, gobernanza del agua, debilidad institucional, gobierno municipal.

En la Ciudad de México (CDMX), el organismo operador de aguas tiene a su cargo la prestación de servicios relacionados al agua así como diseñar y aplicar planes para la gestión y gobernanza del agua, que de acuerdo con la actual Ley de Aguas Nacionales, debe ser a través del enfoque de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). Este enfoque se identifica en los Programas Nacionales Hídricos, documentos que guían la política hídrica del país, sin embargo, a nivel local en la CDMX existen varios estudios que demuestran que los cuerpos de agua en la ciudad se encuentran en constante deterioro, por lo que su manejo no ha sido exitoso. En este trabajo se analiza cómo se integra la GIRH a los planes de manejo estatales y municipales para el manejo de la cuenca del río Magdalena, en la cual se ha observado un deterioro crónico ambiental. En primer lugar se definen los principios básicos de la GIRH para hacer un análisis de contenido mediante codificación de los documentos de planeación y evaluación de los tres niveles de gobierno y se complementa con un análisis secundario de información proveniente de notas en medios electrónicos, tesis y artículos publicados en revistas científicas. El análisis de contenido de los documentos gubernamentales mostró una dilución de los principios de la GIRH desde el nivel federal hacia el nivel municipal, donde también los documentos disponibles fueron más escasos. El análisis secundario de información mostró que la calidad ambiental de la CRM no ha mejorado, contrario a lo reportado en los documentos gubernamentales y que las instituciones académicas han cubierto aspectos deficientes de la GIRH en el manejo de la cuenca, pero también muestran que hay aspectos que deben considerarse como la inclusión de la comunidad agraria presente. Este caso de estudio también muestra que es necesario que la próxima legislación nacional de aguas tome en cuenta maneras alternativas de gestión que a veces son más antiguas que la GIRH o que aparecen en regiones donde no se puede aplicar la GIRH por falta de capacidades. Finalmente, se concluye que los gobiernos municipales y estatales están superados por sus atribuciones, lo cual se manifiesta en la falta de un programa de manejo, los conflictos socioterritoriales y el deterioro ambiental de la CRM.



La huella de agua y su importancia en la política hídrica de México

Loredo Rasgado, Jesús.

Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

jesus.loredo@ingenieria.unam.mx

Palabras clave: Escasez, huella de agua, degradación.

El agua es esencial para los procesos naturales de la Tierra y su acceso constituye un derecho humano básico. Lamentablemente, problemas como la escasez y la contaminación del agua tienen efectos adversos en los ecosistemas y afectan la coexistencia humana.

El agua destinada al consumo humano directo representa solo el 4 % del total disponible. La mayor parte del consumo de agua se encuentra en los productos utilizados por las personas, incluyendo la producción de alimentos, ropa, procesos industriales y generación de energía. Además, a través de la importación y exportación, intercambiamos diversos productos que requieren agua para su elaboración. Por ello, es crucial analizar indicadores que nos permitan cuantificar los impactos humanos sobre los recursos hídricos. Para calcular y analizar la cantidad de agua necesaria para la producción de bienes y servicios de consumo humano, en 2002, el investigador Holandés Arjen Hoekstra introdujo el concepto de huella hídrica. Esta herramienta permite una visión integral de nuestro impacto en los ecosistemas y el medio ambiente a través del uso del agua. Hoekstra desarrolló una metodología que clasifica el origen del agua en tres categorías: azul, verde y gris. El agua azul proviene de fuentes superficiales, el agua verde de la precipitación, y el agua gris se refiere al agua necesaria para asimilar los contaminantes. No obstante, esta metodología presenta una limitación. Al considerar solo los volúmenes de fuentes específicas de agua, no es posible sumar los valores de agua azul, verde y gris, ya que, aunque se expresan en las mismas unidades, su origen y concepto son diferentes. Además, no permite medir los impactos ambientales de manera específica.

Sin embargo, en 2014 se introdujo una nueva metodología para estimar la huella hídrica, basada en la norma internacional ISO 14046 y el análisis del ciclo de vida. Esta metodología permite cuantificar los impactos potenciales sobre el medio ambiente relacionados con el agua a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto o proceso, desde la extracción de materias primas, la producción y el uso, hasta el tratamiento final, el reciclaje y la disposición final. Los impactos pueden ser evaluados mediante indicadores como la escasez de agua, la eutrofización, la ecotoxicidad acuática, la acidificación acuática, la contaminación térmica y la toxicidad humana, entre otros.

El propósito de esta investigación es cuantificar los impactos ambientales de la escasez y la contaminación del agua, utilizando la huella de agua como indicador. Esto permitirá aplicar los resultados en la toma de decisiones para la gestión del agua en México y considerar su posible inclusión en las políticas hídricas del país. Después de implementar este método, se podrá medir de manera cuantitativa los impactos ambientales, especialmente en lo que respecta a la escasez de agua y la ecotoxicidad acuática. Integrando estos dos elementos, será factible determinar la huella hídrica en términos de cantidad y calidad del agua.



Género, pobreza e injusticia hídrica en una región indígena de México

Barro Marín, María Guadalupe.

Doctorado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

mar_bama@hotmail.com

Palabras clave: etnicidad, injusticia hídrica, género, socioambiental, trasvase.

Género y etnicidad han sido componentes clave en la generación de profundas inequidades en los pueblos indígenas. La discriminación, las desigualdades y las relaciones de poder limitan el acceso al agua a la población. Por ello, en México la adopción de la Agenda 2030 ha enfatizado en la necesidad de empoderar a las mujeres y lograr la igualdad de género, así como la UNESCO reconoce el conocimiento indígena y los derechos comunitarios del agua. Esto se justifica porque en nuestro país la población en hogares indígenas es de 11,800,247 personas, que representa el 9.4 % de la población total (INEGI, 2021).

El presente trabajo estudiará una región indígena con población mazahua del Estado de México, entre los municipios de San José del Rincón, Villa de Allende y Villa Victoria, y de ahí se derivarán estudios de caso. Los mazahuas son el pueblo indígena más numeroso en la entidad mexicana (COESPO, 2021), por eso esta investigación busca evidenciar las problemáticas de las mujeres mazahuas; para participar en la gestión comunitaria del agua, en un contexto de vulnerabilidad climática, pobreza, alta marginación, injusticia social y desigualdad hídrica por el trasvase de agua a través del Sistema Cutzamala a la Ciudad de México.

La región mazahua es una zona con alto valor ambiental, por la presencia de bosques que contribuyen a la recarga de acuíferos. Es estratégica para la conservación de la biodiversidad. Desde hace décadas ha sido sometida a presiones de diversa índole que perturban la disponibilidad de los recursos hídricos; el despojo de agua, la deforestación, el cambio de uso de suelo, el uso de agroquímicos y la variabilidad climática. A ello se suman las limitantes (por su falta de reconocimiento jurídico y financiamiento público) que enfrentan las organizaciones comunitarias encargadas de gestionar el recurso hídrico, y aún más, las restricciones de las mujeres para participar en la toma de decisiones.

Las ciencias de la sostenibilidad y la ecología política ofrecen un marco teórico y metodológico para ubicar el papel de los actores y estudiar la cuestión de género y etnicidad como área de conocimiento para garantizar la sostenibilidad en la región mazahua. Para ello, las aproximaciones conceptuales hasta ahora planteados son: injusticia hídrica, etnicidad, género, gestión del agua, seguridad hídrica, trasvase y vulnerabilidad climática.

A nivel de política del agua se requiere favorecer la participación de las mujeres mazahuas en la gobernanza del agua, fortaleciendo sus habilidades y capacidades, para así involucrarse en la toma de decisiones y en el acceso al poder sobre este vital líquido. Además de que debe considerar la diversidad cultural y étnica en el territorio, como son las regiones indígenas. El diseño de la investigación se fundamenta en el paradigma de la sostenibilidad, con miras a tener incidencia social por medio de la



transdisciplinariedad. Con ese fin, se plantea realizar trabajo colaborativo que involucre a los actores sociales y políticos, así como a la población mazahua (principalmente mujeres).



Gestión integral de diseño: mitigación del riesgo en ciudades metropolitanas inundables

López Ortiz, Jorge.

Universidad Autónoma de Yucatán, Yucalpetén 97238, Mérida, México.

jorge.lebeau@gmail.com

Palabras clave: Gestión de riesgo, urbanismo, áreas metropolitanas, planificación territorial. Prevención de riesgos.

El acceso a la vivienda en Latinoamérica se caracteriza por presentar rezagos en la atención a las demandas sociales, de población vulnerable en condiciones de pobreza. Esto repercute en la generación y expansión de asentamientos expuestos a amenazas socio naturales, hacia la periferia y municipios con menos regulaciones, lo que aumenta la desigualdad y segregación socioeconómica. En México, los asentamientos enfrentan presiones por la falta de suelo apto para vivienda y a la transición de áreas rurales a urbanas destinadas al desarrollo inmobiliario. Las ciudades se expanden sobre zonas próximas a escurrimientos y se exponen a amenazas, con afectaciones cotidianas que escalan cuando se genera una emergencia. Los gobiernos han recurrido a la gestión integral de riesgos desde un enfoque correctivo, para reparar daños que amenazas causan sobre comunidades cuando se consolida un desastre. Este enfoque ha reforzado los protocolos de protección civil y se ha desarrollado tecnología para construir sistemas de alerta temprana, sin embargo, es insuficiente. En América Latina, del 2005 al 2012, los desastres causaron 240 mil muertes, pérdidas por 85 mil millones de dólares estadounidenses y 57 millones de afectados. México es un país expuesto a amenazas hidrometeorológicas debido a su localización geográfica, su morfología y la forma en que se han desarrollado las ciudades, cuyo desarrollo se orienta a la explotación de actividades humanas sin considerar las características del territorio. Las experiencias con desastres asociados a inundaciones han obligado a replantear las políticas en materia de gestión, sin embargo, persiste la idea de abordarlo hacia la adaptación tras un desastre. Se requieren acciones de gobernanza en la gestión del riesgo hacia la prevención, para reducir muertes y costos de recuperación desde la planificación. Las ciudades desenvuelven sus actividades cotidianas sobre el territorio, sin comprender las complejidades de los procesos naturales y las amenazas que las impactan. El efecto de los fenómenos hidrometeorológicos en las ciudades influye significativamente en la vida de la población que coexiste en entornos vulnerables con infraestructuras obsoletas. La falta de acceso a la vivienda digna, contribuye al aumento de asentamientos en zonas expuestas al riesgo, que requieren de una serie de políticas y acciones para mitigación; en contraste, el espacio público representa una oportunidad para dignificar a la comunidad y dotar con herramientas eficaces en la deconstrucción del riesgo. La gestión del riesgo, requiere insertarse en la planificación del territorio desde el enfoque de la prevención, para construir estrategias integrales que expongan la complejidad de los entornos naturales y su capacidad para mitigar el daño que generan las amenazas hidrometeorológicas sobre las comunidades. La gestión integral de diseño establece un modelo de decisión, que acompaña a la comunidad, para entender fenómenos y territorios desde un enfoque local, la identificación de sectores aptos y expuestos, con el objeto de establecer estrategias diferenciadas de mitigación en el espacio público, como medida para coadyuvar en la construcción de espacios



habitables en asentamientos vulnerables, para consolidar herramientas de decisión y mejorar la interacción entre actores urbanos. El riesgo es caracterizado mediante sistemas de información geográfica, para entender las condicionantes que exponen al territorio y la percepción de las capacidades y vulnerabilidades urbanas, lo que conlleva a definir lineamientos de instrumentación del modelo con procesos de evaluación y retroalimentación. Este enfoque, se desarrolla para el caso de ciudades con carácter metropolitano, como el caso Mérida, en Yucatán, donde habitan comunidades que coexisten con amenazas hidrometeorológicas. Presentan un potencial para impulsar medidas basadas en la naturaleza e infraestructura verde a través del espacio público.



Hacia un mejor manejo del agua para el avance del derecho humano: las organizaciones locales

Zavala Vázquez, Luz del Carmen.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550, México.

carmen.imta@gmail.com

Palabras clave: gestión comunitaria, derecho humano al agua.

El agua, es un tema que cada día cobra mayor importancia, ya que es bien sabido que este recurso se encuentra bajo presión creciente y que el aumento en su demanda atribuye la necesidad de gestionar este recurso de manera adecuada y de realizar un uso más eficiente, pues muchas personas, aún carecen de un suministro suficiente, adecuado y de calidad para satisfacer sus necesidades básicas.

Dotar de agua potable a la población es un reto institucional y comunitario; poder llevar el agua a todas las personas aún no ha sido posible, a pesar que el Estado Mexicano está obligado a garantizar el abastecimiento de este recurso a su población, debido a su reconocimiento como derecho humano al agua en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, y que a doce años, se tiene un hueco en su cumplimiento, por lo que en muchos de los casos los pueblos se han organizado para autoabastecerse del servicio y cuidar sus fuentes de agua.

Hablar de gestión comunitaria del agua nos lleva a pensar en los habitantes de una comunidad, en la manera en como estos se involucran de forma colectiva persiguiendo el logro de un mismo fin, autoabastecerse de agua. En México esta conformación de grupos se hace presente en numerosas localidades rurales las cuales principalmente se presentan en lugares alejados y marginados, aunque también se pueden ver en zonas periurbanas y urbanas. Son heterogéneas y no existe un concepto único que las defina ni que las nombre, pero se advierte que muchas de ellas, llevan a cabo sus funciones en condiciones complicadas respecto a aspectos técnicos, legales, organizativos, entre otros, ante esta situación, es substancial dotar de herramientas a estos comités, sistemas y organizaciones locales del agua para que logren continuar con su labor. En el estado de Morelos en la legislación local, la Ley Estatal de Agua Potable reconoce únicamente a cinco tipos de prestadores de servicios públicos para el abasto de agua potable y alcantarillado: organismos operadores municipales, organismos operadores intermunicipales, la Comisión Estatal del Agua, grupos organizados de usuarios del sector social, y particulares que cuenten con concesión, ante esto, las organizaciones locales del agua que no están constituidas jurídicamente ¿pueden perder atribuciones ante el municipio? ¿Qué otros factores afectan a la limitación de sus capacidades?

El objetivo de este trabajo es formular estrategias de fortalecimiento para las organizaciones locales del agua en la cuenca del Río Cuautla, a fin de que puedan constituirse como actores claves en el cumplimiento del derecho humano al agua, a través de un diseño metodológico cualitativo.

Su importancia radica en la aportación que pueden hacer al cumplimiento del derecho humano al agua a pesar de las limitaciones, es importante resaltar que esta conformación o agrupación de habitantes que buscan tener o mejorar sus servicios de agua no exime al municipio de sus obligaciones como lo marca el artículo 115



constitucional, estas instancias abastecen de una manera autónoma sus necesidades básicas de agua e indirectamente garantizan el cumplimiento del derecho humano al agua por lo que se debería implementar sistemas de apoyo y de reconocimiento legal.



Estimación espacio-temporal de la recarga natural del acuífero Chupaderos mediante el uso de percepción remota

López Cuevas, María de Jesús¹; Pacheco Guerrero, Anuard Isaac²; Ortiz Robles, Fidel Alejandro³; Villalobos de Alba, Ángel Alfonso⁴; Olmos Trujillo, Edith⁵; Dzul García, Oscar Antonio⁶.

¹Maestría en Ingeniería Aplicada con Orientación en Recursos Hidráulicos Universidad Autónoma de Zacatecas, República de Brasil 17. C.P. 98612. Guadalupe, Zacatecas. México

mariadejesuslopezcuevas@gmail.com

Palabras clave: Agua subterránea, Acuífero, Recarga, SIG, Balance de Humedad.

El Estado de Zacatecas cuenta con 34 acuíferos, 20 de los cuales están en déficit, uno de ellos es Chupaderos, que es fuente principal de aprovechamiento hídrico para la región sur del Estado de Zacatecas, donde se asienta un considerable porcentaje de la población zacatecana y se desarrolla gran actividad económica, industrial y agropecuaria. Para este manto subterráneo el volumen de extracción es de 188,453,226 m³/año, presentando un déficit de 101,853,226 m³/año. Este estudio se realizó con el objetivo de estimar la recarga natural bajo un enfoque espacio-temporal mediante percepción remota, obteniendo datos satelitales de precipitación y temperatura mensual acumulada mediante la interfase GIOVANNI-NASA para el año 2020. Se analizaron las propiedades físicas y geomorfológicas del suelo (tipo y uso, textura y vegetación) empleando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para generar mapas vectoriales y ráster geoespaciales para la información climatológica y de los parámetros hidrogeológicos y de humedad del suelo, definiendo las zonas de recarga para el acuífero.

La clasificación del suelo en la zona es: bosque, matorral, pastizal, agricultura de riego (chile) y agricultura de temporal (frijol). La textura del suelo es: franco-arcilloso, franco, franco-arenoso, arcilloso y arcillo-arenoso. Lo anterior para utilizar la metodología de Schosinsky en donde se calcula la retención, coeficiente de infiltración, precipitación que infiltra, escurrimiento, humedad disponible, evapotranspiración y la recarga. Los resultados del análisis consideran importante la cobertura vegetal y la distribución de la precipitación en la zona de estudio, ya que el área que más recarga presenta es donde se encuentran los bosques y matorrales y en zonas donde predomina el suelo arenoso y franco-arenoso. El valor medio de la lámina de agua corresponde a 27.279 mm/año, cuyo valor difiere con el presentado por CONAGUA, mismo que han estado presentando desde el año 2020, como una ecuación de balance en donde se define como una lámina uniforme, presentando un volumen de recarga único. En este trabajo se puede observar la variación espacial sobre toda el área del acuífero, manejando un pixel de 0.002°x0.002° que contiene información del análisis realizado. Concluyendo que la preservación de la vegetación y gestión de los ecosistemas es esencial para que se permita mayor infiltración y recarga.



Volcán de fuego, montaña de agua: un modelo colectivo para el manejo del territorio

Santana Guzmán, Marcela.

PFONNOR A.C, Del cedro #38 Cofradía de Suchitlán.

marcela.santana@fonnor.org

Palabras clave: biodiversidad, conservación, cuenca.

La escasez de agua en la zona norte de Colima ha generado gran preocupación entre sus habitantes, quienes han alzado la voz frente a una problemática cada vez más evidente. Las Instituciones Oficiales han confirmado que cinco de los diez acuíferos del estado se encuentran en ceros administrativos, lo que implica que la recarga de agua no es suficiente para cubrir la extracción, anticipando un posible abatimiento de estos acuíferos en los próximos años. Esta zona es rica en recursos naturales, resulta atractiva para el desarrollo agropecuario e inmobiliario, ocasionando cambio de uso de suelo, reduciendo la cobertura vegetal y la capacidad de infiltración de agua, exacerbando desigualdades sociales y aumentando la vulnerabilidad al cambio climático.

Volcán de fuego, montaña de agua es una iniciativa que tiene por objetivo impulsar la acción colectiva para la conservación y buen manejo del territorio en las faldas del Volcán de Fuego de Colima, para así aportar a la recarga de los cuerpos de agua y a la calidad ambiental de esta zona en el norte del estado de Colima y sus entornos rurales, ampliando el alcance e impacto hacia zonas urbanas y sub-urbanas.

Para lograr su objetivo la iniciativa sigue un modelo participativo donde se realiza diagnóstico, implementación y monitoreo de la mano de las comunidades. Se trabaja en cuatro ejes principales: Conservación y protección de la naturaleza, donde por medio de monitoreos de biodiversidad se promueve el conocimiento local para el manejo y protección comunitario de los recursos naturales; Reconversión productiva, fortaleciendo a los productores en buenas prácticas agrícolas y pecuarias, presentando alternativas productivas sostenibles; Más y mejor agua para las comunidades, instalando sistemas de captación de agua de lluvia y filtros de aguas jabonosas para evitar su descarga e infiltración directa en el acuífero y monitoreo comunitario de la calidad ecológica de los ecosistemas acuáticos; Reverdecer la ciudad, impulsando la implementación de infraestructura verde-gris para atender los problemas urbanos como islas de calor e inundaciones.

Durante los primeros 3 años del proyecto, los principales logros fueron:

- Gestión del decreto de conservación de 1,300 hectáreas en la zona comunal del ejido de Quesería, en las faldas del Volcán de Colima.
- Elaboración del Diagnóstico para el Manejo Integrado de Cuencas.
- Monitoreos de biodiversidad donde se registraron los primeros avistamientos del jaguar en zona volcánica.
- Posicionamiento del proyecto en el estado de Colima, implementando estrategias de comunicación.



-Participación en foros nacionales e internacionales.

Actualmente, se trabaja en incidencia en política pública para reformar reglamentos y poner en marcha un mecanismo de compensación por servicios hidrológicos para mejorar la calidad de vida de los habitantes de los sitios de infiltración y recarga del acuífero, así como un modelo de recaudación para financiar acciones de reconversión productiva en las comunidades e implementación de ecotecnias.



Las memorias sociohídricas como herramientas de gestión del territorio y del agua del río Amatzinac

Yañez Reyes, Diana Laura¹; Pérez Mendoza, José Salvador Esteban²; Vélez Pliego, Francisco³.

¹Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades “Alfonso Vélez Pliego” (BUAP), 2 Nte 1006, CP 72000, Pue, Pue. México.

²Profesor investigador de la Facultad de Economía (BUAP), edificio ECO2 Ciudad Universitaria, 72592 Pue., Pue. México.

³Profesor investigador del Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades “Alfonso Vélez Pliego” (BUAP), 2 Nte 1006, CP 72000, Pue, Pue. México.

yareydl@hotmail.com

Palabras clave: memorias sociohídricas, territorios, territorialidad comunitaria y sustentabilidad del agua.

Ubicado al sur del volcán Popocatepetl nace el río Amatzinac, el cual ha permitido a las comunidades próximas, el desarrollo de una importante actividad agrícola. Sin embargo, del caudaloso río, hoy sólo queda un vago recuerdo, ya que Tetela del Volcán, Hueyapan (Morelos) y Alpanocan (Tochimilco, Puebla) han generado el uso irregular e intensivo del caudal de agua, a través de la colocación de cientos de mangueras, con las cuales, captan y desplazan el cauce del río, para el riego de sus parcelas productoras de monocultivos.

Esta práctica, que comenzó a mediados del siglo pasado simultáneamente con la expansión macroestructural del neoliberalismo, el cual impulsó la apertura a nuevos mercados agrícolas e intensificó el uso desmedido del agua, ha modificado con ello, los entramados locales y la cohesión regional de las comunidades, lo que ha derivado en accesos diferenciados e irregulares del uso del agua, creando conflictos continuos por el uso del bien natural.

En este contexto, la investigación que realizamos conduce a observar que las memorias sociohídricas juegan un doble papel. Por un lado, condensan y guardan una serie de elementos que refuerzan las acciones materiales tendientes a acrecentar los procesos productivos y, por el otro, pueden entenderse como procesos cognitivos a definir, ordenar y plasmar; intereses, necesidades y subjetividades que, esencialmente, guardan importantes vínculos sociohistóricos de la interacción de los sujetos con el agua.

Dos aspectos que no han sido explorados y que junto con el reconocimiento y propuestas nuevas nos llevan a proponer a las memorias como elementos que coadyuben al uso razonable del agua. Ya que dentro de las memorias sociohídricas operan nociones de pertenencia e identidad y procesos de mantenimiento de determinadas formas de organización colectivas/comunales, como también huellas que se pueden reestructurar, resignificar y reorientar hacia sentidos prácticos que coadyuven a fomentar la sustentabilidad desde los mismos sujetos.

En el entendido de que las memorias colectivas se conforman de experiencias que permanecen, se olvidan y se transforman dentro de una interacción de circunstancias históricas y presentes. Por lo que se considera importante identificar los procesos de



la transmisión, herencia y aprendizaje, cómo la extensión intergeneracional de ciertos conocimientos y reappropriaciones en la relación entre la sociedad, el territorio y el agua, los grados de exposición a factores alienantes como la adopción de factores y dinámicas externas, que se manifiestan en las expresiones locales.

Sobre todo, al comprender que los procesos cosmogónicos e identitarios de los sujetos conforman un marco interpretativo abierto, que cobra sentido en las prácticas cotidianas. La exposición que se propone forma parte de una investigación en proceso y se considera relevante ya que aporta parámetros esenciales para comprender la interacción social, económica, política y ambiental que ha llevado a las localidades de estudio a readecuar las memorias ante un avasallante modelo económico en el que prevalece el mercado supeditando lo social y lo natural.



Evaluación del impacto de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales de México: recomendaciones para su fortalecimiento.

Moreno Salinas, Alma Leslie.

Estudiante del Doctorado en Derecho por la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional Autónoma de México.

303140629@derecho.unam.mx

Palabras clave: Acto de inspección, aguas nacionales y tutela de las aguas nacionales.

Resumen

Se presenta un resumen general del trabajo de tesis que la autora está desarrollando dentro del programa de doctorado en Derecho, en la Facultad de Derecho de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyo objetivo es evaluar el impacto de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales de México durante el periodo de 2014 a 2024, considerando que dichos actos son una de las principales herramientas de la gestión del agua para controlar, regular y preservar su calidad y cantidad a través de la verificación del cumplimiento normativo con una triple finalidad: preventiva, sancionadora y correctiva.

Problemática

En el marco de la crisis hídrica que se vive a nivel mundial, de la cual México no es ajena, ocupando el lugar 26 a nivel mundial y el segundo en Latinoamérica entre los países con mayor estrés hídrico (*World Resources Institute*, 2024), aunado a que resulta asunto de seguridad nacional del Estado mexicano la tarea de preservar, proteger y restaurar las aguas nacionales en cantidad y calidad, a través de su gestión integrada (Ley de Aguas Nacionales, artículo 14 Bis 5); dada la función de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales, considerados como herramienta de gestión del Estado para controlar, regular y preservar la calidad y cantidad de los recursos hídricos, a través de la comprobación del cumplimiento normativo, surge el interés y necesidad por desarrollar la presente investigación.

En ese sentido, los siguientes datos dan cuenta de una primera aproximación de la situación que guardan los actos de inspección en México:

- En 2022 se realizaron 1,858 visitas de inspección en materia de aguas nacionales, lo representa el 4.3 % de los 427 mil 240 títulos inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua. (Conagua, 2022)
- En 2022 se realizaron 510 visitas de inspección en materia de descarga de aguas residuales en aguas nacionales o sus bienes públicos inherentes, lo que representa el 2.6 % del total de los 19 mil 388 permisos para descargar aguas residuales en 33 mil 584 puntos, inscritos en el Registro Público de Derechos de Agua, desconociendo si en el 97.4 de los permisos otorgados se vertieron contaminantes. (Conagua, 2022)
- De 2013 a 2022 las visitas programadas disminuyeron en 14 % promedio anual (10,916 a 2,812). (ASF, 2022)



- En 2022 se contó con 143 inspectores, 55.9 % (181) menos respecto 2012 (ASF, 2022)
- En 2022 se calificó el 68 % (894) de las 2,812 visitas realizadas y se tenía un rezago adicional de 454 actas de años previos sin calificar. (ASF, 2022)
- En 2022, de las 1,806 multas impuestas por \$304,008 se recaudó el 8 % (\$25,178). (ASF, 2022)
- Se omite imponer sanciones en visitas cuando del resultado del acta se desprende que existe una infracción. (ASF, 2022)

Si bien a dichos datos en mayor parte la problemática podría asociarse a la falta de personal, pueden identificarse otras causales de carácter procedimental y de falta de aplicación normativa que impactan en la eficacia de los actos de inspección en sus funciones preventiva, sancionadora y correctiva, las cuales se expondrán y desarrollarán a lo largo de la investigación a desarrollar.

Delimitación espacio temporal de la investigación

La investigación se circunscribe a la evaluación de los actos de inspección de las aguas nacionales de México desarrollados de 2014 a 2024, periodo seleccionado toda vez que a partir de 2014 es el primer año completo que, como resultado del Decreto por el que se expide la Ley Federal de Responsabilidad Ambiental y se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, de la Ley General de Vida Silvestre, de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, de la Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, de la Ley de Aguas Nacionales, del Código Penal Federal, de la Ley de Navegación y Comercio Marítimos y de la Ley General de Bienes Nacionales publicado en el Diario Oficial de la Federación el 7 de junio de 2013 se otorgan facultades al Ejecutivo Federal en materia de reparación del daño de los recursos hídricos.

Justificación

La investigación cobra relevancia ante el panorama mundial de crisis del agua, catalogada dentro del reporte de Riesgos Globales 2023 del Foro Económico Mundial, entre los riesgos de mayor impacto y con mayores probabilidades de materializarse, aunado a que la Organización de las Naciones Unidas atribuye el estrés hídrico a factores naturales, pero también sociales destacando la mala gestión del agua, dentro de la cual se ubica a los actos de inspección como uno de los mecanismos de gestión con los que cuenta el Estado para controlar, regular y preservar la calidad y cantidad de los recursos hídricos, lo cual justifica el desarrollo del presente proyecto de investigación como una aportación trascendente, al buscar proporcionar una evaluación objetiva, sustentada en datos duros, de la situación real de los actos de inspección como mecanismo de tutela y herramienta de gestión del Estado de las aguas nacionales, que sirva como base para la definición de la política pública en materia hídrica encaminada a la prevención, sanción y reparación; relevante, al pretender generar una propuesta que fortalezca la eficacia de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales, contribuyendo a su vez a la construcción de una mejor gestión de los recursos hídricos, a la solución del problema nacional de estrés hídrico y a la tarea del Estado de proteger, promover, respetar y garantizar el derecho humano al agua, a un medio ambiente sano,



alimentación, salud y a la vida; y novedosa, al generar conocimiento de la triple función de los actos de inspección (preventiva, sancionadora y correctiva), siendo un nuevo antecedente de la tutela de los recursos hídricos en el marco del derecho ambiental.

Objetivos

Como objetivo general se plantea “evaluar el impacto de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales de México de 2014 a 2024 para generar una serie de recomendaciones encaminadas a su fortalecimiento”.

En tanto, como objetivos específicos los siguientes:

- Analizar la función de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales de México, con el objeto de contar con un marco teórico conceptual base para el desarrollo de la investigación.
- Analizar cómo han impactado los actos de inspección en la conservación de la cantidad de las aguas nacionales de México de 2014 a 2024, con el objeto de evaluar de manera integral su impacto en la tutela de las aguas nacionales.
- Analizar cómo han impactado los actos de inspección en la conservación de la calidad de las aguas nacionales de México de 2014 a 2024, con el objeto de evaluar de manera integral su impacto en la tutela de las aguas nacionales.
- Formular las recomendaciones normativas, de política pública e institucionales pertinentes que resulten de la evaluación para el fortalecimiento del impacto de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales de México.

Metodología

Se prevé desarrollar la investigación bajo un enfoque empírico, utilizando los siguientes métodos:

1. Analítico: A través de la fragmentación del acto de inspección con base en sus funciones para preservar la calidad y cantidad de los recursos hídricos (preventiva, sancionadora y correctiva), a efecto de evaluar las variables de cada una en lo particular, las relaciones causales entre ellas y su impacto conjunto en la tutela de las aguas nacionales.
2. Cuantitativo: Recabando y sistematizando datos observables de los actos de inspección con el objeto de construir indicadores (universo de usuarios, metas programadas, número de actos, usuarios que cumplieron, usuarios que incumplieron, sanciones impuestas, sanciones cumplidas, recuperación de volúmenes, remoción de contaminantes, etc.) que permitan evaluar de manera cuantitativa, a través de la estadística, cómo han impactado en la protección de la cantidad y calidad de las aguas nacionales a través de su regulación y el ejercicio de su potestad sancionadora y punitiva que incluye acciones de reparación del daño (tutela).
3. Cualitativo: A través del estudio de dos casos representativos en materia de reparación del daño hídrico por orden judicial: La contaminación de aguas superficiales por el derrame ocurrido en el río Sonora ocasionado por Grupo México y la sobreexplotación del acuífero Principal-Región Lagunera en Coahuila.



Resultados esperados

Se prevé que la investigación resulte en la generación de:

1. Una evaluación objetiva, sustentada en datos duros, de la situación real de los actos de inspección como mecanismo de tutela y herramienta de gestión del Estado de las aguas nacionales para preservar su calidad y cantidad.
2. Bases sólidas para la definición de una política pública de impacto en materia hídrica encaminada a la prevención, sanción y reparación del daño.
3. Un modelo propositivo normativo, de política pública y/o de modificación institucional requerida para fortalecer el impacto de los actos de inspección en la tutela de las aguas nacionales y convertirlos en una herramienta eficiente de la gestión hídrica, contribuyendo a su vez a la construcción de una mejor gestión de las aguas nacionales, a reducir el estrés hídrico y a la tarea del Estado de proteger, promover, respetar y garantizar el derecho humano al agua, a un medio ambiente sano, alimentación, salud y a la vida.
4. Un nuevo antecedente, a partir de la generación de conocimiento empírico, de la tutela de los recursos hídricos desde una visión biocéntrica en el marco del derecho ambiental.

Bibliografía:

Auditoría Superior de la Federación (2024), Auditoría de Desempeño 2022-5-16B00-07-0078-2023 de la Comisión Nacional del Agua en la Gestión de las Concesiones y Asignaciones de las Aguas Nacionales.

Comisión Nacional del Agua (2023), Estadísticas del Agua en México.

Comisión Nacional del Agua (2024), Respuesta a la solicitud de información con folio 330009424001039.

Organización de las Naciones Unidas (2002), Observación general N° 15: El derecho al agua.

World Economic Forum (2023), The Global Risks Report 2023.

World Resources Institute (2024), Water Stress, Aqueduct Country Rankings.



Cruces conceptuales entre el derecho humano al agua y el saneamiento (DHAS) y los territorios hidro- sociales. un análisis desde los sistemas comunitarios de agua

Tercero Cruz, Laura Priscila.

Doctorado en Seguridad Hídrica, Posgrado IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, 62550 Jiutepec, Mor.

laura.tercero@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: Derecho humano al agua, territorios hidrosociales, sistemas comunitarios.

En el marco del estudio de los Sistemas Comunitarios de Agua (SCA) en el sureste de México, particularmente en Guerrero, este trabajo busca señalar los cruces conceptuales entre Derecho Humano al Agua y al Saneamiento (DHAS) y los territorios hidrosociales. Primero es importante señalar que el DHAS, recupera la visión de organismos internacionales de derechos humanos vinculados al agua. Particularmente, el IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2023) señala que en dicho derecho, se puede distinguir cuatro criterios centrales y otros transversales a saber; 1. Disponibilidad, 2. Aceptabilidad, 3. Calidad, y 4. Accesibilidad, a su vez este último criterio, tiene otros transversales como la accesibilidad física, asequibilidad, no discriminación y acceso a la información. (Cutiérrez Rivas, 2016).

Por su parte, el concepto de territorios hidrosociales (Boelens, 2016) señala cinco componentes: flujos de agua, acciones humanas, relaciones ecológicas, medios financieros e infraestructura hidráulica. Por tanto, este trabajo busca señalar los cruces entre estas categorías como un aporte conceptual para analizar los SCA en tanto a su funcionamiento, alcance, capacidades, y pueda contribuir para el entendimiento y resolución de conflictos hídrico- políticos que se suscitan en los espacios donde operan los SCA (comités comunitarios, juntas locales, entre otros).





MEMORIAS DE V DIÁSPORA HÍDRICA

Seguridad hídrica



Evaluación del desempeño de los modelos climáticos globales (GCMS) del CMIP5 y CMIP6 en México

Ordoñez Sánchez, Alejandro¹; Montero Martínez, Martín José¹; Andrade Velázquez, Mercedes².

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, Jiutepec, C.P. 62550, Morelos, México.

² CONAHCYT—Centro del Cambio Global y la Sustentabilidad (CCGS), Calle Centenario del Instituto Juárez S/N, Colonia Reforma, Villahermosa C.P. 86080, Tabasco, Mexico.

alejandro.ordonez@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: modelos climáticos globales, desempeño, puntaje de habilidad, CMIP5, CMIP6.

Los Proyectos de Intercomparación de Modelos Acoplados, quinta y sexta fase, CMIP5 y CMIP6, respectivamente, son herramientas en las cuales la comunidad científica ha depositado su confianza para predecir los climas futuros con suficiente detalle para ser útiles a efectos de planificación. Actualmente, México carece de un estudio que determine la habilidad individual de modelos climáticos globales (GCMs) del CMIP5 y CMIP6 para reproducir el ciclo anual promedio de la precipitación (Pr), temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin), a nivel nacional y subregionalizado. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es determinar si la precisión o grado de correspondencia individual de 6 GCMs del CMIP6, han mejorado con respecto a sus predecesores del CMIP5, así como, a las observaciones del reanálisis ERA5, para las variables climáticas Pr, Tmax y Tmin, en 4 subregiones del territorio mexicano: noroeste, noreste, sur y sureste. La metodología utilizada para cumplir con el objetivo de esta investigación se integra de tres etapas: (1) Remalleo de la resolución espacial original de los modelos ($\approx 123\text{-}412$ km), hasta la resolución espacial de las observaciones ERA5 ($\approx 25 \times 25$ km), utilizando la técnica de “el vecino más cercano”, por medio de Operadores de Datos Climáticos (CDO, por sus siglas en inglés); (2) Generar diagramas de Taylor, para cada subregión y variable de interés. Dicho diagrama contempla el cálculo de tres estadísticos como es la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE, por sus siglas en inglés), el coeficiente de correlación de Pearson (r) y la desviación estándar (σ); (3) Calcular el puntaje de habilidad individual de los modelos en estudio del CMIP5 y CMIP6, para simular el patrón de variabilidad en el tiempo (ciclo anual) de las observaciones, para las variables de interés. La habilidad se calculó mediante el puntaje S de Taylor. Los resultados indican que, del total de las pruebas de habilidad realizadas en las subregiones del territorio mexicano, el 57 % indican que los modelos del CMIP6, tienen un mayor grado de correspondencia con ERA5 (puntaje de habilidad S , mayor que, los modelos del CMIP5). Las conclusiones de la presente investigación son: (1) La nueva generación de modelos del CMIP6 (modelos seleccionados), es susceptible de utilizarse en estudios de impacto, debido al cambio climático en México; (2) Para la precipitación, en la subregión sureste de México, los seis modelos del CMIP6 obtuvieron un puntaje de habilidad S , mayor que los del CMIP5; (3) Para la temperatura mínima en el noreste y sur de México, en 5 de los 6 modelos evaluados, CMIP6 presentó un puntaje de habilidad mejor que los del CMIP5.

Evaluación de la problemática de abastecimiento y saneamiento de agua en el área periurbana del poniente de la ciudad de San Luis Potosí

Félix Carrillo, Juan José; Aldama Aguilera, Cristobal; Cisneros-Almazán, Rodolfo; Rocha-Escalante, Hermann; Bernal-Jacome, Luis Armando; Berber Mendoza, Maria Selene.

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Dr. Manuel Nava No. 8, Zona Universitaria Poniente, C.P. 78290. San Luis Potosí, S.L.P., México.

a348392@alumnos.uaslp.mx

Palabras clave: calidad de agua, modelo WEAP, agua potable, captación de agua.

Los problemas de ordenamiento territorial y la deficiente gestión de los recursos hídricos han generado que las localidades de Escalerillas y Pozuelos, áreas periurbanas a la Zona Metropolitana de San Luis Potosí, tengan acceso limitado al agua para consumo humano y doméstico y a sistemas de saneamiento adecuados para los habitantes, lo cual, afecta sus necesidades básicas y calidad de vida. El objetivo de la presente investigación busca evaluar y caracterizar las condiciones de acceso al agua potable y saneamiento en cuestiones de potabilización y tratamiento de aguas residuales que permitan generar propuestas técnicas de solución. La información cartográfica se obtuvo del INEGI y del SMN, se procesó a través de un sistema de información geográfica, al mismo tiempo se empleó el uso del software WEAP, que permite estimar demandas y ofertas hídricas para las localidades ya mencionadas. Para la evaluación de la calidad del agua se midieron los parámetros fisicoquímicos con potenciómetros portátiles y por espectrofotometría en campo y en laboratorio. El modelo WEAP ha proyectado un crecimiento poblacional limitado en Escalerillas y Pozuelos, lo que significa que la demanda de agua no aumentará rápidamente. Es crucial destacar que la calidad del agua en las presas y otros sistemas de abastecimiento en la zona indica que es necesario llevar a cabo procesos de potabilización. Para abordar la problemática de abastecimiento de agua, el gobierno ha instalado tanques de almacenamiento de 10 m³, que se llenan con pipas dos o tres veces por semana. Además, se ha construido una planta potabilizadora cuyo suministro depende de la Presa El Peaje, pero debido a la reconstrucción de la cortina de la presa, aún no está operativa. Se está fomentando la instalación de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) como una solución adicional para mejorar el acceso al agua en la zona. Para el tratamiento de agua, a pesar de haber construido una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, está todavía no está funcionando, lo que resulta en la descarga de aguas residuales en el Río Santiago, donde se mezclan con el caudal ecológico de la Presa El Potosino. Del mismo modo, el arroyo El Muerto recibe aguas residuales del Arroyo La Tinaja Prieta (que provienen de la Colonia Insurgentes) y, como lo demuestran los parámetros fisicoquímicos obtenidos en el estudio, estas aguas residuales fluyen hacia la Presa San José, contribuyendo a la contaminación de dicho cuerpo de agua. Por lo que, para intentar atacar el problema de contaminación del agua que fluye hacia presa San José, se trabaja en un diseño de un humedal que permita abonar a la sustentabilidad del área y permita tener una descarga cero de contaminantes.



Incremento del volumen de escurrimiento bajo la curva de recesión por variación en la densidad arbórea

Bravo Jácome, José Avidán.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 62550, México.

jose_avidan.bravo@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: Densidad, especie, árbol, vegetación, modelo.

Por la problemática ambiental y social que se tiene en México, y en muchas partes del mundo por la sobre explotación del agua, es importante dar soluciones para resolver este conflicto. Entre muchos aspectos considerados en un gran número de estudios que intentan atender la problemática, se tienen los modelos hidrológicos, que representan numéricamente el comportamiento del ciclo hidrológico, en el cual, se involucra la cobertura vegetal. Profundizar en el tema de los recursos forestales relacionados con el recurso hídrico, aportará conocimiento en el manejo de la cobertura vegetal como dato de entrada a los modelos hidrológicos, ya que, para su desarrollo, no se considera con detalle la densidad y especie arbórea.

Existen un gran número de estudios relacionados con la densidad arbórea y la producción de agua en los cauces, evapotranspiración o infiltración, sin embargo, diversos autores manifiestan que todavía no se alcanza a comprender este tópico, debido a que las investigaciones se han acotado y no han abarcado todo el abanico de posibilidades como, por ejemplo, investigaciones sobre grandes cuencas o largas escalas de tiempo.

En este trabajo se plantea como objetivo encontrar un punto óptimo de densidad arbórea, que permita un equilibrio entre las variables del ciclo hidrológico como lo son: la evapotranspiración, infiltración, percolación y caudal base, aplicado a la cuenca del río Amacuzac, para incrementar el volumen de escurrimiento bajo la curva de recesión.

Al final de la revisión de trabajos relacionados con el tema propuesto, se concluye que, variando la densidad de cobertura arbórea y el tipo de especie, es posible encontrar el equilibrio entre recarga a los acuíferos y evapotranspiración, y maximizar el aporte al caudal base mediante el aumento del volumen del escurrimiento dado por la curva de recesión del hidrograma. Para la comprobación de la hipótesis se realiza esta investigación en grandes cuencas con largas escalas de tiempo, con el apoyo de modelos hidrológicos de simulación continua.

El inicio del trabajo inicia con la revisión del estado del arte con respecto a los trabajos similares realizados, así como, estudios correspondientes en la cuenca del río Amacuzac. Se caracteriza la zona de estudio con la información pertinente disponible necesaria para el trabajo. Se analizan tres posibles modelos identificados para su uso en la modelación hidrológica, estos son: Hydrotel, Tetis y Swat. De las tres aplicaciones se elige la de mejor desempeño para el objetivo buscado, que es la variación de la densidad y especie arbórea. Posteriormente se construirá el modelo de simulación, se calibrará y se generarán los escenarios propuestos de densidad y especie arbórea incluyendo variación de la lluvia y temperatura por cambio climático. Se realizan n simulaciones en donde se detendrá hasta encontrar el equilibrio entre evapotranspiración, infiltración, caudal base e incremento de la curva de recesión.



Este estudio se encuentra en el inicio del proceso, por lo que se muestran antecedentes, objetivo, hipótesis y metodología.



Tormentas, inundaciones y sequías: hacia un sistema de alerta temprana en México

Dávila Ortiz, Rodrigo¹; Velázquez Zapata, Juan Alberto².

¹Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. División de Geociencias Aplicadas, Camino a la Presa San José 2055, San Luis Potosí, Mexico.

²CONAHCYT-El Colegio de San Luis, A.C., Parque Macul 155, San Luis Potosí, Mexico.

rodrigo.davila@ipicyt.edu.mx

Palabras clave: Sistema de Alerta Temprana en México, Tormentas, Inundaciones, Sequías.

México, por sus características físicas y geográficas, es altamente vulnerable a eventos hidrometeorológicos extremos. Además, varios sectores de la población, afectados por condiciones socioeconómicas, son especialmente susceptibles a estos fenómenos. En los últimos 50 años, el Atlas de Mortalidad y Pérdidas Económicas de la WMO reporta 6,655 muertes por 202 desastres relacionados con el clima en México, siendo las tormentas e inundaciones los más frecuentes. Por otro lado, el cambio climático ha alterado los patrones de precipitación y temperatura, proyectando variaciones en eventos extremos como las sequías, lo que resalta la necesidad de conocer las futuras condiciones climáticas para reducir la vulnerabilidad.

En respuesta a esta situación, se plantea la hipótesis de que la implementación de un sistema integrado de monitoreo, evaluación y comunicación de riesgos hidrometeorológicos utilizando datos del Satélite Ambiental Operativo Geoestacionario - Serie R (GOES-R) y registros climáticos históricos mejorará significativamente la capacidad de respuesta y mitigación ante eventos extremos, reduciendo la vulnerabilidad y aumentando la resiliencia de las comunidades en el estado de San Luis Potosí.

La propuesta de investigación se enfoca en tres aspectos clave para el estudio y análisis del riesgo ante eventos hidrometeorológicos en el estado: la evaluación de sequías meteorológicas, a partir de datos de proyecciones de temperatura y precipitación mensual de 20 Modelos de Circulación General de la atmósfera bajo diferentes escenarios futuros, la implementación de un sistema de alerta temprana para tormentas e inundaciones basado en técnicas de inteligencia artificial y datos GOES-R, y la mejora en la comunicación efectiva del riesgo. La integración de datos satelitales en tiempo real, junto con registros climáticos históricos y la caracterización de la vulnerabilidad social, permitirá generar escenarios de precipitación y evaluar el riesgo potencial de inundaciones fluviales. Los resultados se integrarán en capas temáticas disponibles para consulta pública en un Geoportal.

La novedad de esta propuesta radica en ser el primer trabajo que integra el sistema GOES-R con datos hidroclimáticos y de vulnerabilidad social, estableciendo un precedente para la implementación de un sistema de alerta temprana basado en la integración de datos multifuente. La zona de estudio es el estado de San Luis Potosí, seleccionado por su vulnerabilidad social y susceptibilidad a eventos climáticos extremos. El objetivo final es generar conocimiento que ayude a prevenir riesgos hidrometeorológicos y reducir la vulnerabilidad. La propuesta aborda tres áreas



estratégicas: Agua, Cambio Climático y Seguridad Humana.



Determinación de caudal ecológico en Cuatro Ciénegas, Coahuila

Silva Núñez, Jaqueline; Breña Naranjo, José Agustín.

Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532,
Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

jaqueline.silva@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: Caudal ecológico, pulso de inundación, rendimiento, HEC-RAS, CASiMiR- vegetation.

El Área Natural Protegida (ANP) de Cuatro Ciénegas en Coahuila destaca como el humedal más significativo en el desierto chihuahuense debido a la presencia única de estromatolitos en convivencia con especies vivas como peces y caracoles. Este ecosistema depende principalmente del agua subterránea y se encuentra en una región árida (Breña Naranjo, 2023). Lamentablemente, esta región enfrenta varias dificultades debido a la sobreexplotación del acuífero local, también se ha observado una disminución en el caudal, especialmente durante las temporadas de sequía. El objetivo de este trabajo es determinar el caudal ecológico para implementar los pulsos hidrológicos en el área natural protegida (ANP) de Cuatro Ciénegas, Coahuila utilizando herramientas como los sistemas de información geográfica y el software HEC-RAS, para lograr la recuperación gradual del sistema hidrológico y con ello, la conservación de sus ecosistemas acuáticos y terrestres así como la implementación del software CASiMiR-vegetation para verificar la respuesta dinámica de la vegetación ribereña frente a diferentes escenarios en el caudal. Se han llevado a cabo algunas simulaciones de caudal tomando en cuenta el tipo y uso de suelo y utilizando el modelo digital de elevaciones de la zona. La parametrización utilizada es la siguiente: Los datos de conductividad hidráulica se obtuvieron de un estudio realizado en la zona de humedales elaborado por personal del IMTA. Las condiciones de frontera se definieron de acuerdo al DEM, procurando que la malla permitiera el flujo y no se abnegara la zona de estudio. La condición de entrada se definió a partir de iteraciones y la condición de salida se determinó a partir de la pendiente del canal natural. Se espera que próximamente con el sustento técnico realizado en este trabajo y en colaboración con el IMTA, se estén ejecutando los pulsos de inundación con el caudal ecológico obtenido en el ANP.



La producción agroalimentaria de exportación en un contexto de crisis hídrica en México

Cepeda Arellano, Yessika Mabel.

Centro de Estudios del Desarrollo Económico y Social de la Facultad de Economía de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 4 Sur 104, Centro histórico, C.P. 72000, México.

yessika.cepeda@correo.buap.mx.

A partir de los años 40 del siglo XX, el territorio mexicano se convirtió en parte de un proyecto global para incentivar la producción de alimentos, que aunado a las condiciones geopolíticas del país han promovido su inserción en dinámicas que atienden a la lógica del aprovechamiento de los recursos naturales, las extensiones de tierra para el cultivo, el clima, pero, sobre todo, del acceso al agua. Asimismo, el sector agroalimentario ha sido parte de las metas que busca la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés) para elevar la producción de alimentos y abastecer a una cada vez mayor población en el mundo con el afán de lograr la seguridad alimentaria y México no es la excepción. No obstante, el incrementar la producción de alimentos a nivel nacional ha priorizado que el sector se enfoque en los productos de exportación que le permitan atender a los compromisos internacionales adquiridos mediante sus 14 tratados de libre comercio, pero dando prioridad a los productos destinados al mercado de alimentos de Estados Unidos, a través del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (TMEC). Esto ha generado que el consumo de agua esté orientada a la producción de alimentos de mayor demanda que son la cerveza, el tequila, las berries y el aguacate.

Objetivo.

El objetivo central del trabajo es analizar el incremento de la producción del sector agroalimentario para garantizar los compromisos adquiridos en los mercados internacionales de alimentos y su incidencia en el consumo del agua en México.

Metodología.

Esta investigación se logrará mediante un trabajo narrativo-histórico documental que permitirá explicar las políticas que han sido ejecutado en torno a la producción agroalimentaria y, con base en información estadística, se otorgará un enfoque cuantitativo a la investigación que permitirá identificar el consumo de agua que se destina a la producción de alimentos aunada a la exportación de agua, principalmente, a Estados Unidos.

Resultados y Conclusiones.

Desde el año 2015, México se ha convertido en un país superavitario en su balanza comercial agropecuaria y agroindustrial obteniendo en el año 2022 el valor de las exportaciones agroalimentarias más alto reportado en 30 años, es decir, 5,601 millones de dólares y ha logrado colocarse como el noveno exportador en los mercados internacionales de alimentos (Panorama Agroalimentario, 2023, p. 17). No obstante, nivel nacional, se destina el 76% de total del agua al sector agroalimentario (INEGI, 2018), lo cual coloca al país en una dependencia a nivel transnacional, debido a que



se están priorizando las divisas obtenidas por las exportaciones de productos que requieren altos niveles de consumo y utilización de agua para su producción con el fin de satisfacer las demandas del exterior, demandas que someterán al país a una crisis hídrica, pues será insostenible en el tiempo el seguir elevando la producción de exportación como se ha priorizado a lo largo de los últimos 8 años y dejando de lado la producción de alimentos de alto consumo interno para garantizar la seguridad y alimentaria en el país y, adquiriendo en los mercados internacionales semillas de consumo interno como el frijol, el maíz y el trigo.



Amenazas hídricas y climáticas: evaluación de vulnerabilidad en Quintana Roo, México

Mondragón Muñoz, Valeria F.; Cervantes Avilés, Pabel A.

Departamento de Tecnologías Sostenibles y Civil, Escuela de Ingeniería y Ciencias
Tecnológico de Monterrey campus Puebla, Atlixcáyotl 5718, Reserva Territorial
Atlixcáyotl, C.P. 72453, Pue., México.

A01731602@exatec.tec.mx

Palabras clave: Cambio Climático, Vulnerabilidad, Temperatura, Proyecciones, Adaptación.

Desde su creación, el planeta Tierra se ha adaptado continuamente a diferentes circunstancias climáticas y a través de los siglos acumuló las condiciones perfectas para que los humanos evolucionen y prosperen. Sin embargo, desde la Revolución Industrial, con la creación de la máquina de vapor y la industrialización de la agricultura y ganadería, se han acumulado un exceso de emisiones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, acelerando el aumento de la temperatura global y poniendo en peligro el equilibrio climático que sostiene la vida en la Tierra. El Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) prevé en un escenario pesimista, que la temperatura media global puede incrementar hasta 4°C para el 2100, lo cual propiciaría una amplia cantidad de impactos negativos para el planeta.

El objetivo de este trabajo es analizar los posibles impactos del cambio climático que se podrían presentar en el estado de Quintana Roo, México conocido por su diversidad natural y atractivo turístico. Este estado se enfrenta a importantes desafíos ambientales, tales como el aumento de las temperaturas del mar, la reducción de la precipitación y el incremento de desastres naturales como huracanes, el aumento del nivel del mar y la pérdida de ecosistemas. Asimismo, su rápido crecimiento poblacional y su alta dependencia del turismo vuelven a este estado altamente vulnerable ante los impactos antes mencionados.

Es por esta razón que se realizó una evaluación de impactos para identificar los riesgos que acomplejan a la zona de estudio en distintos escenarios y en mediano (2041-2060) y largo plazo (2081-2100). Como base para plantear los diferentes escenarios, se usan dos de las Rutas de Desarrollo Socioeconómico (SSP) utilizadas por el IPCC en su informe de 2023, siendo el SSP2 un escenario de estabilización y el SSP5 el escenario pesimista.

Se empleó el modelo climático planteado por el IPCC 'Proyecto de Comparación de Modelos Acoplados' (**CMIP6**) para visualizar las proyecciones de temperatura y precipitación en los diferentes escenarios, aislando a Quintana Roo utilizando un sistema de información geográfica para posteriormente calcular las diferencias de temperatura y precipitación entre escenarios de referencia y proyectados, y así visualizar las anomalías. Por último, se utilizó la herramienta Google Earth Engine y los datos del IPCC 2023 para visualizar escenarios de elevación del nivel del mar y las zonas que podrían verse afectadas.

Los resultados indican aumentos de temperatura alarmantes en la zona de estudio, alcanzando hasta 3.87°C en el escenario pesimista y una disminución de precipitación



entre 20 y 28 mm en el largo plazo. En cuanto a la elevación del nivel del mar, es solo en el escenario pesimista a largo plazo en donde se observan afectadas partes importantes de las localidades del estado. Las implicaciones son profundas, planteando consecuencias graves para el equilibrio y los medios de vida de la región. Esta investigación subraya la necesidad crítica de tomar medidas inmediatas para abordar el cambio climático en Quintana Roo y los hallazgos contribuyen a una comprensión más amplia de los impactos climáticos en regiones vulnerables del sur de México.



Avances en la generación de un modelo predictivo de tormentas basado en aprendizaje automático

Vazquez Zavaleta, Miguel Angel; Mendoza Uribe, Indalecio.

Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532,
Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.
miguel_vazquez@tlaloc.imta.mx

Palabras clave: precipitación, aprendizaje automático, modelo predictivo, FNL.

El avance tecnológico ha permitido la creación de instrumentos de observación y recolección de datos en diversas áreas de la ciencia, entre las que se encuentran aquellas enfocadas en el estudio del medio ambiente. Dichos instrumentos permiten la recolecta de datos que caracterizan fenómenos naturales, generando grandes volúmenes de información que son un insumo esencial para la aplicación de la ciencia de datos, mediante técnicas estadísticas que combina principios, definiciones de problemas, algoritmos y procesos, cuyo fin particular es la extracción de patrones no triviales. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo presentar la metodología y los avances en su implementación para generar un modelo predictivo de ocurrencia de tormentas basado en aprendizaje automático en la zona metropolitana del Valle de México utilizando datos de precipitación acumulada en 24 h de forma categórica. La metodología que ha sido propuesta se compone de cinco etapas: 1) Compresión del problema de estudio, 2) Preprocesamiento de los datos, 3) Normalización de los datos, 4) Análisis de sensibilidad y 5) Evaluación de resultados. Dentro de las primeras dos etapas se incluye el análisis exploratorio del estado del arte, búsqueda, evaluación y selección de fuentes de datos disponibles para el objeto de estudio, entre las que se encuentran variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, punto de rocío, dirección y velocidad del viento) e índices de estabilidad atmosférica (energía potencial convectiva, inhibición convectiva y elevación, Gálvez Davison, Showalter, K y Total del Totales); así como el análisis y selección de modelos de aprendizaje automático supervisado. La tercera etapa se enfoca en la construcción y/o adaptación de los conjuntos de datos que son requeridos para el entrenamiento y prueba del modelo. Finalmente, las etapas cuatro y cinco son dirigidas hacia el entrenamiento y evaluación del modelo de aprendizaje automático que se ha de generar. De la evaluación del desempeño entre la precipitación estimada por satélite de la base de datos de CHIRP (del inglés, Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations) y la precipitación observada en superficie de la base de datos del Sistema de Información Hidrológica, solo 26 de los 71 sitios de observación en la zona de estudio presentaron series de datos confiables para aplicar las técnicas de aprendizaje automático. La evaluación estadística se llevó a cabo mediante las métricas MAE, RMSE, BIAS, IA y correlación de Pearson, aplicando los análisis sobre datos acumulados diarios y mensuales para los periodos 2005-2022 y 2005-2015 respectivamente. Esta selección ha permitido lograr la construcción de los conjuntos de precipitación diaria acumulada para los 26 sitios de observación, así como las series de datos para las variables meteorológicas (temperatura, humedad relativa, punto de rocío, dirección y velocidad del viento) y los índices de estabilidad atmosférica (energía potencial convectiva, inhibición convectiva y elevación), además de los valores en altura de las variables meteorológicas necesarias para el cálculo de los índices Gálvez Davison,

Showalter, K y Total de Totales.



Análisis de probabilidad de falla con redes bayesianas aplicado a inundaciones

Bonilla-López, Edith; Corona-Vásquez, Benito.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de las Américas Puebla,
San Andrés Cholula, 72810, Puebla, México.

edith.bonillalz@udlap.mx

Palabras clave: inundaciones, probabilidad de falla, red bayesiana, riesgo por inundación, cuenca del río Acaponeta.

A nivel global, las pérdidas económicas debidas a inundaciones destacan respecto a las causadas por otros fenómenos naturales y han incrementado en los últimos años, y México no es la excepción. Por su parte, una inundación fluvial puede resultar en daños a la población y sus bienes, zonas agrícolas, ganaderas o industriales. Para el caso de una cuenca hidrológica, el inicio de un evento de inundación puede ser considerado como la falla del sistema respecto a una condición crítica, e.g. la capacidad del cauce, ante la ocurrencia simultánea de cierto evento de precipitación, el tipo y uso de suelo presente en la zona y según sus características.

Para representar los procesos hidrológicos, como la transformación de lluvia en escurrimiento, es usual la utilización de ecuaciones matemáticas que involucran a la precipitación, el número de curva dado por el tipo y uso de suelo, y las características fisiográficas de la cuenca. En cuanto al análisis del inicio de un evento de inundación fluvial, es posible emplear el concepto de probabilidad de falla. Además, debido a que los eventos de precipitación que pueden derivar en una inundación pueden ser de diferente magnitud, el uso de redes bayesianas permite la estimación de la probabilidad total de inundación dadas diversas condiciones de precipitación. Por otro lado, dado que la climatología y el uso de suelo tienen una característica dinámica, el análisis de riesgo, definido como el producto de la probabilidad de inundación y el costo de las consecuencias, debe actualizarse con la finalidad de conocer su evolución y orientar las acciones de manejo según las condiciones vigentes del sistema.

El presente trabajo tiene el objetivo de estimar la probabilidad total de inundación en la parte baja de una cuenca hidrológica dada la ocurrencia de distintas condiciones de precipitación máxima anual, así como estimar y actualizar el riesgo por inundación para dos escenarios temporales. La metodología propuesta considera el uso de la simulación de Monte Carlo (MC), el análisis de la respuesta del sistema y la determinación de la probabilidad total de falla empleando una red bayesiana y probabilidades condicionales. Este enfoque es aplicado a la parte baja de la cuenca del río Acaponeta, en Nayarit, sitio que se ha visto afectado por eventos de inundación de manera recurrente y que cuenta con asentamientos humanos y zona agrícola ubicados en la planicie.

Para las condiciones particulares de la cuenca en los años 2003 y 2018, fue posible analizar la respuesta del sistema, observándose que para los escenarios simulados con MC, la respuesta de la cuenca sobrepasaría la condición crítica con una probabilidad de ocurrencia de 0.79 para 2003 y 0.74 para 2018. Respecto a la aplicación de una red bayesiana para la estimación de la probabilidad total de inundación, dadas



diferentes condiciones de precipitación, se identifica un incremento menor entre los años analizados, pasando de un valor de 0.44 a 0.46, reflejándose consecuentemente en la estimación del respectivo riesgo.

La propuesta presentada explora el análisis de ocurrencia de inundación fluvial desde una perspectiva probabilística y aplicando redes bayesianas, con información disponible, considerando las particularidades del sistema y su posible variabilidad. La metodología puede complementarse considerando dentro de la red bayesiana, las condiciones de humedad antecedente para la definición de probabilidad total de inundación. Los resultados de la aplicación de este enfoque pueden considerarse como herramienta para el manejo de inundaciones y la toma de decisiones, al representar en términos probabilísticos y económicos, la respuesta hidrológica de una cuenca ante las condiciones dinámicas de la climatología y uso de suelo.



Análisis hidrológico e hidrodinámico del río Tula basado en una metodología por ensambles

Peñaloza Rueda, Xóchitl¹; Courty Laurent, G¹; Rodríguez Rincón, Juan Pablo¹; Centeno Álvarez, Juan Carlos².

¹Posgrado IMTA, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuahnáhuac 8532, col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos
xochitl.penaloza@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: Inundación urbana, ensamble hidrológico, simulación hidrodinámica, HEC-RAS.

En México y el mundo varias ciudades sufren de inundaciones, debido al cambio en el régimen de lluvias y del uso de suelos, así como la urbanización cerca de los cauces o incluso en zonas inundables, entre otros factores. En estos casos es importante conocer el funcionamiento hidrológico de las cuencas y la hidrodinámica de los cauces, para proponer medidas de mitigación. Sin embargo, esta tarea se complica cuando no se dispone de información suficiente y confiable de variables meteorológicas y de aforos en cauces, por lo que una alternativa para solventar esta deficiencia son los conjuntos de datos globales. Un caso importante para estudiar es la cuenca del río Tula, en la cual en septiembre de 2021 ocurrieron inundaciones por el desbordamiento del río que provocaron daños materiales y pérdida de vidas humanas. El objetivo de esta investigación es reproducir las inundaciones de los días 7 y 8 de septiembre de 2021 en el municipio de Tula de Allende, aguas arriba de la presa Endhó. En esta cuenca se encuentran tres presas importantes, tres afluentes y la descarga de los túneles Emisor Central, Emisor Este y el Corte Nochistongo que conducen el escurrimiento generado en gran parte de la cuenca endorreica del Valle de México. Debido a la escasa información de datos hidrométricos y meteorológicos horarios en esta cuenca, se propuso una modelación hidrológica por ensambles, utilizando conjuntos de datos globales meteorológicos y de los parámetros del modelo hidrológico HBV, además se generó un ensamble de hidrogramas de salida de los túneles con base en datos observados. Con la modelación hidrológica se obtuvieron ensambles de hidrogramas por subcuencas, de los cuales se realizó una selección para ser transitados por el cauce del río Tula en un tramo comprendido desde la salida de los túneles hasta llegar al vaso de la presa Endhó. La modelación hidrodinámica consistió en un modelo combinado unidimensional y bidimensional con el software HEC-RAS. Las manchas de inundación resultantes serán comparadas con información obtenida en campo para determinar cuáles miembros del ensamble y por ende sus parámetros son los que reproducen mejor el evento.

Estimación de la recarga de aguas subterráneas en la Península de Yucatán, a partir de productos satelitales y fuentes de datos globales

Siles Zarate, Ana Claudia; Breña Naranjo, Agustín; Ontiveros Capurata, Ronald.

Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (UNAM-IMTA).

anaclaudia.siles@gmail.com

Palabras clave: Aguas subterráneas, recarga, acuífero, Yucatán.

Esta investigación, propone un enfoque práctico para caracterizar la distribución temporal y espacial de la recarga de aguas subterráneas utilizando principalmente productos satelitales y datos hidrológicos globales. Este estudio se realizó en la Península de Yucatán, una región que cuenta con 3 acuíferos (Fig. 1) y que depende del agua subterránea para el suministro interno.

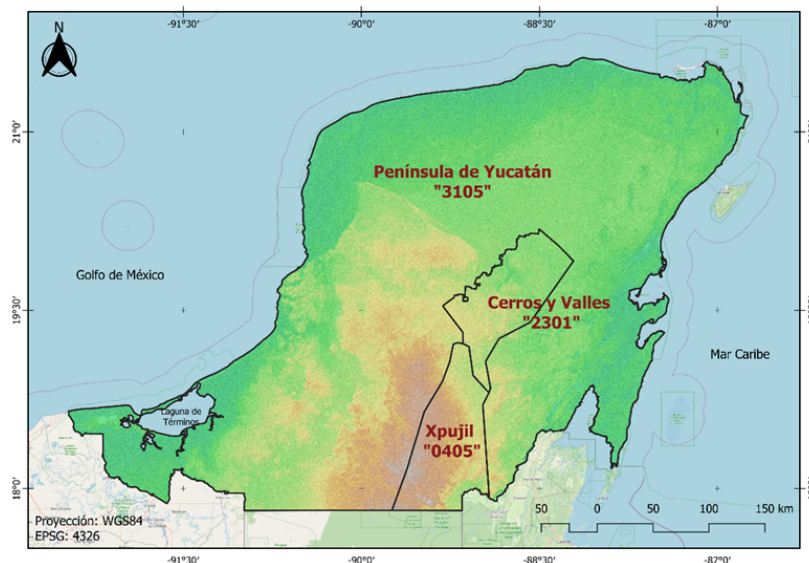


Figura 1: Localización de los Acuíferos.

Se utilizaron productos satelitales de: precipitación (CHIRPS – ERA5 AG – TRMM – TERRA CLIMATE), evapotranspiración actual y evapotranspiración potencial (ERA5 AG – FLDAS – GLDAS – MODIS16A2 – MODSSBop – TERRA CLIMATE) los cuales se obtuvieron a partir de la plataforma Climate Engine, en combinación de registros climatológicos de estaciones terrestres, para un periodo de 21 años (2002-2022).

La motivación clave de esta investigación fue evaluar la confiabilidad de las fuentes de datos globales sobre los resultados obtenidos por CONAGUA. Por tanto, se realizaron mapas de recarga promedio a partir de 21 combinaciones diferentes, empleando 4 métodos y 10 productos satelitales para distintos períodos, para posteriormente realizar mapas de recarga anual de las combinaciones seleccionadas. Los principales resultados mostraron una buena correlación de las combinaciones 10 y 16 entre los valores obtenidos por CONAGUA. La recarga promedio 2002 – 2022 considerando "M1", "M3",

y "M4" fue de 193.96, 177.02 y 168.60 mm/año (combinación 10 –Fig. 2) y de 222.45, 205.50 y 197.08 mm/año (combinación 16 –Fig. 3) respectivamente.

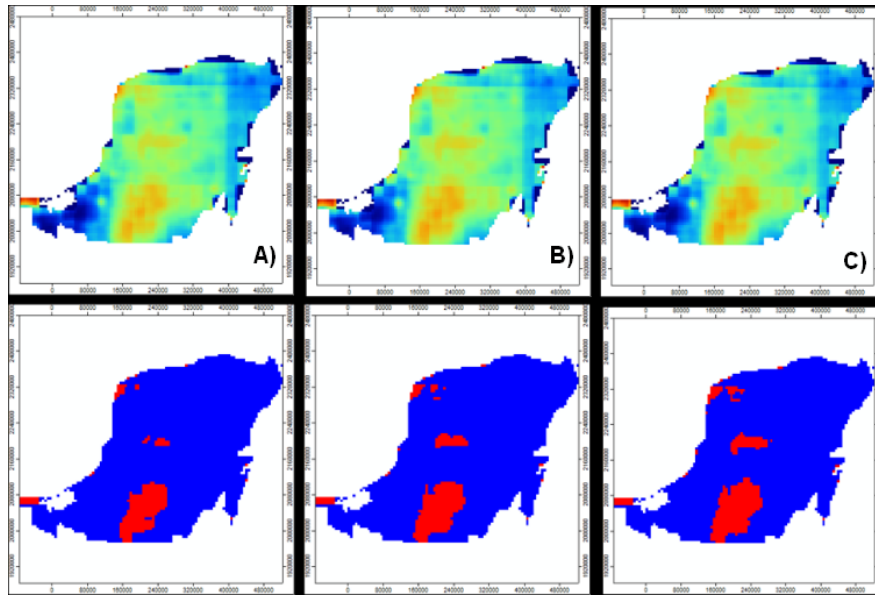


Figura 2: Mapas de Recarga Promedio de la Combinación 10: a) "M1", b) "M3" c) "M4".

Los resultados sugieren que la precipitación de CHIRPS y la evapotranspiración de GLDAS y TERRA CLIMATE son adecuadas para generar los mapas de recarga en el área de estudio mediante "M1", "M3", y "M4".

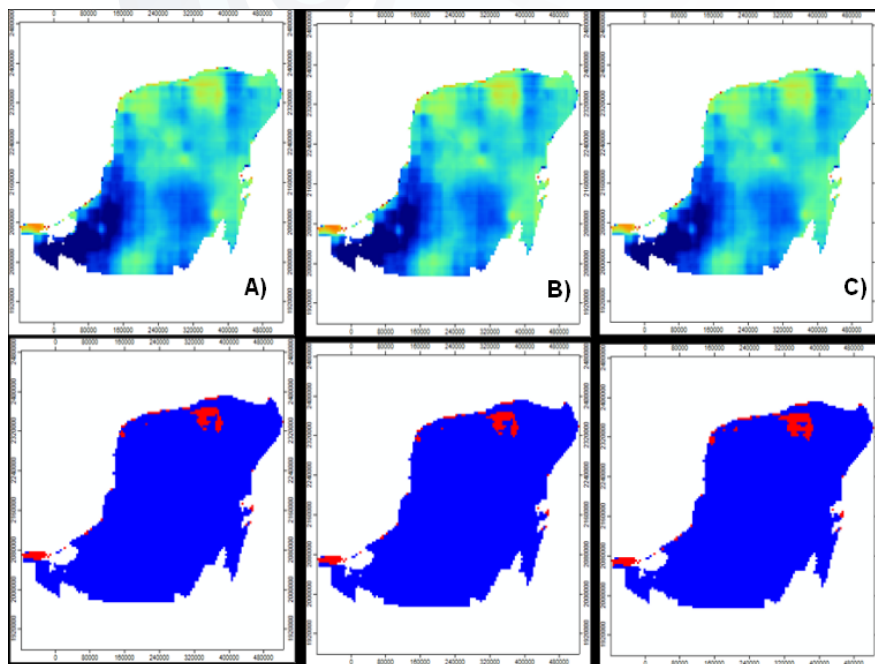


Figura 3: Mapas de Recarga Promedio de la Combinación 16: a) "M1", b) "M3" c) "M4".

En función a los mapas anuales se determinó que los años donde existe mayor recarga son 2002, 2005, 2010, 2013, 2017 y 2020, los cuales se deben a la presencia del Huracán "Isidoro"- 2002, "Wilma"- 2005, Huracán "Karl"- 2010, Tormenta Tropical "Jerry"- 2013, Tormenta Tropical "Franklin" 2017 y Tormenta Tropical "Cristóbal"- 2020. Sin embargo, los años 2003, 2004, 2014 y 2016 presentan recarga negativa, los cuales coinciden con los años históricamente secos según el monitor de sequía de la CONAGUA (2024). Es importante mencionar que, estos años de recarga positiva y negativa, coinciden con la literatura de Uuh *et al.*, (2018) y Gondwe *et al.*, (2010).

En los últimos 20 años el acuífero de la "Península de Yucatán" se ha recargado, por lo que hubo un incremento en el almacenamiento de agua terrestre, esto se comprueba a través de las líneas de tendencia, las cuales tienen inclinación positiva. Observando la variabilidad interanual, en general, la Recarga tiende a ser positiva incluyendo durante los meses de estiaje con excepción de los años que han sido históricamente secos, que son los años donde se presentan los valores negativos, los cuales posiblemente se deban al aumento de concesiones de agua para la producción agrícola decretada en el 2014, además del cambio climático que se está presentando a nivel mundial.



MEMORIAS DE V DIÁSPORA HÍDRICA

Medio ambiente



Lirio acuático en cuerpos de agua: Una revisión científica y tecnológica

Martínez Muñoz, Ana Laura¹; Gayosso Morales, Manuel Aaron²; Valdez Calderón, Alejandro²; Gonzalez Pérez, Brenda Karen².

¹Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carr. Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Mineral de la Reforma, Hgo., 42184, México.

²Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana del Valle de México, BLVD. Miguel Hidalgo y Costilla 5, Los Héroes de Tizayuca, Tizayuca, Hgo., 43816, México.

ana.mtzmnz@gmail.com

Palabras clave: Impacto socioeconómico, mitigación, patentes, eutrofización, especies invasoras.

El lirio acuático (*Pontederia crassipes*), es una planta ornamental invasora presente en más de 60 países. Su crecimiento descontrolado en cuerpos de agua dulce causa serios problemas socioambientales y económicos. Estudios previos han demostrado que reduce la penetración de luz, aumenta la turbidez y acidez del agua, disminuyendo el oxígeno disuelto, favoreciendo la proliferación de patógenos, afectando negativamente la biodiversidad nativa y contribuyendo al proceso de eutrofización. En México, su presencia en cuerpos de agua supera las 30 mil hectáreas, afectando actividades de turismo, navegación, agrícolas, así como la pesca. Aunque se utilizan maquinarias para su control, las soluciones logísticas y de costo siguen siendo un desafío, lo cual genera la necesidad de implementar estrategias efectivas para manejar su proliferación. El objetivo de esta investigación fue realizar una revisión exhaustiva del conocimiento existente sobre el impacto, manejo, control y aprovechamiento de la biomasa del lirio acuático, abordando temas referentes al control, manejo, impacto en la calidad del agua, gestión y legislación. La intención es proporcionar un panorama amplio sobre la situación actual de esta planta invasora, abarcando aspectos ambientales, sociales y económicos. Se examinaron 100 artículos de seis bases de datos de literatura científica y vigilancia tecnológica como Science Direct, Springer Link, Elsevier, Academia, Research Gate, Wiley, Google Patents, Espacenet y OEMP para investigar cuantitativamente la información disponible sobre el lirio acuático, utilizando un enfoque cualitativo. Para proporcionar una visión integral del tema. Se evaluaron tanto métodos de control como políticas regulatorias, con el objetivo de comprender los efectos de esta especie invasora en los ecosistemas acuáticos. Los resultados obtenidos reflejan los datos de vigilancia tecnológica existente a nivel global, enfatizando en el continente Americano, la situación actual en México por estados, así como la subdivisión por temas bajo protección intelectual. A nivel mundial, China lidera con el 67 % de las patentes sobre lirio acuático, seguida por Estados Unidos con el 7.26 %. En América, Estados Unidos tiene el 84 % y México el 8.39 %. En México, la Ciudad de México lidera con el 57 % de las patentes, seguida por Sonora y Jalisco con el 9 % cada uno. Otros estados como Baja California, Veracruz, Tabasco, Sinaloa, Guanajuato y Coahuila contribuyen con el 4 % cada uno. Los temas principales en las patentes son biorremediación con el 35 %, agroinsumos con el 31 %, farmacéutica con el 15 %, biocontrol con el 11 %, así como biomateriales y biocombustibles, ambos con un 4 % respectivamente. El reconocimiento global y nacional del lirio acuático destaca la urgencia de implementar estrategias efectivas de control y gestión. En México, se enfrentan desafíos significativos



tanto financieros como logísticos para su manejo. El aprovechamiento de la biomasa de *P. crassipes* se ha convertido en una estrategia integral para controlar esta especie invasora en los cuerpos de agua, reduciendo su propagación y mitigando impactos ambientales. Es crucial integrar estos beneficios en un enfoque amplio de control del lirio acuático sin incentivar su propagación. La experiencia global y los esfuerzos nacionales reflejan un compromiso con la mitigación del problema y la promoción de la sostenibilidad a largo plazo. Aunque las estrategias actuales no han sido totalmente efectivas, es vital adoptar diversas metodologías para reducir los impactos negativos y llenar las brechas en la información. Esto implica fortalecer la investigación y el monitoreo continuo para comprender mejor la dinámica de esta especie invasora. Además, se deben desarrollar políticas más robustas y adaptativas que puedan ajustarse a cambios ambientales y climáticos.



Identificación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como estrategia de conservación para el área de captación del ANP Lago de Texcoco.

Márquez Zárate, Julio César¹; Ugalde Lezama, Saúl²; Arévalo Galarza, Gustavo Antonio.²

¹Universidad Autónoma Chapingo, Becario Posdoctoral en Doctorado en Ciencias en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, 56227, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Área de Recursos Naturales. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, 56227, México.

julioc.marquezz@gmail.com

Palabras clave: Análisis geoespacial, ANP Lago de Texcoco, conservación, restauración, soluciones basadas en la naturaleza.

Por más de 5 décadas, especialmente después de 2014, las partes medias y altas de la Subcuenca Texcoco al oriente del Estado de México han estado sometidas a procesos de degradación de los recursos naturales por el crecimiento de la población y la mancha urbana sin controles efectivos y cambios y pérdidas en la cobertura vegetal. En este contexto histórico-territorial se encuentra inmersa la región conocida como “Lago de Texcoco”, que antes de convertirse en área natural protegida (ANP), tuvo una compleja historia marcada por significativas actividades humanas y cambios ecológicos intrínsecamente ligados a los procesos de degradación de la Subcuenca, lo que alteró drásticamente el equilibrio natural e hidrológico de la zona y tuvo efectos adversos en los ecosistemas del lago y la salud ecológica de la región en general.

La Subcuenca Texcoco contiene al “Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco”, que desde su creación en 2022 ha tenido amplia relevancia y para la cual se han realizado exhaustivos estudios, análisis y propuestas que coadyuven a su recuperación, conservación y mejora. Dada la estrecha relación entre estas dos regiones administrativas, este trabajo busca complementar el área de oportunidad que representa identificar y analizar externalidades al polígono del ANP, centrándose en el área de captación de las cuencas tributarias y la relevancia que esta tiene para el sistema en la parte baja.

La primera fase de este trabajo consistió en revisar experiencias previas en el mundo de esquemas de análisis territorial a través del análisis geoespacial con enfoque de paisaje a nivel de cuenca para identificar y clasificar las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) adecuadas. El territorio se está analizando a través de insumos y herramientas geomáticas (LiDAR- Light Detection and Ranging, cartografía digital, de campo y bases de datos de fuentes oficiales e investigaciones científicas). Los resultados al momento son i) el esquema de trabajo para desarrollar el análisis geoespacial, y ii) el análisis biofísico inicial ha arrojado que la región de estudio abarca cerca de 100 mil hectáreas, con altitudes de 2260 a 3900 metros sobre el nivel del mar y pendientes de 0 y mayores a 50 %. Los suelos presentes son Andosoles (húmico y mólico), Cambisoles (cálcico, dístrico, éutrico y húmico), Feozems (calcárico y háplico), Litosoles en una gran proporción, Regosoles (calcárico y éutrico) y Vertisoles (crómico y pélico). Así mismo, se



encuentra un mosaico de usos y coberturas de la tierra como asentamientos humanos, agricultura de riego y temporal, bosques (cultivados, encino, encino-pino, oyamel, pino, pino-encino, táscate), matorral crasicaule, pastizal inducido, pradera de alta montaña, y en menor medida áreas sin vegetación aparente y desprovistas de vegetación; también se tiene el inventario de obras de conservación implementadas en los '70's (Plan Lago de Texcoco) y se encontró que algunas de las estaciones climatológicas e hidrométricas presentes no están en operación.

Con base en los resultados obtenidos al momento, la escala y disponibilidad de información para realizar este trabajo se consideran adecuados y viables para implementar la siguiente fase, integrando estos y otros resultados al análisis geoespacial utilizando herramientas específicas (The Terrestrial Ecological Unit Inventory Geoespatial Toolkit, The NRCS GIS Engineering toolset, SUSTAIN) con fundamento técnico-científico para que los tomadores de decisiones puedan derivar acciones, programas y políticas públicas de manejo para mantener y de ser posible mejorar la condición de la Subcuenca a través de SbN orientadas al respeto y mantenimiento de la cuenca, que consideren el valor natural, ecosistémico y su papel en materia de regulación hidrológica y de conservación de la zona de captación pluvial de los nueve ríos al oriente del Lago de Texcoco.



Hacia nuevos modelos urbano-regionales desde la gestión del agua: el caso de la Ciudad de México

Estefan Fuentes, Laila Patricia.

Posgrado Geografía UNAM, Ciudad Universitaria UNAM, Coyoacán, Ciudad de México.

lailaestefan@gmail.com

Palabras clave: regiones urbanas, gestión del agua, infraestructuras hidráulicas, territorio, interdependencia territorial.

Este trabajo se desarrolló en el marco de mi tesis doctoral en geografía, donde se estudiaron las implicaciones a escala regional de la gestión del agua para las grandes metrópolis, tomando en consideración el caso de la Ciudad de México y sus infraestructuras hidráulicas, así como sus particularidades hidrológicas.

La investigación ha partido de algunos supuestos, o antecedentes, que sustentan la relevancia de integrar la dinámica regional urbana, las crisis hídrico-ambientales y las problemáticas territoriales en los estudios del agua. La primera de ellas tiene que ver con las transformaciones y adaptaciones al entorno natural por acceder y gestionar el agua para los asentamientos humanos como un factor de larga data e histórico, pero fundamental para comprender las problemáticas y crisis socioambientales actuales dentro y fuera de lo urbano.

A partir de lo anterior, se presenta un debate basado en la ecología política que permite reflejar los escenarios socioambientales a partir de las transformaciones al entorno natural, especialmente por la gestión del agua, que han dado lugar a territorios de disputa y dominio. Esto, junto con las explicaciones sobre las estructuras y formación de regiones urbanas que responden a la expansión urbana y los flujos de comunicación, funcionales y dinámicas migratorias que, sin duda alguna configuran territorios de amplia extensión, permiten abrir el debate para nuevas explicaciones que hagan aún más amplio el valor y características de lo regional en lo urbano.

En este sentido, la propuesta buscó explicar el caso de la Ciudad de México por su propia particularidad en términos hidrológicos, pero también por su funcionalidad en términos de sistema urbano a escala regional, donde se contemplaron varias zonas metropolitanas contiguas y otros territorios que configuran diversos grados de interdependencia. Esto se problematizó bajo dos preguntas clave: ¿cómo influye la gestión del agua en la configuración de una región urbana cuyo lugar central es una gran metrópolis? y ¿qué implicaciones territoriales tiene la gestión del agua a escala urbana-regional para mantener a una gran metrópolis, como es el caso de la Ciudad de México?

Bajo esta lógica, su principal reto fue integrar una metodología interdisciplinaria que considerara las particularidades del territorio: un sistema de gestión de agua incluye el uso de agua subterránea, aguas superficiales y trasvases, además de una red de drenaje, que atraviesan tanto escenarios urbanos como periurbanos y rurales.

Para ello, se consideró un análisis espacial de las características de la infraestructura hidráulica, las zonas metropolitanas involucradas y las zonas de demandas socioambientales ligadas a proyectos hidráulicos o degradación ambiental. En un



segundo momento, se integró un análisis geoestadístico que cruzó información sobre índices de vulnerabilidad ambiental a la sequía con el grado de consolidación urbana, los cuales brindaron mayor sustento en la necesidad de reflexionar sobre la integración de la dinámica hídrico-hidráulica en lo urbano regional.

Estos datos permitieron establecer zonas críticas y de interés que entrecruzan la dinámica urbana a escala regional y su interacción con la gestión hídrica, lo cual puntualiza la necesidad de estudiarlos con mayor profundidad. Además de establecer nuevas pautas para entender los impactos más allá de la escala urbano-metropolitana de mantener a las grandes metrópolis, como la Ciudad de México y sus ciudades periféricas, en términos de la gestión del agua y otras temáticas (gestión de residuos, energía) con determinantes afectaciones a escala regional que entrecruzan lo urbano, lo periurbano y lo rural.



Impactos de los sectores productivos en el Golfo de California: análisis de los riesgos en cadena

Olvera Fuentes, Norma Elizabeth; González Villarreal, Fernando J.

Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, C.P. 04510 Ciudad de México, México.

norma.olvera@atmosfera.unam.mx

Palabras clave: Complejidad, mapas cognitivos difusos, impactos en cascada.

¿Por qué debería ser una prioridad en la agenda nacional asignar recursos a proyectos de investigación para el Golfo de California? Además, ¿por qué es crucial incorporar los resultados de estas investigaciones en el diseño de nuevas políticas públicas para su conservación?

Debido a su riqueza única en biodiversidad a nivel mundial y a los recursos que ofrece, la actividad económica en el Golfo de California es de suma importancia para el país. Sin embargo, la explotación actual no es sostenible. La creciente sobreexplotación, degradación y contaminación en la región generan severos impactos que resultan en pérdidas significativas en hábitats, biodiversidad, aspectos económicos y calidad de vida de la población. Desde el ámbito científico, la visión tradicional reduccionista fragmenta un problema en partes más pequeñas para abordar individualmente problemáticas aisladas, sin considerar el contexto ni las interrelaciones intrínsecas con otras cuestiones; este enfoque pasa por alto la naturaleza inherente de los sistemas complejos. Para este tipo de sistemas, cada problema está intrínsecamente vinculado al grado en que se ve afectado por todos los demás; por lo tanto, es crucial estudiar no solo las problemáticas en sí mismas, sino también las interrelaciones que existen entre ellas y las propiedades emergentes que las caracterizan como un sistema complejo.

Por ello, el diseño e implementación urgente de nuevas políticas públicas efectivas para la conservación del Golfo de California debe basarse inevitablemente en una visión integral y sistémica que incorpore el continuo cuenca-costa-mar, abarcando así a todos los actores e impactos generados en la región y áreas periféricas. El modelo presentado muestra que todas estas problemáticas están intrínsecamente interconectadas, exhibiendo las propiedades de un sistema complejo. Esta investigación presenta un modelo que incorpora esta visión sistémica e integral, utilizando mapas cognitivos difusos (MCD), los cuales permiten no solo representar de manera estática la dirección y magnitud de los impactos, sino también analizar su evolución.

Las principales problemáticas o nodos considerados en la conformación del MCD modelado son: Incremento en la degradación —incremento de salinidad y regiones eurotróficas— y contaminación del Golfo de California (C1); incremento en la descarga de nutrientes —derivados de la creciente actividad agrícola—, metales pesados, contaminantes emergentes y aguas residuales (C2); incremento en la pérdida económica —turística, de pesca e industrial— (C3); decremento en la salud y calidad de vida de la población (C4); incremento en la pérdida de vida silvestre y marina (C5); incremento en la pérdida de hábitats —destrucción de manglares, cubierta vegetal y zona costera— (C6); sobre explotación pesquera —pesca desmedida y uso de técnicas no sustentables— (C7); incremento en la proliferación de algas (C8); reducción



o eliminación de caudales en ríos que desembocan al Golfo de California — por la construcción de presas— (C9); crecimiento poblacional, de explotación de recursos y desarrollo social y económico no sustentable (C10); y disminución de recursos hídricos (C11).

La evolución del modelo indica que, de no implementarse a corto plazo intervenciones efectivas para la conservación del Golfo de California, su degradación y las consecuentes pérdidas en múltiples sectores serían prácticamente irreversibles.



Comportamiento de la toxicidad en un sistema biológico granular para el tratamiento de lixiviados

Rodríguez Díaz, Ulises Duvan; García Sánchez, Liliana; Trujillo Domínguez, Gissel.

Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532,
Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

ulises.rodriguez@posgrado.imta.edu.mx

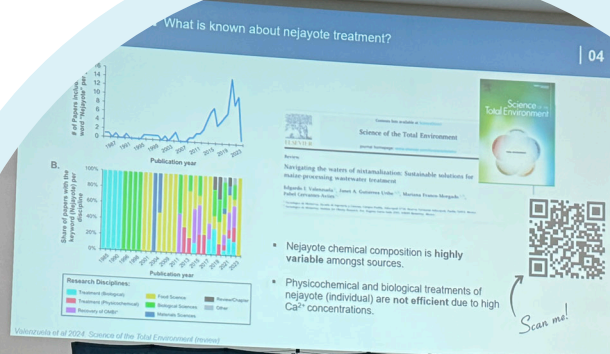
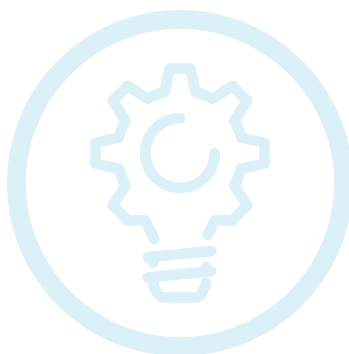
Palabras clave: Lixiviados, toxicidad, reactor RAFA, reactor SBR.

La presente investigación, estuvo enfocada en el tratamiento de lixiviados provenientes de un relleno sanitario ubicado en el estado de Morelos, para lo cual se utilizó un tratamiento biológico granular conformado por un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) acoplado a un Reactor Biológico Secuencial por lotes (RBS). La eficiencia del tratamiento fue evaluada a través de cuatro experimentos en los que se modificó la carga orgánica volumétrica (1 y $2.5 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) y el tiempo de residencia hidráulica (1 y 2 d). Se utilizó como parámetro de respuesta la remoción de materia orgánica (DQO) y la reducción de la toxicidad aguda utilizando como organismo de prueba *Danio rerio* en pruebas de exposición de 72 h . De acuerdo a los resultados, se encontró que en el experimento 4, operado con un tiempo de residencia hidráulica (TRH) de 2 d y una carga orgánica volumétrica (COV) de $2.5 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, se obtuvieron las mayores remociones de DQO ($21.83 \pm 6.20 \%$). En el experimento 1, con un TRH de 1 d y COV de $1 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$, se destacan remociones más altas de DBO_5 ($53.99 \pm 4.74 \%$) y N-NH_3 ($77.32 \pm 7.24 \%$). En cuanto a la toxicidad, al utilizar *D. rerio* como organismo de prueba, se obtuvieron concentraciones letales medias ($\text{CL}_{50-72 \text{ h}}$) en el efluente del tratamiento de 4.77 y 21.9% (v/v), respectivamente para el experimento 2 (TRH de 1 d y COV de $2.5 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) y 4 (TRH de 2 d y carga orgánica de $2.5 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$), mientras que para el experimento 1 (TRH de 1 d y COV de $1 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$) y 3 (TRH de 2 d y COV de $1 \text{ kg DQO m}^{-3} \text{ d}^{-1}$), no se obtuvo un valor de $\text{CL}_{50-72 \text{ h}}$, indicando que no existe mortalidad para este organismo en el influente, sin embargo, observaciones adicionales efectuadas sobre la condición de los juveniles para todos los experimentos, mostraron daños en tejido e inmovilidad. El experimento 2 presentó la menor reducción de toxicidad (29.56%), mientras que los experimentos 1, 3 y 4 presentaron reducciones de toxicidad superiores al 84.64% . La investigación demostró que el tren de tratamiento propuesto permite la remoción de diversos contaminantes tóxicos para el organismo *D. rerio* mediante procesos biológicos anaerobios y aerobios.

Con los resultados obtenidos y siguiendo esta línea de investigación, se abre el panorama para continuar desarrollando tecnologías aplicables al tratamiento de lixiviados considerando sus características particulares y sus elevadas concentraciones de contaminantes.



Innovaciones científicas, tecnológicas y sociales



Daños causados por las inundaciones al cultivo de maíz

Cruz Santiago, Michell Deyanira¹; Roblero Hidalgo, Rodrigo¹; Ballinas González, Héctor Alonso¹; Quevedo Tiznado, José Antonio¹; Aguilar Chávez, Ariosto¹; González García, Héctor².

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. C.P. 62550. Jiutepec, Morelos, México.

²Comisión Nacional del Agua. C.P. 04340. Alcaldía Coyoacán, Ciudad de México, México.

michell.cruz@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: Inundaciones, cultivo de maíz, rendimiento.

El sector agrícola es vulnerable ante las inundaciones, amenazando la seguridad alimentaria, debido a que influyen negativamente en el crecimiento de las plantas. El objetivo de este trabajo es contribuir a la evaluación del riesgo por inundación en zonas agrícolas realizando un modelo experimental para determinar el impacto del rendimiento del maíz a partir de las variables profundidad y duración de la inundación en relación con las etapas fenológicas del cultivo. El experimento se realizó en un invernadero para tener un sistema controlado, se empleó el híbrido H-377 de maíz de grano blanco, desarrollado para ser sembrado bajo condiciones de riego y temporal en un rango de altitud desde los 800 a 1850 msnm. Para el análisis de resultados se utilizó el diseño experimental factorial con dos variables independientes, se determinaron 12 tratamientos para cada etapa fenológica más un testigo, para un total de 49 tratamientos. Las plantas fueron inundadas en estanques de 1.50 m de profundidad, la inundación para el primer bloque se realizó a 7 días después de la siembra, para el segundo bloque 30 días después de la siembra, para el tercer bloque 60 días después de la siembra y el cuarto bloque de inundación 110 días después de la siembra. El bloque más afectado en el rendimiento es el 2, de 30 días después de la siembra, esto debido a que después de la inundación ya no se desarrollaron y para algunos tratamientos las plantas no sobrevivieron. El punto óptimo de duración de la inundación a 1.0 m de profundidad para obtener al menos el 50 % del rendimiento en comparación con el testigo es de 12 horas de sumersión.



Diseño de distritos de medición con estructura centro-periferia en redes de agua potable

Solis Jácome, Rair¹; De Freitas Anchieta, Thomaz Felipe²; Mora Rodríguez, Jesús³.

¹Universidad de Guanajuato, 36000, México.

²Departamento de Hidráulica y Recursos Hídricos, Universidad Federal de Minas Gerais, 31270-901, Brasil.

³Departamento de Ingeniería Hidráulica y Geomática, Universidad de Guanajuato, 36000, México.

r.solisjacome@ugto.mx

Palabras clave: distritos de medición, estructura centro-periferia, estructura comunitaria.

Las ciudades dependen de múltiples infraestructuras interconectadas para asegurar el suministro de agua potable a los usuarios, dada esta complejidad, es necesario el uso de técnicas numéricas eficientes para apoyar la gestión del servicio por parte de las empresas de agua. Dentro del contexto del mejoramiento de los sistemas de distribución, la conformación de Distritos de Medición (DMs) ha demostrado ser una técnica eficiente en la gestión de las Redes De Agua (RDAs) debido a que conducen a beneficios en aspectos tales como la reducción de las pérdidas de agua debidas a la presión, el cálculo del balance hídrico, la reducción del consumo energético y la detección de fugas al mismo tiempo que se conserva la calidad del agua (Brentan *et al.*, 2017). Los DMs son subregiones aisladas de las RDAs cuyas fronteras son delimitadas por Válvulas de Aislamiento (VA), que cuentan con Medidores de Flujo (MF) en las tuberías de alimentación para facilitar la cuantificación de los volúmenes de agua.

Desde la visión urbanística las distintas partes que conforman las ciudades han sido sucesivamente agregadas de forma concéntrica a partir del núcleo inicial donde se fundaron, las RDAs se expanden a la par de las ciudades por lo que se conforman por elementos principales y secundarios. Considerando la premisa anterior, en este trabajo se propone una nueva técnica de conformación de DMs en la que se clasifica a los nodos de la RDA en principales y periféricos, bajo el enfoque de estructura Centro-Periferia propuesto por Borgatti *et al.* (2000). Este enfoque tiene la finalidad de incrementar la factibilidad de implementación de los proyectos de mejora de los sistemas de agua potable por parte de los organismos operadores, debido a factores como el flujo vehicular y la dimensión de las calles, la ejecución de las obras hidráulicas necesarias para la conformación de los DMs es más complicada de realizar en la medida en la que se acercan a las zonas principales de la RDAs.

La metodología se divide en dos etapas, la primera es el mapeo de la estructura de la RDA dentro de una gráfica $G = (N, E)$ donde N es el número de nodos, que representan las fuentes de agua y los nodos de consumo, y E el número de enlaces (tuberías). A cada nodo se le es asignado un peso que determina su importancia dentro de la estructura de la gráfica, en este estudio la ponderación de los nodos se realiza con base a dos enfoques: la topología de la RDA y las variables hidráulicas determinadas por las condiciones de trabajo. Con base a dicha ponderación se determinan los nodos principales de la RDA, que quedarán fuera del proceso de conformación de los DMs. La segunda etapa consiste en la aplicación del algoritmo de detección de



comunidades *fast-greedy* (Newman et al., 2004) en la sub-gráfica periférica, que sirve para determinar la estructura de los DMs.

La metodología propuesta se ha aplicado en la RDA Modena, una RDA de acceso abierto del Centro de Sistemas de Agua de la Universidad de Exeter, correspondiente a la ciudad Emilia- Romagna ubicada en el noreste de Italia con una superficie de 183.2 km².



Aplicación de tomografía de resistividad eléctrica para la modelación de flujo en la zona no saturada en tiempo real

Díaz Espíritu, Neri; Expósito Castillo, José Luis; Esteller Alberich María, Vicenta.

Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua – UAEMéx. Km 14.5, San Cayetano, C.P. 50295, Toluca, Estado de México.

ndiaze003@profesor.uaemex.mx

Palabras clave: HYDRUS, zona no saturada, modelación numérica, geofísica, valle del mezquital.

La modelación numérica es una herramienta utilizada ampliamente en la zona saturada y no saturada. Sin embargo, esta requiere un gran número de parámetros de entrada obtenidos mediante trabajos de campo y/o en laboratorio, lo cual implica una demanda de tiempo y recursos materiales y económicos. La geofísica juega un papel importante y su aplicación permite generar información que puede ser utilizada en la modelación numérica. El objetivo del presente trabajo es implementar la geofísica como una herramienta complementaria a la modelación numérica, en la zona no saturada de un sitio experimental en el Valle del Mezquital, Hidalgo. La zona de estudio fue delimitada con base en el mapa de peligro cualitativo por nitratos elaborado a partir de la vulnerabilidad intrínseca y las fuentes de nitratos, esto en el programa QGIS. Dentro de la zona delimitada se definió un solo sitio experimental de longitud de 3x3m dentro de una parcela agrícola, esto de acuerdo con su grado de homogeneidad litológica, en donde se instalaron tensiómetros a profundidades de 15, 30, 60, 90, 120 y 150 cm. Se tomaron lecturas de los tensiómetros en diferentes etapas de un ciclo de riego normal para conocer el comportamiento del flujo. Para la modelación del flujo en tiempo real, se realizó un levantamiento de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) en el periodo más seco del ciclo; posteriormente, en la parcela se vertió una lámina de agua de 80 mm controlada y se volvió a medir la misma línea de TRE. Este mismo proceso se simuló de manera numérica en el programa HYDRUS. Los resultados muestran la presencia de tres unidades geoelectricas, en donde la capa intermedia (U2), de composición mayormente arcillosa, funciona como un acuitardo. La modelación numérica muestra que el flujo circula de manera rápida en la U1 y se ve retenido por la U2, lo cual podría generar un flujo subsuperficial horizontal. Esta misma dinámica de flujo se observó con los TRE, comprobándose, por lo tanto, una correlación significativa entre ambas técnicas aplicadas. Se puede concluir que la geofísica es una herramienta muy valiosa ya que permite modelar en tiempo real el comportamiento de un flujo y permite obtener parámetros hidráulicos y físicos del medio que son útiles para calibrar la modelación numérica bajo diversos escenarios dentro de la zona no saturada.



Análisis de cuadrantes en la zona no aireada de un vertedor escalonado

Cisneros Contreras, Ileana Paloma¹; Mubarqui Guevara, Gibrán¹; Aguilar Chávez, Ariosto²

¹ Universidad Nacional Autónoma de México, Campus IMTA; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

² Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.
paloma.cisneros@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: vertedor escalonado, zona no aireada, análisis de cuadrantes, turbulencia.

El estudio de la zona aireada y no aireada en vertederos escalonados es crucial para el diseño, operación y mantenimiento de estas estructuras. La comprensión de los factores que influyen en su rendimiento, como la cavitación, la estabilidad del flujo, la disipación de energía y la vibración, permite construir vertederos eficientes, seguros y duraderos. La zona no aireada es particularmente importante en presas pequeñas donde el flujo no siempre incorpora aire. En estas condiciones, comprender sus características hidráulicas es vital para un diseño eficiente y seguro.

Las estructuras turbulentas en estas zonas presentan variaciones en la energía cinética, inicio de inyección de aire, fluctuación de presión, cambios en la velocidad de corte, variación espacial de la subcapa viscosa y cambios en el parámetro del coeficiente de descarga.

Este trabajo se centra en la determinación del comportamiento de la velocidad instantánea y la separación de escalas de velocidad en vertederos escalonados, con el fin de comprender mejor la dinámica del flujo turbulento en estas estructuras, se profundiza en la comprensión de los mecanismos físicos que generan el aumento de la turbulencia en la región no aireada mediante la implementación del análisis de cuadrantes, método que clasifica los eventos turbulentos en cuadrantes definidos por fluctuaciones instantáneas de la velocidad en dos direcciones perpendiculares entre sí, utilizando un enfoque euliano.

La metodología se centra en la adquisición y análisis de datos experimentales obtenidos de un modelo físico compuesto por 7 escalones idénticos de 0.076 m de longitud de huella y altura de escalón, dispuestos de manera horizontal instalado en la zona media de un canal rectangular de 0.60m de altura y 10.00 m de largo. La adquisición de datos de velocidad instantánea se realiza con la ayuda de un velocímetro acústico Doppler, obteniendo para cada punto de medición un volumen de muestreo de 1cm dividido en 10 celdas a una frecuencia constante de 100 Hz.

Con el fin de garantizar la reproducibilidad y repetibilidad del experimento, se ha establecido consideraciones específicas para la operación del canal, incluyendo la temperatura, el tiempo de medición, el nivel de compuertas aguas abajo y la densidad del agua. Para evaluar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, se establecieron tres escenarios con distintas velocidades en el canal de 0.15, 0.36 y 0.59 m/s.



Los resultados obtenidos del análisis de cuadrantes se representan por medio de gráficos donde en el escenario 01 el efecto de los escalones genera una perturbación sobre el flujo exterior y va disminuyendo a medida que crece el número de Reynolds, pasa el sweep sobre todo el campo de flujo (escenario 01) a un efecto local dentro del escalón (escenario 03), condición viscosa dominante para bajos números de Reynolds.

La condición Q2 (ejection) es predominante dentro del escalón para escenario 01 y tiene un incremento en el flujo exterior en el escenario 02 y una condición predominante en el escenario 03 para el flujo exterior, condición de flujo uniforme en la zona exterior para números de Reynolds altos o gran cinética dominada por el número de Froude.

Existe en los tres escenarios una capa de Q1 de outward interaction, que indica el efecto del vértice de los escalones en el campo de flujo, con una representación tipo capa límite, y la variación es el cambio del ángulo a medida que aumenta el número de Reynolds, evidencia de los efectos locales de la velocidad de corte sobre los escalones.



Análisis del transporte de la turbulencia generada por las pilas de puentes

Mubarqui Guevara, Gibrán¹; Aguilar Chávez, Ariosto²; Ruiz Martínez, Gabriel²

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Campus IMTA; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

²Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.
gibran.mubarqui@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: socavación local, turbulencia, CFD, Large-Eddy Simulation.

La interacción entre las pilas de un puente y el flujo del agua produce un fenómeno conocido como socavación local, este proceso involucra la erosión del sedimento alrededor de las pilas, exponiendo su cimentación y, por ende, la estabilidad estructural del puente.

Espacialmente, la socavación alrededor de una pila se produce debido a la perturbación del flujo, en donde se genera vórtice con una estructura tridimensional que amplifica el esfuerzo cortante en el lecho del río y provoca la erosión del sedimento alrededor. En la literatura existen diversos métodos para estimar la profundidad de socavación, pero aún perdura un grado de incertidumbre debido a la complejidad del fenómeno, por la cantidad de variables a analizar, como son: la velocidad, la intensidad de la turbulencia, relación de ahogamiento de la pila, la granulometría y densidad del sedimento, así como la geometría y alineación de la pila.

En este trabajo se analizan las estructuras turbulentas en la zona cercana de una pila de puente. El escenario fue generado con un modelo de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) con el sistema OpenFoam, este análisis se resolvió la turbulencia con un modelo LES (*Large Eddy Simulation*), para una frecuencia de 1 [kHz], la resolución del dominio o subgrilla es 1×10^{-3} [m], con un dominio de 1.4×10^6 nodos y con multiproceso de solución en 24 procesadores en paralelo. Los resultados obtenidos permiten identificar la energía cinética de la turbulencia k y la estructura principal del vórtice HSV (*horseshoe vortex*). La malla es de tipo estructurada formada por bloques hexaédricos y obtenida con la función *blockMesh* del software; además, todas las zonas de la malla contienen el mismo número de particiones para garantizar la convergencia numérica, con un dominio discreto que contiene aproximadamente 4.25×10^6 caras para un canal, con dominio 0.60 [m] de ancho, 1.5 [m] de largo y 0.15 [m] de profundidad.

Las caras de la pila se definieron como una pared impermeable con una condición de no deslizamiento. Esta condición, también fue impuesta en las paredes laterales y en el fondo del canal. Por otro lado, la cara superior de la malla se simula como una placa plana que se desliza a una velocidad constante de 0.3 [m/s] y esta misma velocidad se utiliza como el valor en la frontera de entrada. Las condiciones de frontera son de tipo de Dirichlet a la entrada y de tipo Neumann al final del canal para la velocidad y de forma inversa para la presión. Para este escenario se aplicó un modelo de turbulencia LES – *dynamicKEqn*. El proceso de cómputo se realizó en un sistema con 24 procesadores numéricos en paralelo y los subdominios se definieron con la aplicación *descompose-Par*.

Los resultados del modelo muestran la presencia de estelas de von Kármán aguas abajo



de la pila, con una condición anisotrópica de la turbulencia a lo largo del canal; en forma local se observa la presencia del vórtice HSV con una expansión hacia la superficie libre.

Para realizar un análisis de escenario de simulación se almacenaron los valores de velocidad instantánea en distintos puntos sobre el eje central del canal, con frecuencia de muestreo de 1 [kHz], y se aplicó un análisis de autocorrelación y correlación cruzada, donde se observa la frecuencia de las estelas de von Kármán y del HSV; de los tensores de correlación se determinaron las frecuencias principales por medio de la transformada rápida de Fourier. Los resultados de este trabajo se utilizarán como escenario numérico de un análisis experimental en laboratorio.



Aplicación de machine learning en la evaluación del riesgo por sequía y sus componentes: estado del arte.

Castellano-Bahena, Heidy Viviana; Ortega-Gaucin, David

Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532,
Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

¹heidyviv78@gmail.com

Palabras clave: vulnerabilidad, pronóstico de sequías, gestión del riesgo de desastres, inteligencia artificial, aprendizaje automático.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo realizar una revisión y análisis de los trabajos indexados en diversas bases de datos, centrados en la aplicación de machine learning (ML) y deep learning (DL) en la evaluación del riesgo por sequía y sus componentes (amenaza, exposición y vulnerabilidad). El periodo de revisión abarcó desde enero de 2016 hasta marzo de 2023, y la información se recopiló de fuentes destacadas como Science Direct, Springer Link y MDPI. Los resultados muestran que los países con mayor número de trabajos publicados fueron Irán (17 %), China (12 %), India (11 %) y Australia (10 %). Del conjunto de estudios analizados, el 87 % se enfoca en el análisis de la amenaza por sequía, mientras que el 5 % aborda el riesgo, otro 5 % se dedica a la vulnerabilidad y el 3 % restante se centra en la exposición. En cuanto a los algoritmos más empleados, se destacan Random Forest (RF) (20 %), Red Neuronal Artificial (ANN) (14 %) y Regresión de Vectores de Soporte (SVR) (11 %). Estos modelos fueron evaluados tanto de manera independiente como en configuraciones híbridas. Además, se observa que los algoritmos ANFIS (8 %) y ARIMA (7 %) son los que más se integran con los modelos previamente mencionados o con otros enfoques. Este análisis proporciona una visión clara de las tendencias y enfoques predominantes en la aplicación de ML y DL en la evaluación del riesgo por sequía, contribuyendo a consolidar el conocimiento actual en este campo.



Reducción de escala estadística aplicando escalado lineal y redes neuronales en la Región Noroeste de México

Rodríguez Torres, Sergio¹; Montero Martínez, Martín José²; Andrade Velázquez, Mercedes³

¹Doctorado en Ingeniería Civil, Universidad Nacional Autónoma de México, Campus IMTA; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

^{2,3}Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

¹sergio.rodríguez@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: Reducción de Escala Estadística, Machine Learning, Cambio Climático, Seguridad Hídrica.

La reducción de escala estadística es un proceso importante para obtener datos climáticos a una resolución más fina que la proporcionada por los modelos climáticos globales. Este trabajo compara el desempeño de dos técnicas de reducción de escala estadística en la Región Hidrológica Administrativa II Noroeste de México; esta región se caracteriza por tener un clima mayoritariamente seco y semiseco, abarcando el 48 % de la superficie total, mientras que el 46 % es considerado muy seco, el otro 4 % y 2 % corresponden a templado subhúmedo y cálido subhúmedo respectivamente. INEGI (2024), esta región es importante para México debido a la actividad agrícola y otras actividades que aportan al desarrollo económico y social del país.

Se implementó el método de corrección de sesgo mediante Escalado Lineal (LSBC) y un método de Machine Learning aplicando Redes Neuronales Recurrentes (RNN) a datos de precipitación mensuales de 1950-2014 de los modelos del CMIP6: CNRM-CM6-1, GFDL-ESM4, MIROC6 y MPI-ESM1-2-LR; usando como observaciones datos de reanálisis de ERA5. Las series corregidas resultantes se evaluaron mediante métricas estadísticas para determinar el desempeño y conocer cuales tienen mejores resultados y aportan un valor agregado.

Los resultados del desempeño muestran que el método convencional de corrección de sesgo arroja buenos resultados con respecto a la correlación para todos los modelos, pero el método de RNN mostró un mejor desempeño para un modelo en específico, aportando así valor agregado con respecto al método convencional. Además, se discuten los pasos futuros de este trabajo, que plantea comparar otros métodos de reducción de escala estadística, la inclusión de otras variables y la aplicación en otra región de México, lo que podría tener importantes aplicaciones en la planificación y gestión del recurso hídrico, así como en la adaptación al cambio climático.





MEMORIAS DE V DIÁSPORA HÍDRICA

Calidad del agua



Elementos potencialmente tóxicos en el lago de Tuxpan, Gro.

Flores Ronces, José Alfredo¹; Salcedo Sánchez, Edith²; Esteller Alberich, Ma. Vicenta³.

¹Doctorado en Recursos Naturales y Ecología, Universidad Autónoma de Guerrero, Gran vía tropical 20, Las Playas Acapulco de Juárez, 39390, México.

²CONAHCYT- Escuela Superior de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero, Ex Hacienda de San Juan Bautista s/n Taxco el Viejo, 40323, México.

³Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA). Universidad Autónoma del Estado de México, Carretera Toluca Atlacomulco Km. 14.5 Unidad San Cayetano, Toluca, México.
ron_alf23@hotmail.com

Palabras clave: EPT, Riesgo ecológico, índice de carga contaminante.

Los lagos son ecosistemas especialmente amenazados debido a que reciben altas cargas contaminantes de las actividades antropogénicas, en una masa de agua poco profunda con baja capacidad de dilución. La subcuenca del lago de Tuxpan ha sufrido un deterioro ambiental derivado de la sobreexplotación del bosque para extraer leña, carbón y postes; del sobrepastoreo, pérdida de productividad de los sistemas agropecuarios y azolvamiento del lago, con pérdida del volumen del agua y del territorio. Uno de los principales problemas del lago de Tuxpan se asocia a la alta carga de contaminantes; sin embargo, la contaminación afecta su equilibrio ecológico, contribuye a cambios físicos y químicos los cuales se reflejan en la integridad biológica de las comunidades acuáticas. Bajo este contexto, el presente estudio se centró en evaluar el grado de contaminación y acumulación de Elementos Potencialmente Tóxicos en el lago, específicamente en los sedimentos superficiales. Esta evaluación se realizó sobre la base de análisis geoquímicos de EPT utilizando espectrómetro de Emisión Óptica de Plasma acoplado Inductivamente (ICP-OES) marca Thermo iCAP 6500 Duo, análisis granulométrico se realizó para determinar las clases texturales de los sedimentos, y el cálculo del índice de carga contaminante para medir el riesgo ecológico, su aplicación será muy útil para desarrollar estrategias de protección como apoyo para la toma de decisiones en el manejo del ecosistema lacustre. Los resultados demostraron un alto grado de contaminación mostrando que las fuentes antropogénicas han contribuido significativamente como fuente de EPT, mostrando que existen efectos biológicos nocivos en el ambiente del lago.

Tratamiento de drenaje ácido de mina con huevos de gallina y sistemas bioelectroquímicos

López Díaz, Jazmin Alaide¹; Hernández Flores, Giovanni².

¹Facultad de Ecología Marina, Universidad Autónoma de Guerrero. Av. Gran Vía Tropical No. 20 Fracc. Las Playas, C.P. 39390, Acapulco, Guerrero, México.

²CONAHCyT-Escuela Superior de Ciencias de la Tierra, Universidad Autónoma de Guerrero. Ex-Hacienda de San Juan Bautista S/N, Taxco el Viejo, C.P. 40323, Taxco, Guerrero, México.

21254004@uagro.mx

Palabras clave: bioelectricidad, celdas de combustible microbianas, lodos residuales anaerobios, tratamiento sostenible.

El drenaje ácido de mina (DAM) es un efluente producto de actividades mineras. Es ácido, contiene una elevada concentración de sulfatos y metales pesados (MP) oxidados y disueltos. Representa un reto ambiental porque es fácilmente dispersable y contaminante de los ecosistemas. Se han propuesto diferentes métodos de tratamiento para el DAM: uso de químicos neutralizantes, procesos de intercambio iónico, filtración, adsorción, coagulación y métodos biológicos. Sin embargo, no existe un solo método de tratamiento que solucione las tres características negativas del DAM. Además, estos métodos resultan ser costosos, lentos o poco eficientes. El cascarón de huevo de gallina (CASHUE) es un desecho de cocina propuesto como agente neutralizante contra el DAM gracias a su composición de carbonato de calcio (>95 %). Por otro lado, las celdas de combustible microbianas (CCM) son dispositivos bioelectroquímicos que originalmente se utilizaron para depurar aguas residuales y convertir la energía química de la materia orgánica en bioelectricidad aprovechando la maquinaria bacteriana. En la cámara anódica las bacterias convierten una fracción de la materia orgánica en electrones, quienes son trasladados a la cámara catódica cerrando el circuito al reducir oxígeno. Se produce bioelectricidad. Las CCM son una propuesta innovadora de tratamiento implementada para remover materia orgánica del agua, producir bioelectricidad y tratar el DAM. En este trabajo se evaluó el potencial del CASHUE como material neutralizante para elevar el pH del DAM hasta valores circumneutrales y remover MP. Además, se utilizó el DAM previamente tratado con CASHUE (DAM-T1) como catolito en una CCM para incrementar el tratamiento del DAM y en simultáneo, producir bioelectricidad. Primero, se realizaron cuatro tratamientos con diferentes tamaños de partícula de CASHUE (<63, 250-500 y 1,410–2,000 μm) en condiciones de agitación para evaluar el efecto del tamaño de partícula sobre la rapidez de neutralización del DAM (γ). En el tratamiento bioelectroquímico se usaron lodos residuales anaerobios como anolito de las CCM y DAM-T1 como catolito bajo dos condiciones: DAM-T1 filtrado y DAM-T1 sin filtrar. El experimento duró 16 días: un proceso de estabilización de siete días a circuito abierto, un día para caracterización electroquímica y ocho días trabajando a circuito cerrado. En cada tratamiento (inicio-final) se evaluó en el DAM: pH, potencial redox (Eh), alcalinidad y la eficiencia de remoción de sulfatos ($\eta_{\text{SO}_4^{2-}}$). El desempeño electroquímico se midió a través de determinar la resistencia interna (R_{int}) de la CCM por curva de polarización; el potencial generado (E_{CCM}), la potencia volumétrica ($P_{V-\text{CCM}}$) y la densidad de corriente (j_{CCM}). En el tratamiento con CASHUE el mayor efecto de (γ) para alcanzar un valor pH ≈ 6.0 se observó dentro de los primeros

5-10 min, independientemente del tamaño de partícula. Se logró disminuir el Eh hasta ≈ 210 mV, se obtuvo una $\eta_{SO_4^{2-}}$ máxima $\approx 70\%$ y en todos los tratamientos se obtuvo una remoción de 100% para Al, Fe y Mo. Por otro lado, el tratamiento con CCM incrementó el pH de los catolitos 1.2 unidades; los valores de Eh y alcalinidad disminuyeron, ≈ 50 y entre 30-40%, respectivamente; mientras que se tuvo una $\eta_{SO_4^{2-}}$ de $\approx 20\%$. El valor de R_{int} obtenido para los dispositivos fue de ≈ 100 k Ω , mientras que se registraron valores de E_{CCM} cercanos a 700 mV a circuito abierto. Los valores de P_{V-CCM} (1.7 mW/m³) y j_{CCM} (18 μ A/m²) registrados utilizando DAM-T1 sin filtrar fueron más elevados comparados con los valores registrados para la CCM utilizando DAM-T1 filtrado. En este trabajo se demostró que es posible neutralizar DAM y remover MP usando CASHUE (un residuo de cocina) y generar bioelectricidad a partir de acoplar la oxidación de materia orgánica presente en lodos residuales anaerobios y el tratamiento de DAM previamente neutralizado.



Distribución y caracterización microscópica de microplásticos en agua de los ríos Tula y Salado, Hidalgo, México

Anaya Hernández, Arely¹; Aguilar Hernández, Berenice¹; González Hernández, Elio Israel^{1,2}.

¹Centro de Investigación en Genética y Ambiente, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Km. 10.5, autopista Tlaxcala-San Martín, Ixtacuixtla, CP 90120, Tlaxcala, México.

²Licenciatura en Química Clínica, Universidad Autónoma de Tlaxcala. Guardia 3ra sección, Zacatelco, CP 90750, Tlaxcala, México.

ron_arely.anayahernandez@uatx.mx

Palabras clave: Microplásticos, contaminación, salud ambiental, ecotoxicidad, riesgo potencial.

Actualmente se producen más de 300 millones de toneladas de plástico al año a nivel mundial. Cerca del 20 % del plástico residual se recicla o se quema; sin embargo, la mayoría de estos plásticos terminan en los cuerpos de agua, produciendo microplásticos (MP; tamaño <5 mm). Entre los cuerpos de agua más importantes del centro de México se encuentran los Tula y Salado, que atraviesan el Estado de México e Hidalgo y reciben aportes significativos de los sistemas de desagüe de la Ciudad de México. Las aguas de estos ríos se utilizan para riego de cultivos y para la alimentación del ganado de la región. Dado que estos productos son consumidos por la población, existe un riesgo potencial de que los MP sean transferidos a través de la cadena trófica. El objetivo de la presente investigación es conocer la distribución y caracterización de microplásticos a lo largo de los ríos Tula y Salado.

Metodología.

Se recolectó 1L de agua en diversos puntos de ambos ríos: 8 puntos a lo largo del Río Tula, desde la Presa Requena hasta la Presa Endhó, incluyendo un manantial (sitio de referencia); y 7 puntos a lo largo del Río Salado, desde Apaxco (Edo. de México) hasta Atitalaquia (Hidalgo), pasando por Atotonilco de Tula e incluyendo un manantial en Apaxco como sitio de referencia.

Para la caracterización microscópica de los MP, se utilizó una solución saturada de NaCl para separar los MP por densidad y H₂O₂ al 30 % para eliminar la materia orgánica. Posteriormente, se filtraron a través de un filtro de membrana (0.45 µm), se dejaron secar hasta peso constante, se pesaron y se cuantificaron todos los MP presentes en el filtro bajo un microscopio óptico.

Resultados.

Todos los sitios muestreados en ambos ríos presentaron MP. En el Río Tula, incluso el manantial presentó 860 MP (53.30 mg/L). El sitio con mayor número de MP (1416 MP; 67 mg/L) fue el centro de Tula, una zona altamente poblada. El principal tipo de MP fueron residuos (41.1 %), seguido de fragmentos (37.8 %) y películas (17.3 %). Las fibras, espumas y pellets se encontraron en menor proporción (3.7 %).

En el Río Salado, los sitios con mayor número de MP se localizaron en las zonas industriales: cementera Holcim Apaxco (1002; 59 mg/L) y Parque Industrial Tlamaco



(987; 41 mg/L). El sitio con menor número de MP fue la Presa en Atotonilco de Tula (307; 53 mg/L). El sitio de referencia presentó 680 MP (51 mg/L). El principal tipo de MP fueron residuos (56.4 %), seguido de fragmentos (32.4 %) y películas (7.6 %).

Conclusión.

A lo largo de los ríos Tula y Salado existe la presencia de MP, incluso en el agua de manantiales de la región. Al utilizar el agua de estos ríos y manantiales para riego de cultivos y ganadería, existe un riesgo potencial para la salud de la biota y de la población humana. Los principales efectos en la salud por la ingesta de MP son alteraciones reproductivas, inmunológicas y neurotóxicas.



Potabilización de agua superficial con residuos de frutas como alternativa natural a los químicos

Díaz Martínez, Guillermo¹; Navarro Amador, Ricardo²; Flores Cervantes, D. Xanat³.

¹Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de las Américas Puebla. Sta. Catarina Mártir sn, 72810, San Andrés Cholula, Pue., México.

²Departamento de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad de las Américas Puebla. Sta. Catarina Mártir sn, 72810, San Andrés Cholula, Pue., México.

³Departamento de Ingeniería Química y Alimentos. Universidad de las Américas Puebla. Sta. Catarina Mártir sn, 72810, San Andrés Cholula, Pue., México.

guillermo.diazmz@udlap.mx

Palabras clave: Potabilización de agua superficial, coagulación-floculación, coagulantes naturales, desperdicio de frutas, sulfato de aluminio.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), casi 159 millones de personas dependen actualmente del agua superficial, y al menos 2.000 millones de personas en todo el mundo utilizan agua potable contaminada con patógenos (bacterias, virus, parásitos) y sustancias tóxicas. Por esta razón, el agua debe ser tratada y purificada para cumplir con los estándares de agua potable.

La coagulación se utiliza ampliamente en muchas plantas de tratamiento de agua potable, utilizando grandes cantidades de coagulantes y floculantes químicos que causan problemas ambientales y efectos adversos en la salud humana. El sulfato de aluminio es el coagulante químico más utilizado, pero estudios epidemiológicos han demostrado que existe una fuerte correlación positiva entre la enfermedad de Alzheimer y el aluminio residual en el agua potable (Trindade *et al.*, 2021). Otros estudios han demostrado que los niveles elevados de aluminio en el cuerpo están asociados con condiciones neurológicas (Lugo-Arias *et al.*, 2020) y el parkinsonismo con demencia son enfermedades cuya causa se atribuye en gran medida al aluminio (Krupińska, 2020).

Por otro lado, el desperdicio de frutas, que se calcula en más del 50 % de las producidas, es un problema muy grave con implicaciones sociales, económicas y ambientales.

Una alternativa viable para solucionar estos problemas es el uso de coagulantes naturales obtenidos del desperdicio de frutas. En este trabajo, consideramos el caso del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y la papaya (*Carica papaya*) que son frutas ampliamente cosechadas en México con producciones muy importantes. En esta investigación se sintetizan coagulantes naturales a partir del cladodio o penca del nopal, de la tuna o fruto del nopal y las semillas y cáscara de la papaya y se evalúan los desempeños en el tratamiento de agua superficial sintética con el uso de pruebas de jarras, en comparación con sulfato de aluminio, obteniéndose buenos resultados con muy altas eficiencias de remoción de turbidez y de sólidos suspendidos totales arriba del 70 %.

Se hace un análisis de los espectros infrarrojos FTIR (Fourier-transform infrared spectroscopy) de los coagulantes naturales mostrando los principales grupos funcionales presentes que explican la capacidad de coagulación y floculación.

Por último, se trató agua superficial real de la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo)



obteniéndose remociones de turbidez arriba del 90 % con lo que se valida la factibilidad de uso de coagulantes naturales para potabilizar aguas superficiales para consumo humano.

Bibliografía

Krupińska, I. (2020). Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules*, 25(3), 641.

Lugo-Arias, J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabon, D., Arango, J., de la Puente, M., & Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, 6(6), e04296.

Trindade, S., Rouxinol, M. I., & Nabais, J. (2021). Evaluation of the Potential of *Opuntia Ficus-Indica* Cladodes as a Natural Flocculant for Wastewater Treatment through Simple Procedures. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 249-257.



Recuperación del calcio del agua residual de la nixtamalización como hidroxiapatita para aplicaciones biomédicas

Valenzuela, Edgardo I.; Cervantes-Avilés, Pabel A.

Tecnológico de Monterrey, Atlixcáyotl 5718, Reserva Territorial Atlixcáyotl, Puebla 72453, México.

edgardo.valenzuela@tec.mx

Palabras clave: nixtamalización, economía circular, tratamiento de aguas, obtención de recursos, hidroxiapatita.

El agua residual del proceso de nixtamalización del maíz conocida tradicionalmente como *nejayote*, es considerada uno de los residuos agroindustriales de más difícil tratamiento. Debido a su peculiar composición caracterizada por niveles extremos de DQO (hasta 50 g/L), Ca^{2+} residual (hasta 4 g/L) y alta alcalinidad ($\text{pH} > 10$), experimentación previa en métodos fisicoquímicos y biológicos para lograr su revalorización o tratamiento han obtenido bajos rendimientos relacionados a las dificultades técnicas derivadas de su compleja composición. Con la finalidad de disminuir la recalcitrancia de este residuo a la par de obtener recursos de alto valor, se desarrolló una metodología de recuperación de Ca^{2+} residual mediante un proceso de precipitación química para obtener nanopartículas de hidroxiapatita (nHAp) con potencial aplicación biomédica.

Los resultados de la primera etapa muestran que mediante la implementación de precursores químicos de fosfato la obtención de precipitados de fosfatos de calcio (Ca-P) permitió remover cerca del 100 % del Ca^{2+} residual del *nejayote* mediante precipitación química. El lavado y calcinamiento de los precipitados de Ca-P resultó en la obtención de clústeres de nanopartículas de hidroxiapatita con una alta pureza química (ausencia de metales pesados), alta área superficial ($30 \text{ m}^2/\text{g}$) y un diámetro hidrodinámico del orden micrométrico (350 nm). La nHAp no ser citotóxica y promovió el crecimiento de nueva apatita, mostrando de esta manera potencial biomédico.

Durante la segunda etapa del proyecto, el método de obtención de nHAp fue insertado en un tren de tratamiento fisicoquímico/biológico de tratamiento de aguas con digestión anaerobia (DA), tratamiento microalga/bacteria (TMB) y filtración. Los resultados muestran que remover el calcio residual del *nejayote* resultó en una mejora del desempeño de la DA con el principal impacto reflejado en un aumento en la tasa máxima de producción de biogás ($2.86 \text{ N mL}_{\text{biogas}}/\text{L}\cdot\text{h}$ vs. $2.33 \text{ N mL}_{\text{biogas}}/\text{L}\cdot\text{h}$), y en un mayor rendimiento ($0.2 \pm 0.06 \text{ L/g DQO}_{\text{sol}}$ vs. $0.9 \pm 0.5 \text{ L/g DQO}_{\text{sol}}$). La calidad del agua tratada al final del tren de tratamiento fue alta, demostrado por una remoción de DQO_{tot} del 97 %, del 100 % para SST, Ca^{2+} y N-NH_3 , así como una disminución del pH desde 12.2 hasta 7.6. Un análisis energético/económico del tren de tratamiento reveló que la comercialización de la nHAp producida a un precio altamente competitivo, podría amortiguar hasta en un 70 % los costos relacionados al tren de tratamiento del *nejayote*.

Los resultados obtenidos indican que la remoción de calcio residual del *nejayote* tiene implicaciones técnicas, económicas y de sostenibilidad que podrían impactar de forma positiva a las industrias que producen productos a base de maíz en México. Lo anterior es esencial para avanzar en la búsqueda de soluciones sustentables para promover



la reutilización de recursos y el reúso de agua por medio de enfoques basados en economía circular.



Evaluación del pretratamiento campo magnético y ultrasonicación en lodos residuales para la producción de metano

Reza Chávez, Edwin Aldair¹; Gutierrez-Macias, Tania².

¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progres, C.P. 62550, Jiutepec, Mor.

²CONAHCyT-IMTA, Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

edwin.reza@posgrado.imta.edu.mx.

Palabras clave: Neodimio, pretratamiento, campo magnético, ultrasonicación.

La digestión anaerobia es uno de los procesos convencionales más utilizados para la estabilización lodos residuales (Jin et al., 2024), sin embargo, en la etapa de hidrólisis se ha dado a conocer que es un paso limitante en la degradación de materia orgánica y en la producción de metano CH₄ (Feng et al., 2024), algunos autores en los últimos años han propuesto el uso de pretratamientos previo a la digestión anaerobia (Geng et al., 2024; Guan et al., 2017), por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el pretratamiento de campo magnético (CM) en combinación de ultrasonicación (UL) sobre los lodos residuales a fin de fomentar una mejor digestión y producción de metano. Se utilizó una combinación de lodo residual primario y secundario (70:30) con concentración de 59,518 mg·L⁻¹ de sólidos totales (ST) y demanda química de oxígeno (DQO) de 44,078 mg·L⁻¹. Para el pretratamiento de CM se utilizaron dos sistemas. El primero consistió en el uso de seis imanes permanentes de neodimio y el segundo con solo dos imanes, ambos sistemas con una densidad magnética de 5000 G y una velocidad de paso de 13.2 mL·s⁻¹. Posteriormente, para el pretratamiento con UL se utilizó un ultrasonicador Auto Science modelo AS515OB a una potencia de 20 kHz. Para la digestión anaerobia se instalaron tres digestores con capacidad de 1 L los cuales operaron condiciones mesofílicas (37° C) y una alimentación batch de 50 mL·d⁻¹ con lodos pretratados con las siguientes características: el digestor 1 (D1) sistema de dos imanes con tiempos de pretratamiento de 15 min de CM seguido de 20 min de UL; digestor 2 (D2) sistema de 6 imanes con 15 min de CM y 30 min de UL y el digestor 3 (D3) alimentado con lodo residual sin pretratamiento siendo este el control o blanco de referencia. Los digestores operaron durante 45 días y fueron monitoreados los parámetros ST, DQO y producción de metano (CH₄) el cual fue colectado por la parte superior de cada digestor en bolsas Tedlar de 5L y analizado en un cromatógrafo de gases SRI8610 con detector de conductividad térmica. Como resultado se observó que las mejores remociones de DQO alcanzadas fueron de 70 % para el D2 el cual operó con 6 imanes y los mayores tiempos de contacto en el pretratamiento con CM y UL. En el D1 las remociones fueron de 54 % y para D3 de 48 %. Con respecto a los ST las remociones fueron de 64 %, 55 % y 53 % para D2, D1 y D3. La producción de metano durante los primeros 30 días fue similar para D1 y D2 siendo en promedio de 0.7 a 1 L CH₄. gDQO producido, sin embargo, se observó que a partir del día 31 al 45 el D2 registró producciones máximas de hasta 1.4 L CH₄. gDQO lo cual no ocurrió en el D1. Con respecto al D3 sus producciones oscilaron entre 0.6 a 0.85 L CH₄. gDQO durante los 45 días de operación. Con lo anterior se concluye que el uso de pretratamientos para los lodos residuales puede fomentar la remoción de la materia orgánica y la producción de metano.

Diseño de un prototipo de un humedal artificial para el tratamiento de un agua residual en el municipio de Tizayuca, Hidalgo

Rodríguez Negrete, Ingrid Ximena¹; Rangel Martínez, Yamile¹; Baños Rodríguez, Ubaldo².

¹Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, km 4.5 Carr. Pachuca-Tulancingo. C.P. 42184, México.

²Laboratorio de Bioprocesos. Universidad Politécnica de Pachuca, Carr. Pachuca-Cd. Sahagún, km 20. Ex Hacienda de Santa Bárbara, C.P. 43830, Zempoala, Hidalgo, México.

ro315220@uaeh.edu.mx

Palabras clave: Humedal artificial, fitodepuración, Tratamiento de agua residual, macrófitas.

Debido a la escasez de agua limpia a nivel mundial, el tratamiento de aguas residuales y su disposición es fundamental, la UNESCO asegura que el 80 % de las aguas residuales vuelve al ecosistema sin ser tratada ni reutilizada. En el año 2018 la OMS publicó un informe basado en una prueba piloto referente al ODS 6 (acceso al agua limpia y su saneamiento) llegando a concluir la necesidad de considerar las aguas residuales como una “fuente sostenible de agua, energía, nutrientes y otros subproductos recuperables, en lugar de una carga”.

Una alternativa viable es el uso de humedales artificiales, ya que, simbolizan una parte relevante en el impacto ecológico y ahorro económico, estos sistemas presentan una construcción más sencilla, un mantenimiento reducido y mayor confiabilidad para la depuración, implementándose en comunidades de escasos recursos y grandes urbes, con finalidades muy diversas.

Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, ya que este sistema se produce a través del sustrato y de la fitodepuración. Se realizó un análisis fisicoquímico de las aguas residuales provenientes de uso municipal para su tratamiento (influyente y efluente).

El área de estudio se llevó a cabo en un autolavado de un terreno ejidal; el cual, cuenta con uso de suelo agrícola, la zona presenta un clima semiseco templado con temperaturas promedio anuales de 34.2 °C, y precipitaciones pluviales de 500 mm por año.

De acuerdo a las características físico-químicas del lugar, se realizó el prototipo de humedal con macrófitas como la espadaña y el alcatraz, seleccionadas por sus resistencias a las condiciones ambientales, capacidad de adaptación y disminución a las altas concentraciones de contaminantes presentes en las descargas.

Para el análisis o caracterización del agua residual del autolavado se observaron parámetros como la Demanda química de oxígeno (DQO) y la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos sedimentables (SS), pH y conductividad.

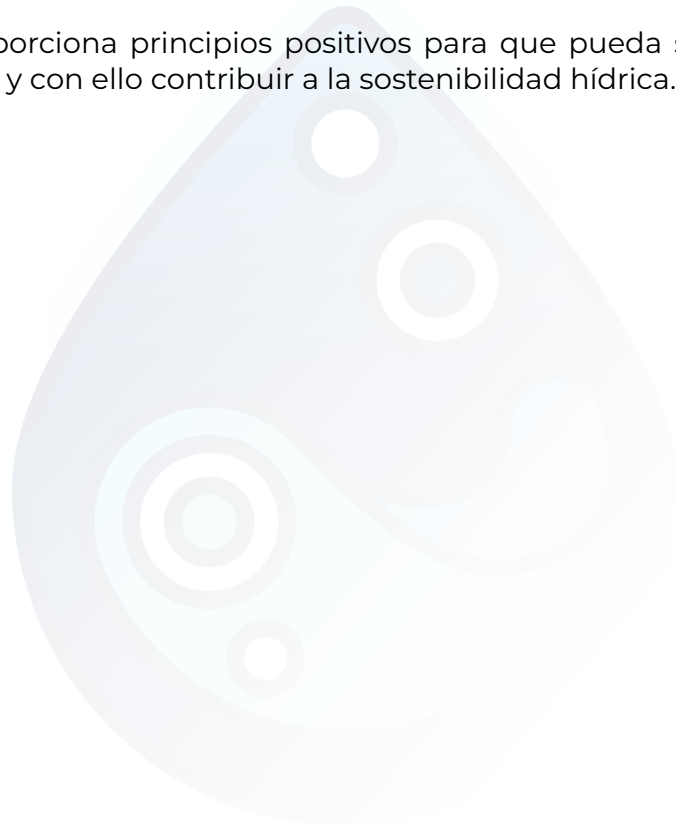
Dando como resultado una remoción de carga orgánica en términos de DQO en el



prototipo un intervalo de 28 % a 48 %. Siendo el rango de DQO en el agua residual sin tratamiento y DQO en agua residual-efluente del humedal con tratamiento de: 1855 a 642 partes por millón (ppm).

En base a la estructura del humedal y de acuerdo a sus parámetros obtenidos, los resultados fueron favorables, teniendo a priori al tratamiento un promedio de sólidos disueltos totales (SDT) de 0.6 ml/L, un pH de 7.3 teniendo que lograr una estabilización a 7; para posteriormente trasladarlo al proceso del humedal, destacando la medida del efluente con 0.3 ml/L de SDT, logrando un porcentaje de remoción del 48 %; esto con apoyo de las macrófitas mencionadas anteriormente y con una bomba para recirculación; dando como resultado un agua para uso de riego agrícola, marcada por la NOM-001-SEMARNAT-2021 y las escalas de clasificación de la calidad del agua por parte del IMTA-2021.

Este prototipo proporciona principios positivos para que pueda ser replicada a gran escala en esta zona y con ello contribuir a la sostenibilidad hídrica.



Remoción de contaminantes emergentes mediante procesos de superficie y oxidación avanzada

Meléndez López, Adriana Leticia¹; Cruz Castañeda, Jorge Armando²; Negrón Mendoza, Alicia².

¹Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra, UNAM. Circuito de la Investigación Científica sn, Ciudad Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Cd. Mx., México.

²Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM. Circuito Exterior sn, Cd. Universitaria, Alcaldía Coyoacán, C.P. 04510, Cd. Mx., México.

adriana.melendez@encit.unam.mx

Palabras clave: contaminantes emergentes, procesos de superficie, procesos de oxidación avanzada.

Los contaminantes emergentes (CEs) son sustancias químicas de diferente origen y naturaleza que se encuentran en cuerpos de agua, suelos utilizados para la agricultura y ganadería, aguas residuales, etc. en concentraciones de $\mu\text{g L}^{-1}$ o ng L^{-1} . Dentro de los CEs están fármacos, productos del cuidado personal, surfactantes, colorantes, pesticidas, plastificantes, microplásticos entre muchos otros. Uno de los principales problemas asociados a los CEs es que son bioacumulables y muy estables bajo diferentes condiciones fisicoquímicas, lo que potencializa su permanencia en diferentes sistemas terrestres. Razón por la cual es indispensable proponer metodologías experimentales que permitan su remoción y degradación.

El objetivo de este trabajo es evaluar experimentalmente la remoción y posible degradación de algunos CEs en medio acuoso a través de (1) procesos de superficie (adsorción-desorción) con arcillas enriquecidas con sodio y hierro (Na^+ - montmorillonita y Fe^{2+} -montmorillonita) y (2) procesos de oxidación avanzada, utilizando radiación gamma (Gammabeam 651 PT, ICN). Además, es importante determinar la eficiencia de la remoción de los CEs en cada uno de los procesos físicos y químicos propuestos. El análisis químico cuantitativo empleado para obtener los resultados son técnicas espectroscópicas, cromatográficas y termogravimétricas. Los resultados preliminares de las metodologías experimentales propuestas muestran mayor eficiencia en la remoción de los CEs a través de los procesos de superficie. Esto debido a que los procesos de adsorción-desorción que se llevan a cabo bajo las diferentes condiciones fisicoquímicas (concentración, pH y tiempo de interacción) favorecen la remoción de los CEs del medio acuoso. La interacción entre los CEs y las arcillas son dependientes del ion presente en la arcilla (sodio o hierro). Por otro lado, la eficiencia de los procesos radiolíticos empleados para la remoción de los CEs es dependiente de las diferentes condiciones fisicoquímicas en estudio, por ejemplo, el pH en el medio. La estabilidad de los CEs ante la radiación ionizante es alta, por ello se requieren altas dosis para su total degradación. Por lo anterior, nuestros primeros resultados resaltan el potencial de las arcillas como agentes para eliminar CEs del agua.

Agradecimientos a los proyectos PAPIIT IN114122, IA201924 y IA101324 por el financiamiento de este trabajo. Al apoyo de C. Camargo-Raya, J. de la Rosa-Canales, P. Molina-Sevilla, B. Leal-Acevedo, J. Gutiérrez-Romero, M. en C. María José Rodríguez Albarrán, E. Palacios-Boneta, M. Cruz-Villafañe y J. Rangel-Gutiérrez.

Producción de energía eléctrica en celdas de combustible microbiana utilizando como sustrato lodos residuales

Esquivel Sotelo, Alberto¹; Mijaylova, Nacheva²; Gutierrez Macias, Tania³.

¹Programa de Doctorado en Ciencias y Tecnología del Agua IMTA. Paseo Cuauhnáhuac 8532. Progreso, Jiutepec. Morelos. ²Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532. Progreso, Jiutepec. Morelos. ³CONAHCyT-IMTA, Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, 62550 Jiutepec, Mor.

alberto_e84@hotmail.com

Palabras clave: celdas de combustible microbianas, lodos residuales, densidad de potencia, ultrasonificación.

Los combustibles fósiles desde hace varias décadas han sido la principal fuente de energía en nuestro planeta; sin embargo, estas son cada vez más limitadas. Actualmente, existen nuevas tecnologías que proporcionan una fuente de energías renovables y producción de electricidad tal como las celdas de combustible microbiana (CCM), las cuales utilizan microorganismos para convertir la energía química presente de un sustrato a energía eléctrica a través de la transferencia de electrones producidos en su actividad metabólica a un electrodo y de esta manera fomentar la degradación de la materia orgánica representada como sustrato o combustible (Milner *et al.*, 2016). Existen pocos estudios reportados del uso de las CCM utilizando lodos residuales como sustrato y biocatodos (Raychaudhuri *et al.*, 2020), aunado a esto, se ha observado que al aplicar un pretratamiento a este tipo de lodos se puede fomentar la solubilidad de la materia orgánica y de esta manera su remoción. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la generación de electricidad utilizando lodos residuales pretratados con ultrasonificación.

El sistema experimental estuvo constituido por tres CCM biocatódicas de dos cámaras de acrílico transparente. Cada cámara (anódica y catódica) fue de 735 mL de volumen, separadas por una membrana de intercambio de protones (Nafion™ 117, Dupont Co). En las cámaras catódicas se instalaron difusores de piedra porosa para suministrar oxígeno y mantener condiciones aerobias. Como electrodos se utilizaron cepillos de carbón para ambas cámaras.

Para el periodo de aclimatación las tres CCM fueron inoculadas de la siguiente manera: cámaras anaerobias con 50 mL (10 % v/v) de lodo granular y como sustrato 500 mL de lodo secundario (sin pretratamiento), cámaras catódicas con 180 mL de lodos activados, 420 mL de solución catolita y 0.6 mL de solución nutritiva. La aclimatación se realizó por un período de tres ciclos con duración de 14 días cada uno. Culminado el período de inoculación, se procedió a dar inicio a la operación del sistema bajo las siguientes condiciones para cada celda: CCM-1: concentración de sólidos volátiles (SV) de 15 g·L⁻¹ con pretratamiento; CCM-2: concentración de SV de 8 g·L⁻¹ y con pretratamiento; CCM-3: concentración de SV 15 g·L⁻¹ y sin pretratamiento, esta última celda fue tomada como blanco de referencia. Las CCM operaron por ciclos de 14 días, durante los cuales 7 días fueron a circuito abierto y 7 días a circuito cerrado (una resistencia de 1000Ω), en total fueron seis ciclos durante los cuales se monitorearon la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y SV. Para el voltaje, el sistema se conectó a una tarjeta de adquisición de datos Arduino y posteriormente a una computadora donde se



registraron los voltajes en tiempo real por hora a través del sistema de adquisición de datos en el programa LabView.

Como resultados, se observaron que las densidades de potencias máximas alcanzadas fueron de 478, 1,469 y 286 mW/m³ para la CCM-1, CCM-2 y CCM-3, respectivamente. La remoción de los SV fue de 26 % para la CCM-1, 31 % para la CCM-2 y 20 % para la CCM-3. Con respecto a la DQO se observó que la CCM-1 y CCM-2 las cuales operaron con pretratamiento registraron valores máximos de remoción en un rango de 24- 27 % mientras que la CCM-3 (sin pretratamiento) presentó remociones mínimas de hasta 6 %, lo anterior se puede atribuir al uso del pretratamiento del lodo residual lo cual favoreció su remoción. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se puede concluir que al aplicar el pretratamiento de ultrasonicación sobre los lodos residuales, se logra obtener una mayor densidad de potencia y remoción de materia orgánica en las CCM.



Humedal artificial en la escuela Zacatelco en Tlaxcala: tratando el agua gris para reusarla

Barojas Castañeda, Brayan Agustín¹; Fernández Carreto, Giselle Alejandra²; Montiel Martínez, Aidée²

¹Facultad de Ciencias de la Electrónica, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Ciudad Universitaria 18 Sur y Avenida San Claudio, Col. San Manuel C.P. 72570, Puebla, Puebla, México.
brayan.barojas@alumno.buap.mx

Palabras clave: Humedal artificial, Tratamiento de agua, Agua residual, Gestión del agua, Planteles educativos.

La escasez de agua en México es una crisis que amenaza la seguridad hídrica, la producción agrícola y la estabilidad social, debido al cambio climático y una gestión inadecuada.

De acuerdo con el boletín Educación en Movimiento de la Comisión Nacional de la Mejora Continua de la Educación del año 2020, indica que aproximadamente el 26 % de los planteles de educación básica no cuentan con servicios de agua potable

Los graves problemas de escasez afectan actividades prioritarias para el país. Según la SEP, más de 25 millones de mexicanos entre alumnos y docentes, formaron parte del inicio del ciclo escolar 2023-2024 en educación básica. En 2022, Tlaxcala registró algún tipo de sequía alarmante en el 30 % de los municipios, teniendo que suspender las clases por falta de agua potable en algunas ocasiones. La escuela Secundaria General “Zacatelco”, tiene una población de 390 alumnos y 12 docentes ocupan aproximadamente 544 L por alumno al mes, rebasando el límite de 435 L por alumno al mes para escuelas públicas de educación básica. Así, el objetivo del presente trabajo fue Implementar un humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual gris de la Escuela Secundaria General “Zacatelco” con el fin de su reutilización en actividades dentro de la institución. Para ello, 1) se realizó un diagnóstico social donde se realizaron distintas colectas de datos de los usos del agua dentro de la institución y el conocimiento de los docentes sobre el tema del reúso del agua.

Posteriormente, con los datos obtenidos: 2) se diseñó y construyó un humedal artificial de acuerdo con los requerimientos técnicos y sociales del plantel. El humedal fue instalado el día 15 de mayo del 2024 por lo que aún se encuentra en periodo de maduración. Sin embargo, 3) se evaluó mediante 5 parámetros fisicoquímicos (Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, coliformes totales y sólidos suspendidos) que se midieron para realizar ajustes y monitorear su funcionamiento.

El diagnóstico mostró que en los sólidos suspendidos totales y sólidos disueltos no exceden el límite máximo permitido, con una temperatura que afecta la velocidad de las reacciones bioquímicas del humedal 1), 2) Así, se diseñó y construyó un humedal horizontal de flujo subsuperficial para tratar 100 L de agua gris por día con un área de 2.23 m². Se eligieron plantas de los géneros *Canna* sp y *Juncus* sp. poblando al humedal con una densidad de 3.6 ind/m². Y 3) La medición de los parámetros nos indicó que existen una menor presencia de coliformes totales y sólidos disueltos y esta diferencia se puede notar comparando visualmente las dos muestras (agua de entrada y agua de



salida del humedal), en las cuales el agua del humedal tiene un aspecto menos turbio y por lo tanto mucho más agradable, este último puede ser un factor importante para que el agua tratada sea reutilizada 3) Actualmente, el agua gris que es tratada mediante el humedal es reusada para limpieza de aulas y riego de áreas verdes de la institución.





MEMORIAS DE V DIÁSPORA HÍDRICA

Cultura del agua



Nueva Cultura Hídrica: procesos sociales y comunitarios en torno al agua en 5 cuencas del estado de Guerrero

Quevedo Castañon, Natasha Mylena¹; Sampedro Rosas, María Laura¹

Filiación de los autores (Centro de Ciencias de Desarrollo Regional, Privada de Laurel No. 13 Col. El Roble. C.P. 39640, Acapulco, Gro., México).

ron_nmquevedo@uagro.mx

Palabras clave: Cuencas, Participación comunitaria, Nueva Cultura hídrica.

El recurso hídrico en la época del neoliberalismo ha propiciado que sea catalogado como un elemento de valor económico, pero esta visión antropocentrista no ha permeado a todos los actores sociales. El agua forma parte de la cosmovisión de muchas zonas del país donde es parte de su cultura y tradiciones. El estado de Guerrero, dada su orografía, es rico en este recurso en las zonas costeras y en la depresión del Balsas, no obstante, tiene regiones donde este mismo factor hace inaccesible su acceso. La abundancia de afluentes propició que la mayoría de sus localidades florecieran a sus márgenes, lo cual creó un fuerte vínculo cultural, social y económico. Por lo que el objetivo de este trabajo es documentar cómo los procesos sociales en las diferentes Cuencas del estado de Guerrero han propiciado un cuidado y preocupación por el agua, generando una nueva actitud hacia una Nueva Cultura Hídrica. Este estudio se realizó en las cuencas del río Cutzamala (Región Tierra Caliente), río Tlapaneco (Región Montaña), río de la Sabana (Región Acapulco), río Atoyac (Región Costa Grande y río Nexpa (Región Costa Chica), donde se realizó una metodología participativa a petición de actores sociales locales. Los resultados obtenidos muestran que en las 5 cuencas hubo indolencia en las autoridades locales para una planificación y gestión hídrica que tomara en cuenta el crecimiento poblacional, las actividades y cultura local, propiciando los problemas actuales, lo que generó que diferentes tipos de actores sociales se hayan organizado para buscar soluciones. Estos actores sociales son diversos en cada una de las cuencas; en la cuenca del río Cutzamala son jóvenes de una comunidad eclesiástica dirigida por el obispo cuya labor es la ecología, trabajan en la recolección de residuos sólidos, reforestación y su preocupación es la calidad del agua; en la Cuenca del río Tlapaneco los actores son el Comité Rescatemos el río Tlapaneco, conformado por productores, maestros y autoridades locales cuya acción es evidenciar la contaminación del río por agroquímicos y aguas residuales; en la Cuenca del Río de la Sabana también está conformado por un Comité integrado por taxistas, profesores, agricultores ribereños y 3 comunidades eclesiásticas que se conjuntaron por el paso del huracán Otis para reforestar y conservar su río; en la Cuenca del Río Atoyac, se organizaron colonos, agricultores y autoridades locales para realizar el Programa para la Atención y Saneamiento del río Atoyac; y por último la cuenca del río Nexpa fueron autoridades comunitarias las que se han organizado para conservar sus afluentes. Todos estos actores sociales, independientemente de su actividad profesional, tienen un fuerte arraigo por sus localidades y sus recursos. En conclusión, los actores sociales de las distintas cuencas de la entidad se han organizado de diferentes maneras entorno a sus preocupaciones por proteger su agua y han expandido su búsqueda de soluciones a acercarse a la academia en este caso al Centro de Ciencias de Desarrollo Regional para pedir apoyo y acompañamiento técnico para fundamentar sus problemáticas, esto es importante porque genera un puente hacia una reapropiación de su recurso con una



nueva visión que contribuya a una Nueva Cultura Hídrica.



Conectando vidas para un futuro sostenible: agua y agricultura en un área natural protegida

Baez-Horihuela, Alma Ivonne¹; Cotler-Ávalos, Helena²; Barrientos-Rivera, Guillermina¹.

¹ Universidad Autónoma de Tlaxcala, Km 10.5, Autopista San Martín-Tlaxcala, Ixtacuixtla de Mariano Matamoros, Tlaxcala, CP. 90120, México.

² Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial. Contoy 137, Col. Lomas de Padierna, Alcaldía Tlalpan, CP. 14240, Ciudad de México, México.

baezhorihuelaalmaivonne@gmail.com

Palabras clave: Agricultura tradicional campesina, restauración del bosque, ciclo hidrosocial, volcán Matlalcuéyetl, percepción social.

El agua es un recurso vital que no solo sustenta la vida, sino que también es crucial para la producción agrícola y la salud de los ecosistemas. Los bosques del Parque Nacional La Malinche en Tlaxcala contribuyen a preservar la calidad del agua de la subcuenca Zahuapan al reducir la erosión del suelo, regular el flujo de aguas superficiales y subterráneas, y prevenir deslizamientos, inundaciones y sequías. Sin embargo, más del 50 % de la superficie del parque está deforestada y el 77 % de la vegetación está degradada, a pesar de haber sido declarado área natural protegida desde 1938.

En este contexto de deterioro ambiental, el ciclo hidrosocial, que integra procesos biofísicos y acciones humanas, se ve afectado en términos de disponibilidad y calidad del agua por múltiples factores. Destacan la sustitución del bosque por actividades agrícolas y zonas urbanas debido al crecimiento poblacional, los incendios, la erosión del suelo, el abandono de tierras agrícolas por migración y el envejecimiento de la población campesina, y la alteración de patrones climáticos. Esta situación es percibida de diferentes maneras por los propietarios del territorio, la ciudadanía y los actores gubernamentales. La forma en que la población percibe el ambiente determina cómo lo interpreta, valora y maneja.

Este estudio se realizó en tres localidades de la microcuenca Chiautempan, que forma parte del parque nacional. Se analizó la percepción de la población campesina sobre los servicios ambientales del bosque, los factores de deterioro y las acciones de restauración, así como la coordinación interinstitucional para el saneamiento forestal y las formas de manejo del agroecosistema. Se realizaron entrevistas semiestructuradas utilizando informantes clave y un muestreo de tipo bola de nieve. Para determinar el tamaño final de la muestra, se aplicó el criterio de suficiencia de la información o saturación. Los criterios de inclusión establecieron que los participantes debían ser adultos, residentes de las localidades, con el trabajo agrícola como su principal ocupación. La información recopilada fue codificada, categorizada y sistematizada para su análisis.

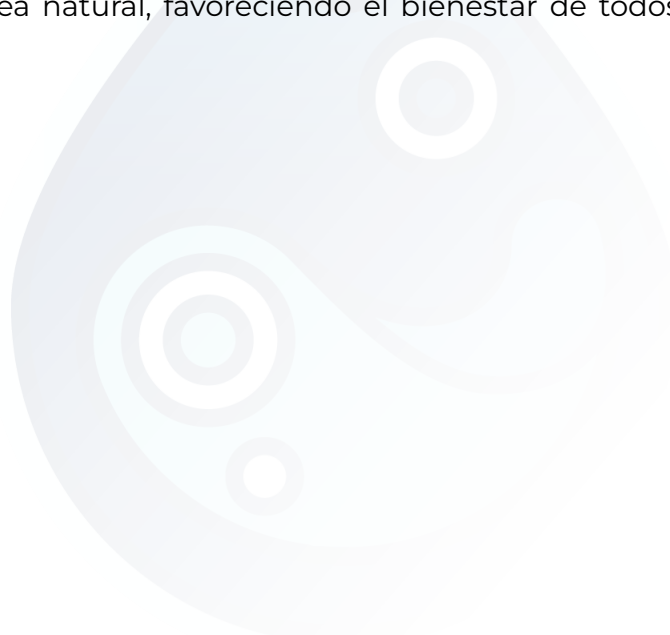
En la Malinche los principales servicios ambientales son: de aprovisionamiento (leña y hongos), de soporte (producción de oxígeno y biodiversidad) y de regulación (temperatura y ciclo hidrológico). Los factores de deterioro son principalmente: desinterés social, corrupción, incendios forestales y problemas con el escarabajo descortezador. Restaurar el bosque requiere capacitación y equipamiento para el manejo adecuado de incendios forestales, implementación de prácticas



agroecológicas, reforestación y participación comunitaria. Además, existe una coordinación interinstitucional burocrática excesiva y una comunicación deficiente con las necesidades específicas de las comunidades locales. Por ejemplo, durante los saneamientos forestales se han talado árboles que no estaban infestados.

En el parque el tipo de tenencia de la tierra predominante es la pequeña propiedad, aunque también destaca el arrendamiento de tierras. En las cuales se utilizan sistemas agroproductivos de temporal, siendo el maíz el principal cultivo, producido en su mayoría para autoconsumo. La mayoría emplea urea como fertilizante, aunque existe interés en utilizar otro tipo de abonos como el estiércol de caballo, gallinaza y los residuos de la misma cosecha. La superficie cultivada promedio es de 2 hectáreas por agricultor.

Es necesario que las instituciones relacionadas con el campo y el ecosistema trabajen de manera colaborativa con los campesinos, reconociendo su experiencia sobre la dimensión ecológica del agroecosistema y sus formas de organización. Esto permitirá un diálogo e intercambio de saberes horizontal. Así se podrá generar un sistema de producción agrícola adaptado al cambio climático y a las necesidades locales de esta importante área natural, favoreciendo el bienestar de todos los seres vivos que dependen de ella.



Propuesta integral para la conservación del charal de la preciosa, (*Poblana letholepis*, Álvarez 1950), Puebla, México.

Ramos Contreras, Daniela¹; Cruz Aviña, JR²; Álvarez González, CA³

¹Maestría en Manejo Sostenible de Agroecosistemas (CENAGRO-ICUAP) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), Edificio VAL 1, Km 1.7 Carr. a San Baltazar Tetela, San Pedro Zacachimalpa, CP 72960, Puebla, Puebla, México.

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Departamento de Fauna Silvestre, Laboratorio de Medicina de la Conservación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FMVZ), Carr. Tecamachalco-Cañada Morelos Km. 7.5, El Salado, CP 75460 Tecamachalco, Puebla, México.

³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT), DACBIOL, Departamento de Acuicultura Tropical. Carretera Villahermosa – Cardenas Km 0.5 S/N Entronque a Bosques de Saloya, CP 86150, Villahermosa, Tabasco, México.

danielaramoscontreras95@gmail.com

Palabras clave: Bioculturalidad, Conservación, Etnofauna, Ictiofauna nativa.

Este estudio pretende ofrecer una propuesta integral sustentable con implicaciones bioculturales para la conservación del charal nativo (*Poblana letholepis*) del lago cráter La Preciosa, Puebla, México, con el propósito de preservar de manera *in situ* y *ex situ* a estos charales endémicos, tomando en cuenta su biología, ecología y contexto histórico, bioculturalidad y la reapropiación de saberes. Adicionalmente se espera establecer un programa piloto de educación ambiental no formal para la conservación de esta ictiofauna nativa, con niños de la comunidad de San Juan la Muralla, Mpio. Guadalupe Victoria, Puebla, México.

Uno de los principales aspectos sociales relacionados con la biodiversidad es la cultura, los humanos tenemos un estrecho intercambio con la naturaleza y la biodiversidad existente no solo ahora sino desde nuestros inicios siendo por ello que prevalecen los valores morales, creencias, vestimentas, saberes tradicionales y una relación con un territorio particular; a través de una integración multidisciplinaria los programas de conservación de carácter técnico, social y de control ambiental están enfocados a prevenir, controlar, atenuar y compensar las alteraciones que se originen y que pongan en riesgo la estabilidad de los ecosistemas; de forma cualitativa y utilizando herramientas y protocolos de la educación ambiental no formal (Cruz-Aviña et al., 2022) utilizando como herramienta la pedagogía crítica a nivel comunidad, el metabolismo social y la teoría general de sistemas así como la intervención pedagógica, la observación participante (Piñeiro 2015), talleres y cursos con temáticas ambientales y de conservación específicas. Posterior al estudio se logró destacar: A) Pérdida de identidad cultural y de sentido de Territorio (Región). B) Erosión y pérdida Biocultural (costumbres), medicina tradicional, alimentos regionales, etc. Reapropiación social del conocimiento a nivel microcuenca. C) Contaminación ambiental y pérdida de la biodiversidad nativa.

La Cuenca Oriental es un ejemplo de problemas ambientales de sobreexplotación hídrica, contaminación microbiana, zoonosis, cambio de uso de suelo y pérdida de la fauna nativa, que ocurren en ANP del centro del país. En esta Región destacan los lagos cráter o Axalapascos en donde aún existe biodiversidad importante. Preocupados por



su virtual extinción, en este trabajo se realizan aproximaciones educativas y exploran alternativas pedagógicas, desde la mirada de la EA no formal como herramienta para la conservación, como agente de cambio y de transformación, fuera del sistema educativo institucional, que conlleve a la adopción del medio natural, y que sus acciones se traduzcan en Praxis de cuidado, ética y respeto por estos ecosistemas limnológicos con la mirada de la pedagogía crítica y la observación participante.

Es posible implementar estrategias de conservación in situ y ex situ que pueden mejorar la regulación pesquera local y la bioremediación del hábitat de este charal así como fortalecer los saberes tradicionales asociados a la memoria biocultural local y la transmisión de conocimientos a los infantes principalmente a través de programas de educación ambiental no formal generando información que contribuya al diseño de planes de conservación y manejo sustentable a largo plazo.



Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión hídrica en la subcuenca río Nexpa, Guerrero

Pérez Reyes, Sendy Atzy¹; Quevedo Castañon, Natasha Mylena¹; Escobar Neira, Carolina²; Sampedro Rosas, María Laura¹

¹Centro de Ciencias de Desarrollo Regional, Privada de Laurel No. 13 Col. El Roble. C.P. 39640, Acapulco, Gro., México.

² Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Pase Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos, México.

13315885@uagro.mx

Palabras clave: Soluciones basadas en la Naturaleza, organización comunitaria, subcuenca Río Nexpa.

La importancia del agua radica en su capacidad de satisfacer las necesidades del desarrollo humano, garantizando la salud y su bienestar. Sin embargo, el crecimiento demográfico y el abastecimiento a los hogares han generado presiones en los cuerpos de agua. Actualmente, se aplican diversas alternativas para afrontar la situación hídrica, entre ellas, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) que tienen la potencialidad de restaurar, conservar y proteger los ecosistemas que han sido alterados, dañados y/o contaminados. Esta alternativa se ha difundido en países de América Latina y el Caribe, con el propósito de generar ciudades y comunidades resilientes ante el cambio climático y sus efectos. México se ha unido en la implementación de este enfoque innovador para atender los desafíos sociales.

Para el caso de Guerrero, aún hace falta identificar las SbN que aportan a la situación hídrica, siendo un estado rico en agua, pero con acceso crítico al recurso, ubicándolo en último lugar a nivel nacional. Por lo cual, es relevante considerar una Nueva Cultura Hídrica, donde su gestión sea de bajo impacto ambiental, y revalorizar su importancia social. En la subcuenca río Nexpa, Guerrero se ha visto afectada por su deficiente gestión, afectando las condiciones de los cuerpos de agua por la contaminación, descarga de aguas residuales y actividades agrícolas.

El objetivo de la investigación es analizar las formas de organización comunitaria que promueven la utilización de SbN para contrarrestar la problemática hídrica que están presentes en la subcuenca Río Nexpa. Para lo cual se realizó una metodología cualitativa en 6 comunidades ribereñas, mediante un mapeo de actores y la aplicación de 324 encuestas, para conocer las formas de organización comunitaria, la problemática hídrica y las SbN utilizadas.

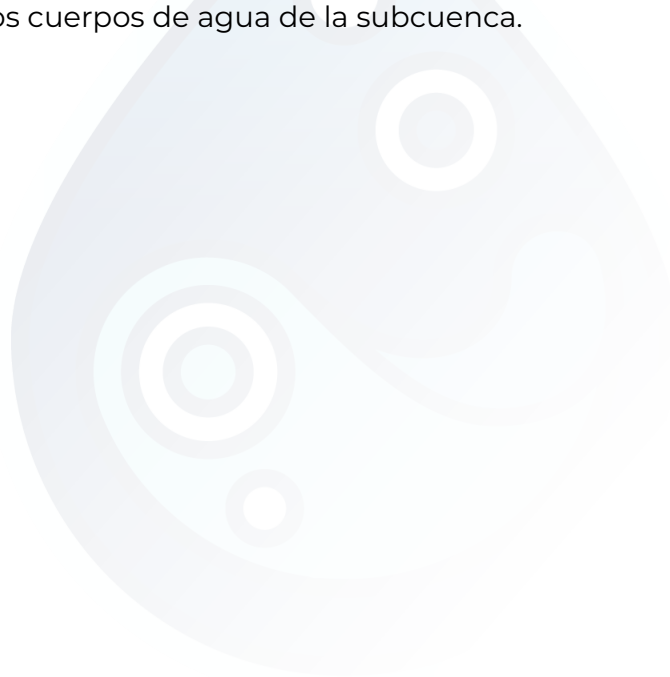
Los resultados muestran la concordancia de la población en general ante la disminución del recurso hídrico en la subcuenca. Este hecho se le atribuye a la contaminación por actividades antropogénicas, afectando la temporada de secas e intensificando las consecuencias de las lluvias, impactando en las comunidades principalmente en la pérdida de sus cultivos y ganado. Por lo tanto, la población opta por realizar SbN que cuiden y les permitan disponer del líquido para sus actividades diarias, entre ellas destacan: reutilizar las aguas grises, reforestación y captación de agua de lluvia.

Para impulsar su implementación de las SbN, se identifica que es necesaria la voluntad de las personas para fomentar un cambio en las comunidades y orientarlas hacia



un enfoque sustentable mediante métodos de organización comunitaria. A pesar de los problemas hídricos identificados en la subcuenca, existe una sólida organización comunitaria, con la presencia de los comités del agua. Este organismo busca mejorar las situaciones hídricas y dar a conocer las condiciones sociales y ambientales a las comunidades, buscando alternativas que permitan atender los obstáculos que se enfrentan y abordarlas como comunidad.

A pesar de su organización local, la población identifica que aún hace falta fortalecer las SbN con más programas de apoyo social y programas ambientales para un mejor uso del agua. La población está consciente de que, al continuar con prácticas inadecuadas, en un futuro cercano la disponibilidad de agua va a disminuir, dificultando las actividades productivas y las condiciones de vida. Por lo cual, es primordial reforzar la organización comunitaria para abrir espacios aceptables y disminuir las condiciones desfavorables que padecen. Es preciso la integración de diversos actores debido a la incorporación de múltiples conocimientos, para lograr una visión integral de los problemas, desafíos y prioridades. Por lo tanto, la información recopilada nos demuestra la importancia del diseño de un proceso participativo para la conservación y preservación de los cuerpos de agua de la subcuenca.



Propagación de la sequía meteorológica a sequía hidrológica en la cuenca del río Conchos, México

Ceballos-Tavares, Jesús Alberto¹; Ortega-Gaucin, David²

¹Universidad Nacional Autónoma de México campus IMTA, Jiutepec, Morelos, México.

² Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua; Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, C.P. 62550, Jiutepec, Morelos.

jesus.ceballos@posgrado.imta.edu.mx

Palabras clave: Sequía meteorológica, sequía hidrológica, propagación de la sequía, cuenca del río Conchos.

La sequía puede manifestarse de diversas maneras, desde déficits de precipitación hasta reducciones en los recursos hídricos superficiales y subterráneos. Por lo tanto, investigar la relación entre la sequía meteorológica y la sequía hidrológica es fundamental para comprender cómo interactúan y afectan en conjunto al sistema hidrológico. En este estudio se investigó dicha relación en subcuencas hidrológicas pertenecientes a la cuenca del río Conchos, México, durante el periodo 1970-2020. Para ello, se realizaron análisis de correlación utilizando el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y el Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI), en comparación con el Índice de Sequía de los Caudales Fluviales (SDI) en diferentes escalas temporales (3, 6, 9 y 12 meses). Los resultados muestran una buena relación entre los índices meteorológicos y el índice hidrológico (SDI), la cual mejora al considerar una escala temporal más amplia que abarcara todo el año hidrológico, especialmente en las subcuencas del río San Pedro y río alto Conchos. En contraste, se observaron valores de correlación más bajos en la cuenca del río Florido, debido posiblemente a la ubicación de las presas de almacenamiento.

Principalmente se clasificaron sequías ligeras y moderadamente secas con variaciones según el período y la subcuenca analizada. Aunque se identificó un comportamiento similar entre los índices meteorológicos y el Índice de Sequía de los Caudales Fluviales, no se alcanza una coincidencia total en los grados de clasificación de la sequía. Además, se encontró una asociación entre algunos eventos de sequía meteorológica e hidrológica, especialmente en fases iniciales con condiciones ligeramente secas. Estos resultados contribuyen a una mejor comprensión de la propagación de la sequía y sus efectos en distintas regiones hidrológicas, proporcionando una buena base para la gestión de los recursos hídricos.



Presentación del Laboratorio Nacional Conahcyt de Evaluación de la Integridad Ecológica en Sistemas Acuáticos Dulceacuícolas (LAN – EVIESAD)

Rodríguez-Romero, Alexis Joseph¹; Alonso Eguía-Lis, Perla Edith Cruz¹; López López, Eugenia²; Sedeño Díaz, Jacinto Elías³; Vázquez Hurtado, Gabriela⁴; Medina Nava, Martina⁵; Piñón Flores, Miguel Aurelio⁶; Barba Macias Everardo⁷; Rico Sánchez, Axel Eduardo⁸; Mercado Silva, Norman⁹

¹ Coordinación de Calidad y Ecología del Agua, Subcoordinación de Ecohidrología y Rehabilitación Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

² Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.

³ Coordinación Politécnica para la Sustentabilidad, Instituto Politécnico Nacional.

⁴ Instituto de Ecología, A.C.

⁵ Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

⁶ Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia Universidad Nacional Autónoma de México.

⁷ El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Villahermosa.

⁸ Postgrado en Hidrociencias Colegio de Postgraduados.

⁹ Centro de Investigaciones en Biodiversidad y Conservación Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

alexis_rodriguez@tlaloc.imta.mx

Palabras clave: Ecohidrología, Salud ecosistémica, Bioindicadores, Biomonitorio, Laboratorio Nacional.

El Laboratorio Nacional Conahcyt de Evaluación de la Integridad Ecológica en Sistemas Acuáticos Dulceacuícolas (LAN-EVIESAD) está conformado por investigadores de ocho instituciones de alto prestigio que a lo largo de varios años han dedicado sus esfuerzos a la generación de conocimiento en torno a la evaluación de sistemas dulceacuícolas. De manera reciente el Consejo Nacional de Humanidades Ciencia y Tecnología (Conahcyt) reconoció a este grupo como un Laboratorio Nacional. El objetivo de este laboratorio es cubrir la necesidad de contar con las herramientas, métodos y protocolos necesarios e innovadores para evaluar el grado de salud e integridad ecológica de los ecosistemas dulceacuícolas de México, que permita generar planes de acción para su rehabilitación, restauración y conservación, considerando escenarios hidrológicos de cambio climático e incremento del estrés hídrico por la sobreexplotación del recurso. El LAN-EVIESAD aborda las fronteras del conocimiento en términos de la tipificación, clasificación, categorización y diagnóstico de ambientes dulceacuícolas empleado enfoques que van desde la calidad del agua hasta el abordaje de la respuesta biológica con diferentes grupos bioindicadores. El grupo que conformamos este laboratorio cuenta con la experiencia de trabajo con microorganismos, algas, perifiton y cianobacterias, vegetación acuática, macroinvertebrados acuáticos, peces, aves y anfibios. Se emplean modelos de estudio tanto in situ como en laboratorio mediante el montaje de bioensayos y se analizan las respuestas biológicas a diferentes niveles de organización de la materia que pueden ir desde el nivel molecular y bioquímico, pasando por respuestas a nivel fisiológico, histológico, de reproducción, entre otras hasta el nivel poblacional y de comunidades o ensambles. Este trabajo tiene el propósito de dar a conocer las líneas de investigación específicas de cada uno de los integrantes que conformamos el



laboratorio, nuestros alcances y principales objetivos principales con la finalidad de crear alianzas en beneficio de los ecosistemas dulceacuícolas de nuestro país.



MEMORIAS DE V DIÁSPORA HÍDRICA

Medio ambiente



Impactos de los sectores productivos en el Golfo de California: análisis de los riesgos en cadena

Olvera Fuentes, Norma Elizabeth; González Villarreal, Fernando J.

Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria, C.P. 04510 Ciudad de México, México.

norma.olvera@atmosfera.unam.mx

Palabras clave: Complejidad, mapas cognitivos difusos, impactos en cascada.

¿Por qué debería ser una prioridad en la agenda nacional asignar recursos a proyectos de investigación para el Golfo de California? Además, ¿por qué es crucial incorporar los resultados de estas investigaciones en el diseño de nuevas políticas públicas para su conservación?

Debido a su riqueza única en biodiversidad a nivel mundial y a los recursos que ofrece, la actividad económica en el Golfo de California es de suma importancia para el país. Sin embargo, la explotación actual no es sostenible. La creciente sobreexplotación, degradación y contaminación en la región generan severos impactos que resultan en pérdidas significativas en hábitats, biodiversidad, aspectos económicos y calidad de vida de la población. Desde el ámbito científico, la visión tradicional reduccionista fragmenta un problema en partes más pequeñas para abordar individualmente problemáticas aisladas, sin considerar el contexto ni las interrelaciones intrínsecas con otras cuestiones; este enfoque pasa por alto la naturaleza inherente de los sistemas complejos. Para este tipo de sistemas, cada problema está intrínsecamente vinculado al grado en que se ve afectado por todos los demás; por lo tanto, es crucial estudiar no solo las problemáticas en sí mismas, sino también las interrelaciones que existen entre ellas y las propiedades emergentes que las caracterizan como un sistema complejo.

Por ello, el diseño e implementación urgente de nuevas políticas públicas efectivas para la conservación del Golfo de California debe basarse inevitablemente en una visión integral y sistémica que incorpore el continuo cuenca-costa-mar, abarcando así a todos los actores e impactos generados en la región y áreas periféricas. El modelo presentado muestra que todas estas problemáticas están intrínsecamente interconectadas, exhibiendo las propiedades de un sistema complejo. Esta investigación presenta un modelo que incorpora esta visión sistémica e integral, utilizando mapas cognitivos difusos (MCD), los cuales permiten no solo representar de manera estática la dirección y magnitud de los impactos, sino también analizar su evolución.

Las principales problemáticas o nodos considerados en la conformación del MCD modelado son: Incremento en la degradación —incremento de salinidad y regiones eurotróficas— y contaminación del Golfo de California (C1); incremento en la descarga de nutrientes —derivados de la creciente actividad agrícola—, metales pesados, contaminantes emergentes y aguas residuales (C2); incremento en la pérdida económica —turística, de pesca e industrial— (C3); decremento en la salud y calidad de vida de la población (C4); incremento en la pérdida de vida silvestre y marina (C5); incremento en la pérdida de hábitats —destrucción de manglares, cubierta vegetal y zona costera— (C6); sobre explotación pesquera —pesca desmedida y uso de técnicas no sustentables— (C7); incremento en la proliferación de algas (C8); reducción



o eliminación de caudales en ríos que desembocan al Golfo de California — por la construcción de presas— (C9); crecimiento poblacional, de explotación de recursos y desarrollo social y económico no sustentable (C10); y disminución de recursos hídricos (C11).

La evolución del modelo indica que, de no implementarse a corto plazo intervenciones efectivas para la conservación del Golfo de California, su degradación y las consecuentes pérdidas en múltiples sectores serían prácticamente irreversibles.



Hacia nuevos modelos urbano-regionales desde la gestión del agua: el caso de la Ciudad de México

Estefan Fuentes, Laila Patricia.

Posgrado Geografía UNAM, Ciudad Universitaria UNAM, Coyoacán, Ciudad de México.

lailaestefan@gmail.com

Palabras clave: regiones urbanas, gestión del agua, infraestructuras hidráulicas, territorio, interdependencia territorial.

Este trabajo se desarrolló en el marco de mi tesis doctoral en geografía, donde se estudiaron las implicaciones a escala regional de la gestión del agua para las grandes metrópolis, tomando en consideración el caso de la Ciudad de México y sus infraestructuras hidráulicas, así como sus particularidades hidrológicas.

La investigación ha partido de algunos supuestos, o antecedentes, que sustentan la relevancia de integrar la dinámica regional urbana, las crisis hídrico-ambientales y las problemáticas territoriales en los estudios del agua. La primera de ellas tiene que ver con las transformaciones y adaptaciones al entorno natural por acceder y gestionar el agua para los asentamientos humanos como un factor de larga data e histórico, pero fundamental para comprender las problemáticas y crisis socioambientales actuales dentro y fuera de lo urbano.

A partir de lo anterior, se presenta un debate basado en la ecología política que permite reflejar los escenarios socioambientales a partir de las transformaciones al entorno natural, especialmente por la gestión del agua, que han dado lugar a territorios de disputa y dominio. Esto, junto con las explicaciones sobre las estructuras y formación de regiones urbanas que responden a la expansión urbana y los flujos de comunicación, funcionales y dinámicas migratorias que, sin duda alguna configuran territorios de amplia extensión, permiten abrir el debate para nuevas explicaciones que hagan aún más amplio el valor y características de lo regional en lo urbano.

En este sentido, la propuesta buscó explicar el caso de la Ciudad de México por su propia particularidad en términos hidrológicos, pero también por su funcionalidad en términos de sistema urbano a escala regional, donde se contemplaron varias zonas metropolitanas contiguas y otros territorios que configuran diversos grados de interdependencia. Esto se problematizó bajo dos preguntas clave: ¿cómo influye la gestión del agua en la configuración de una región urbana cuyo lugar central es una gran metrópolis? y ¿qué implicaciones territoriales tiene la gestión del agua a escala urbana-regional para mantener a una gran metrópolis, como es el caso de la Ciudad de México?

Bajo esta lógica, su principal reto fue integrar una metodología interdisciplinaria que considerara las particularidades del territorio: un sistema de gestión de agua incluye el uso de agua subterránea, aguas superficiales y trasvases, además de una red de drenaje, que atraviesan tanto escenarios urbanos como periurbanos y rurales.

Para ello, se consideró un análisis espacial de las características de la infraestructura hidráulica, las zonas metropolitanas involucradas y las zonas de demandas socioambientales ligadas a proyectos hidráulicos o degradación ambiental. En un



segundo momento, se integró un análisis geoestadístico que cruzó información sobre índices de vulnerabilidad ambiental a la sequía con el grado de consolidación urbana, los cuales brindaron mayor sustento en la necesidad de reflexionar sobre la integración de la dinámica hídrico-hidráulica en lo urbano regional.

Estos datos permitieron establecer zonas críticas y de interés que entrecruzan la dinámica urbana a escala regional y su interacción con la gestión hídrica, lo cual puntualiza la necesidad de estudiarlos con mayor profundidad. Además de establecer nuevas pautas para entender los impactos más allá de la escala urbano-metropolitana de mantener a las grandes metrópolis, como la Ciudad de México y sus ciudades periféricas, en términos de la gestión del agua y otras temáticas (gestión de residuos, energía) con determinantes afectaciones a escala regional que entrecruzan lo urbano, lo periurbano y lo rural.



Lirio acuático en cuerpos de agua: Una revisión científica y tecnológica

Martínez Muñoz, Ana Laura¹; Gayosso Morales, Manuel Aaron²; Valdez Calderón, Alejandro²; Gonzalez Pérez, Brenda Karen².

¹Posgrado en Ciencias Ambientales, Instituto de Ciencias Básicas e Ingenierías, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Carr. Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Mineral de la Reforma, Hgo., 42184, México.

²Universidad Tecnológica de la Zona Metropolitana del Valle de México, BLVD. Miguel Hidalgo y Costilla 5, Los Héroes de Tizayuca, Tizayuca, Hgo., 43816, México.

ana.mtzmnz@gmail.com

Palabras clave: Impacto socioeconómico, mitigación, patentes, eutrofización, especies invasoras.

El lirio acuático (*Pontederia crassipes*), es una planta ornamental invasora presente en más de 60 países. Su crecimiento descontrolado en cuerpos de agua dulce causa serios problemas socioambientales y económicos. Estudios previos han demostrado que reduce la penetración de luz, aumenta la turbidez y acidez del agua, disminuyendo el oxígeno disuelto, favoreciendo la proliferación de patógenos, afectando negativamente la biodiversidad nativa y contribuyendo al proceso de eutrofización. En México, su presencia en cuerpos de agua supera las 30 mil hectáreas, afectando actividades de turismo, navegación, agrícolas, así como la pesca. Aunque se utilizan maquinarias para su control, las soluciones logísticas y de costo siguen siendo un desafío, lo cual genera la necesidad de implementar estrategias efectivas para manejar su proliferación. El objetivo de esta investigación fue realizar una revisión exhaustiva del conocimiento existente sobre el impacto, manejo, control y aprovechamiento de la biomasa del lirio acuático, abordando temas referentes al control, manejo, impacto en la calidad del agua, gestión y legislación. La intención es proporcionar un panorama amplio sobre la situación actual de esta planta invasora, abarcando aspectos ambientales, sociales y económicos. Se examinaron 100 artículos de seis bases de datos de literatura científica y vigilancia tecnológica como Science Direct, Springer Link, Elsevier, Academia, Research Gate, Wiley, Google Patents, Espacenet y OEMP para investigar cuantitativamente la información disponible sobre el lirio acuático, utilizando un enfoque cualitativo. Para proporcionar una visión integral del tema. Se evaluaron tanto métodos de control como políticas regulatorias, con el objetivo de comprender los efectos de esta especie invasora en los ecosistemas acuáticos. Los resultados obtenidos reflejan los datos de vigilancia tecnológica existente a nivel global, enfatizando en el continente Americano, la situación actual en México por estados, así como la subdivisión por temas bajo protección intelectual. A nivel mundial, China lidera con el 67 % de las patentes sobre lirio acuático, seguida por Estados Unidos con el 7.26 %. En América, Estados Unidos tiene el 84 % y México el 8.39 %. En México, la Ciudad de México lidera con el 57 % de las patentes, seguida por Sonora y Jalisco con el 9 % cada uno. Otros estados como Baja California, Veracruz, Tabasco, Sinaloa, Guanajuato y Coahuila contribuyen con el 4 % cada uno. Los temas principales en las patentes son biorremediación con el 35 %, agroinsumos con el 31 %, farmacéutica con el 15 %, biocontrol con el 11 %, así como biomateriales y biocombustibles, ambos con un 4 % respectivamente. El reconocimiento global y nacional del lirio acuático destaca la urgencia de implementar estrategias efectivas de control y gestión. En México, se enfrentan desafíos significativos



tanto financieros como logísticos para su manejo. El aprovechamiento de la biomasa de *P. crassipes* se ha convertido en una estrategia integral para controlar esta especie invasora en los cuerpos de agua, reduciendo su propagación y mitigando impactos ambientales. Es crucial integrar estos beneficios en un enfoque amplio de control del lirio acuático sin incentivar su propagación. La experiencia global y los esfuerzos nacionales reflejan un compromiso con la mitigación del problema y la promoción de la sostenibilidad a largo plazo. Aunque las estrategias actuales no han sido totalmente efectivas, es vital adoptar diversas metodologías para reducir los impactos negativos y llenar las brechas en la información. Esto implica fortalecer la investigación y el monitoreo continuo para comprender mejor la dinámica de esta especie invasora. Además, se deben desarrollar políticas más robustas y adaptativas que puedan ajustarse a cambios ambientales y climáticos.



Identificación de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como estrategia de conservación para el área de captación del ANP Lago de Texcoco.

Márquez Zárate, Julio César¹; Ugalde Lezama, Saúl²; Arévalo Galarza, Gustavo Antonio.²

¹Universidad Autónoma Chapingo, Becario Posdoctoral en Doctorado en Ciencias en Agricultura Multifuncional para el Desarrollo Sostenible. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, 56227, México.

²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos, Área de Recursos Naturales. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco, Chapingo, Texcoco, Estado de México, 56227, México.

julioc.marquezz@gmail.com

Palabras clave: Análisis geoespacial, ANP Lago de Texcoco, conservación, restauración, soluciones basadas en la naturaleza.

Por más de 5 décadas, especialmente después de 2014, las partes medias y altas de la Subcuenca Texcoco al oriente del Estado de México han estado sometidas a procesos de degradación de los recursos naturales por el crecimiento de la población y la mancha urbana sin controles efectivos y cambios y pérdidas en la cobertura vegetal. En este contexto histórico-territorial se encuentra inmersa la región conocida como “Lago de Texcoco”, que antes de convertirse en área natural protegida (ANP), tuvo una compleja historia marcada por significativas actividades humanas y cambios ecológicos intrínsecamente ligados a los procesos de degradación de la Subcuenca, lo que alteró drásticamente el equilibrio natural e hidrológico de la zona y tuvo efectos adversos en los ecosistemas del lago y la salud ecológica de la región en general.

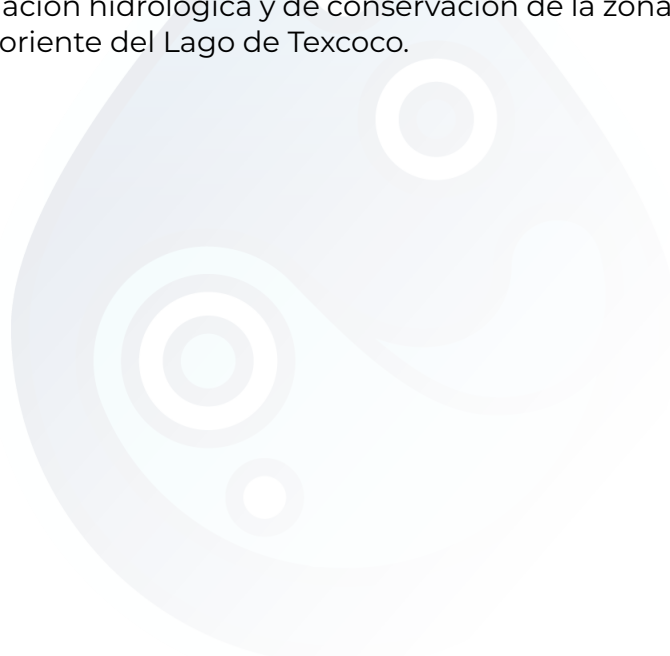
La Subcuenca Texcoco contiene al “Área de Protección de Recursos Naturales Lago de Texcoco”, que desde su creación en 2022 ha tenido amplia relevancia y para la cual se han realizado exhaustivos estudios, análisis y propuestas que coadyuven a su recuperación, conservación y mejora. Dada la estrecha relación entre estas dos regiones administrativas, este trabajo busca complementar el área de oportunidad que representa identificar y analizar externalidades al polígono del ANP, centrándose en el área de captación de las cuencas tributarias y la relevancia que esta tiene para el sistema en la parte baja.

La primera fase de este trabajo consistió en revisar experiencias previas en el mundo de esquemas de análisis territorial a través del análisis geoespacial con enfoque de paisaje a nivel de cuenca para identificar y clasificar las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) adecuadas. El territorio se está analizando a través de insumos y herramientas geomáticas (LiDAR- Light Detection and Ranging, cartografía digital, de campo y bases de datos de fuentes oficiales e investigaciones científicas). Los resultados al momento son i) el esquema de trabajo para desarrollar el análisis geoespacial, y ii) el análisis biofísico inicial ha arrojado que la región de estudio abarca cerca de 100 mil hectáreas, con altitudes de 2260 a 3900 metros sobre el nivel del mar y pendientes de 0 y mayores a 50 %. Los suelos presentes son Andosoles (húmico y mólico), Cambisoles (cálcico, dístrico, éutrico y húmico), Feozems (calcárico y háplico), Litosoles en una gran proporción, Regosoles (calcárico y éutrico) y Vertisoles (crómico y pélico). Así mismo, se



encuentra un mosaico de usos y coberturas de la tierra como asentamientos humanos, agricultura de riego y temporal, bosques (cultivados, encino, encino-pino, oyamel, pino, pino-encino, táscate), matorral crasicaule, pastizal inducido, pradera de alta montaña, y en menor medida áreas sin vegetación aparente y desprovistas de vegetación; también se tiene el inventario de obras de conservación implementadas en los '70's (Plan Lago de Texcoco) y se encontró que algunas de las estaciones climatológicas e hidrométricas presentes no están en operación.

Con base en los resultados obtenidos al momento, la escala y disponibilidad de información para realizar este trabajo se consideran adecuados y viables para implementar la siguiente fase, integrando estos y otros resultados al análisis geoespacial utilizando herramientas específicas (The Terrestrial Ecological Unit Inventory Geoespatial Toolkit, The NRCS GIS Engineering toolset, SUSTAIN) con fundamento técnico-científico para que los tomadores de decisiones puedan derivar acciones, programas y políticas públicas de manejo para mantener y de ser posible mejorar la condición de la Subcuenca a través de SbN orientadas al respeto y mantenimiento de la cuenca, que consideren el valor natural, ecosistémico y su papel en materia de regulación hidrológica y de conservación de la zona de captación pluvial de los nueve ríos al oriente del Lago de Texcoco.





Conclusiones

Durante el V Seminario Diáspora Hídrica: Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua, se presentaron un total de 52 ponencias, de las cuales 16 trataron temas relacionados con la gestión integral del agua; 15 sobre calidad del agua y alternativas de potabilización y tratamiento; 14 acerca de seguridad hídrica, cambio climático y fenómenos extremos; 3 sobre acuíferos y aguas subterráneas; 2 de cultura del agua; 1 acerca del agua para uso agrícola y 1 sobre género e injusticia hídrica.

De ello, se pueden extraer algunas conclusiones sobre las prioridades y preocupaciones de los jóvenes ponentes en relación con el agua y su gestión. Un aspecto a destacar es la diversidad de temas abordados, -desde la seguridad hídrica a cuestiones de género e injusticia hídrica- que reflejan la complejidad y la amplitud de los desafíos relacionados con el agua a los que se enfrentan las nuevas generaciones.

Con 16 ponencias dedicadas a la **gestión del agua**, equivalentes al 30.7%, es evidente que éste es un tema prioritario que preocupa y ocupa las mentes de los jóvenes universitarios. La gestión eficiente y sostenible del agua es crucial para enfrentar problemas como la escasez del agua y su distribución equitativa. Por otra parte, las 15 ponencias sobre **calidad del agua** (28.8%) subrayan la necesidad de contar con agua en cantidad y calidad suficientes para garantizar el derecho

humano al agua de la población, la salud pública y preservación de los ecosistemas.

Catorce ponencias fueron dedicadas a la **seguridad hídrica, el cambio climático y los fenómenos extremos** (26.9%), lo que parece indicar una preocupación significativa por cómo el cambio climático está afectando los recursos hídricos, así como los riesgos inherentes para la población. Aunque solo hubo 3 ponencias sobre **acuíferos y aguas subterráneas** (5.7%), su inclusión destaca la importancia de las aguas subterráneas, vitales especialmente en aquellas zonas donde el agua superficial es escasa.

Por otra parte, las 2 ponencias sobre **cultura del agua** (3.8%) sugieren un interés por cambiar las percepciones, los hábitos y las conductas de los usuarios en su relación con el agua, promoviendo una mayor conciencia y responsabilidad en su uso. Por último, si bien solo hubo una ponencia sobre los temas **agua para uso agrícola y género e injusticia hídrica**, respectivamente, su presencia pareciera indicar que son áreas emergentes de interés entre los jóvenes universitarios.

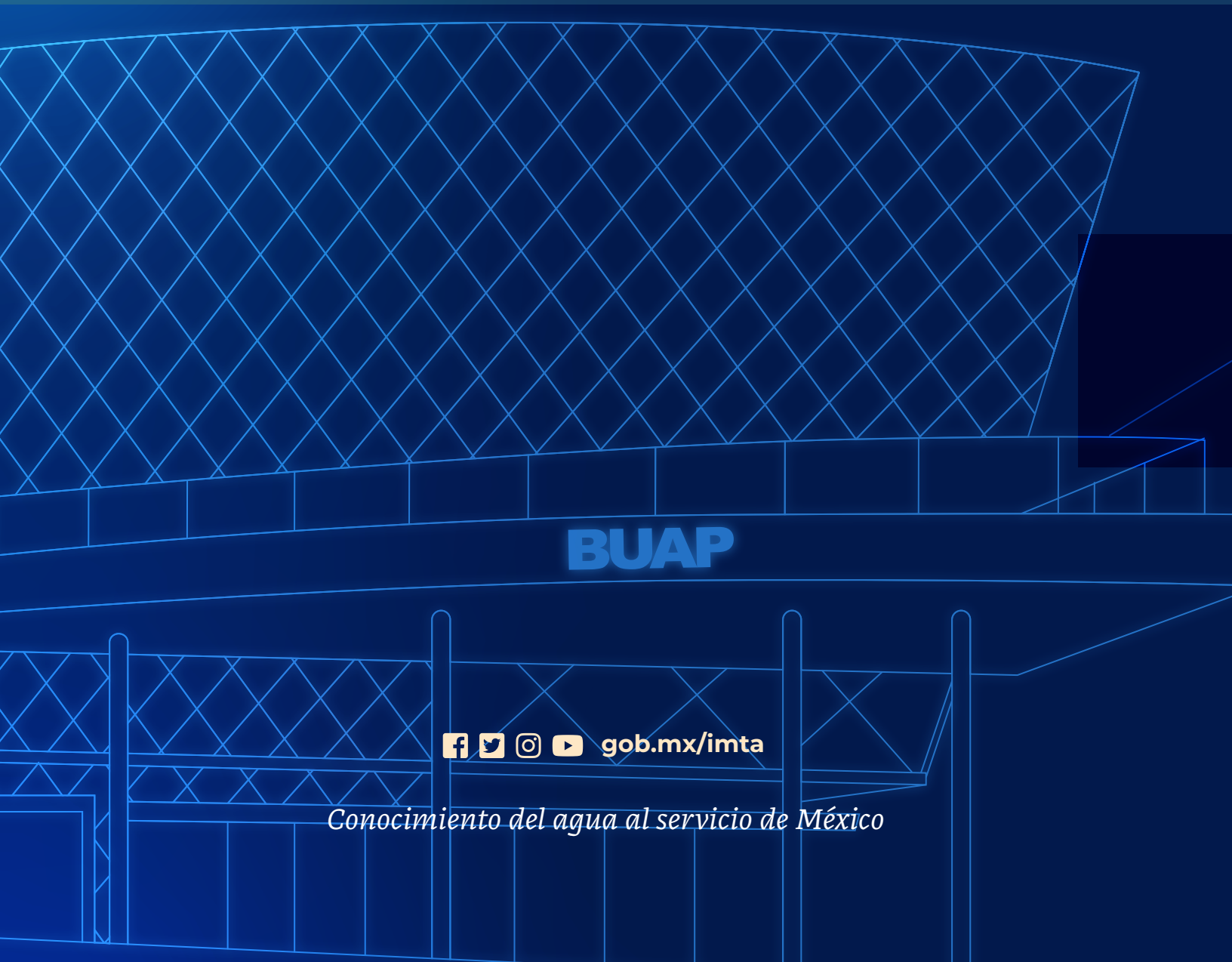
En suma, estas cifras reflejan un enfoque integral y multidimensional hacia la gestión del agua, abordando tanto los desafíos técnicos como los sociales y culturales pero, más importante aún, perfilando nuevos enfoques y soluciones a los problemas del agua y su gestión sustentable.

Conclusiones

Este espacio marcó un hito en la promoción de la colaboración y el intercambio de conocimiento entre jóvenes investigadores, académicos y especialistas dedicados al estudio y la gestión del agua en México. El seminario se distinguió por su amplio alcance, diversidad temática y enfoque interdisciplinario, impulsando la investigación y la innovación. Esto evidenció el compromiso de las nuevas generaciones en la búsqueda de soluciones para los desafíos en la gestión del agua.

Asimismo, permitió fomentar la colaboración interinstitucional mediante la participación de jóvenes provenientes de diversas universidades e instituciones del país, reforzando la importancia de construir redes académicas e interinstitucionales. Estas redes no solo promueven el intercambio de ideas, sino que también facilitan el desarrollo de proyectos conjuntos con un impacto más amplio y significativo.

Finalmente, este evento reafirmó su relevancia como un espacio clave para conectar, inspirar y empoderar a las nuevas generaciones de investigadores y profesionales en el ámbito del agua. Los logros alcanzados durante el encuentro constituyen una base sólida para seguir construyendo un futuro sostenible en la gestión de este recurso vital.



MEDIO AMBIENTE
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA