El Agua en la Megalópolis de México



Coordinadores
Víctor Ávila Akerberg
Tanya González Martínez

COMECyT
CONSEJO MEXIQUENSE DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

EL AGUA EN LA MEGALÓPOLIS DE MÉXICO

Este libro cumplió con la revisión de pares doble ciego, utilizando revisores externos de la institución editora y de acuerdo con los lineamientos editoriales vigentes del Reglamento Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México.

El Agua en la Megalópolis de México/ DR. © Víctor Ávila Akerberg

ISBN: 978-607-29

Primera edición, 2025

Diseño de portada y contraportada: Alan Jhoseep Millán Covarrubias

Diseño y trabajo editorial: Mónica Monserrat Díaz Reynoso y Alan Jhoseep Millán Covarrubias

Prohibida la reproducción o almacenamiento total o parcial por cualquier medio o método sin la autorización por escrito de los titulares de los derechos.

Impreso en México

El contenido y la originalidad del libro es responsabilidad exclusiva de los autores. Las opiniones expresadas en el libro no representan necesariamente las del consejo editorial.

Financiado por el Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) con fondos del Ministerio Federal de Relaciones Exteriores de la República Federal de Alemania (AA)





Prólogo

“El agua en la megalópolis de México” es un libro que muestra los múltiples retos que enfrentan los habitantes de esta megaciudad del centro de México en su vida cotidiana en relación con este líquido vital e invita al diálogo entre los actores involucrados: sociedad civil, academia, gobierno e industria. Este libro comparte reflexiones sobre el enfoque territorial caracterizado por la unidad de la cuenca hidrológica, experiencias de manejo, modelos de gestión sostenible del agua, la captación de agua de lluvia y la justicia hídrica. Además, aborda la complejidad de la resiliencia hídrica y la posibilidad de considerar el agua no solo como un recurso natural, sino como un elemento medular que unifica estrategias y diversifica las posibilidades de actuar colaborativamente para gestionar, distribuir y compartir el agua.

Es encomiable que en 25 de los 41 artículos de este libro (o en 62 de sus 360 páginas) se aborde la importancia de los acuíferos, incluyendo aspectos apremiantes como la sobreexplotación, la contaminación, la disponibilidad y la gestión de las aguas subterráneas, así como su interrelación con el ecosistema, particularmente con los bosques, pastizales y humedales. Sin embargo, es revelador que básicamente ningún artículo menciona la importancia de apoyar la investigación de los acuíferos

Este libro busca honrar la memoria del Dr. José Joel Carrillo Rivera (1943-2024), Geólogo y Doctor en Hidrogeología, investigador del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), cuya visión sobre la gestión del agua, en particular de los acuíferos, estableció un hito en los estudios del agua en México, a través de propuestas teóricas-metodológicas que continúan invitando a la reflexión a la comunidad científica y a la sociedad en general. Entre sus aportaciones destaca la importancia de concebir e investigar el agua subterránea como un sistema dinámico, en movimiento y fuente principal de abastecimiento en nuestro país.

El Dr. Carrillo, a lo largo de más de 50 años de trayectoria científica en la hidrogeología, planteó la posibilidad de repensar los límites físicos de las cuencas hidrográficas, mirando más allá de la delimitación administrativa territorial y visibilizando que el agua subterránea se encuentra debajo de todos los territorios y ecosistemas. Reconociendo esta condición, existe la oportunidad de una gestión más justa, equitativa y sustentable para todos los mexicanos. En este sentido, el Dr. Carrillo siempre impulsó el uso del lenguaje para comprender los significados del agua y dejar de nombrarla un recurso natural en crisis, asegurando que la crisis del agua no existe, sino que hay un manejo deficiente.

El Dr. Joel Carrillo nos dejó el gran reto de construir investigación colegiada y colectiva en materia del agua subterránea en México para su comprensión y manejo. De manera provocadora él solía invitarnos a preguntar “¿agua, de dónde vienes?” y “¿agua, a dónde vas?”, impulsando modelos de flujos de agua, especialmente el de Toth (ver por ej., Huizar et al., 2016) . Esto explica su empeño en promover cursos sobre aguas subterráneas en más universidades para propiciar su investigación y mejorar su gestión. Importante asignatura que aún está pendiente.

Contar con información básica sobre el comportamiento de los acuíferos es fundamental para tomar medidas apropiadas a largo plazo. Por ejemplo, al proponer apoyar los sistemas domésticos de captación de agua en la Ciudad de México, se debe considerar el Ordenamiento Ecológico Territorial para evitar urbanizar las zonas de captación en las montañas de la sierra que rodean la ciudad. Para ello, es necesario saber dónde están, cómo se comportan y cuáles son los acuíferos más importantes, información que aún se desconoce en gran medida.

Por otra parte, aunque la mayoría de los artículos mencionan la importancia del bosque para la recarga de acuíferos, solo uno menciona la importancia de los pastizales, que juegan un papel capital en la recarga de los acuíferos. Esto ha sido ampliamente documentado a nivel mundial, pero falta investigación en la región del centro de México.

Esperamos que este libro, sirva como plataforma para investigar, analizar y discutir desde las diversas problemáticas del agua, estrategias para su gestión, modelos de manejo, la perspectiva de género, injusticias en el acceso y distribución del agua. Este libro es igualmente importante en reconocer la importancia del papel de la sociedad en su conjunto para restaurar y mantener sanas las aguas superficiales y subterráneas de nuestro territorio a largo plazo.

En suma, apoyar la investigación básica en México sería el mayor tributo al Dr. Joel Carrillo, al Dr. Rafael Huizar y a muchos más que han dedicado su vida a este empeño por el bien del ecosistema y de las poblaciones humanas. Cuidar del agua en la megalópolis de México es cuidar todas las formas de vida; transitemos a un manejo del agua más justo y sostenible.

Dra. Aracely Rojas-López, Universidad Intercultural del Estado de México.

Biól. y M. en C. Jürgen Hoth, Fondo de Conservación del Eje Neovolcánico, A.C. (FOCEN)

Huizar-Alvarez, R; Ouysse, S; Espinoza, M., Carrillo-Rivera, J., y Mendoza-Archundia, E. 2016. The effects of water use on Tothian flow systems in the Mexico City conurbation determined from the geochemical and isotopic characteristics of groundwater. Environmental Earth Sciences, Springer 75(13), 1-17. DOI 10.1007/s12665-016-5843-7; F. de Impacto 1.445

Índice

Industria

Sistemas de captación de agua de lluvia para una gestión integral del agua en la Megalópolis de México 9
Torres Márquez José Rodolfo, Izaguirre José Luis y Ardiles Gloria Vilma Soledad

Gobierno

Perspectiva hídrica de las áreas naturales protegidas de la cuenca del río Tejalpa, Zona Metropolitana de Toluca 15
Isabel Reyes-Avilés y Erasto Domingo Sotelo-Ruíz

La bioindicación y el biomonitoreo como herramientas de apoyo en la gestión integral del agua en la Megalópolis de México 23
Alexis Joseph Rodríguez-Romero y Itzel Ibarra-Meza

Academia

Reserva de la biosfera del centro de México y el abasto de agua a la Megalópolis 29
Fernando Jaramillo Monroy

Análisis de las soluciones basadas en la naturaleza (SBN), aplicadas a la sobreexplotación del agua subterránea en la Megalópolis de México 39
Cuauhtémoc Aquiles Zúñiga Lázaro, Jesús Barrera Rojas y Hasbleidy Palacios Hinestroza

Colectividad alrededor del agua en las chinampas y el papel del gobierno en Xochimilco 49
Libertad Castro-Colina

La logística de última milla, parques y zonas industriales: un riesgo para la gestión integrada del agua en la Megalópolis de México 61
Marta García-Galván y Francisco Herrera Tapia

El acceso a agua entubada en la Megalópolis de México: desigualdades socioeconómicas y retos para la política pública 75
Daniel A. Revollo-Fernández, Carolina M. Medina-Rivas, Lilia Rodríguez-Tapia y Jorge Morales-Novelo

Gobernanza y gestión hídrica en la cuenca del alto río Lerma, Estado de México- 83
Cesar H. Anchante Saravia, Benjamín Zamudio González, Alondra N. Narcizo Rico y Eduardo Salazar Madero

La ciudad capital como parte de la cuenca de México 1851-1864 89
Claudia Coronel Enríquez

El uso sostenible de la presa del Llano y presa Taxhimay en Villa del Carbón, Estado de México: Gestión para su subsistencia, opinión a partir del estudio de la calidad del agua 99
Erika Toledo Trejo

Constelación normativa de la gestión del agua en la Megalópolis de México: Síntesis y antítesis 105
Alma Leslie Moreno Salinas

Gestión sostenible del agua en odontología: desafíos ambientales y e strategias ante la contaminación del agua por metales pesados 119
Alejandra García-Mares, Jonás Millán Castañeda e Iván Maceda Mejías

Cálculo de huella hídrica como herramienta para la gestión sostenible del agua 127
Daniel Osorio González, Luis Enrique Díaz Sánchez, Jesús Magyber de Jesús Miranda, Michelle Abigail Fuentes Acosta y Víctor Manuel Soto Márquez

REGATEC, propuesta de un monitoreo del uso del agua para un consumo responsable en Zacapoaxtla, Puebla 137
Lourdes Becerra García

Diversidad de reglas y prácticas locales en la gestión del agua en Morelos: Pluralismo jurídico y resistencias cotidianas 141
Nohora Beatriz Guzmán Ramírez

Resiliencia hídrica urbana en las ciudades 151
Marisol González Aguilar y Arturo Venancio Flores

Mecanismos de pago por servicios ambientales en ecosistemas forestales del Estado de México, como instrumentos para la gestión integral del agua en la Megalópolis 159
Carlos Rubén Aguilar-Gómez, Laura Millán-Rojas, Gabino Nava-Bernal y Víctor Ávila-Akerberg

Retos que limitan la gestión integral del recurso hídrico, el sistema comunitario de agua de Atlautla, Estado de México 169
Esteban Cuitlahuac López-Bravo, Alma Iris Ríos-Espinosa y Norma Lucía Flores-Zamudio

Mujeres promotoras de soluciones basadas en la naturaleza en el Bosque de Agua, Morelos, México: Retos ante el cambio climático: Hacia la gestión integral del agua en la Megalópolis de México. Caso de la cuenca del Balsas, subcuenca del río Apatlaco 177
Jazmín González-Zurita y Úrsula Oswald Spring

Chimalhuacán, el agua y los olivares 183
Ixchel Parola-Contreras, Georgina Contreras-Santos y María del Rocío Santamaría-Cuellar

Dinámica espacio-temporal y proyección tendencial en la reserva ecológica comunitaria San Miguel Topilejo, Ciudad de México 193
Gabriela Rivera-Ojeda, Raúl Vera-Alejandre, Blanca E. Gutiérrez-Barba

La contraloría ciudadana autónoma del agua como un sujeto de la sustentabilidad hídrica 203
Diego Antonio Contreras Rodríguez

Disponibilidad de elementos potencialmente tóxicos en sedimentos que representan riesgo para el ambiente y la salud de la población del Nevado de Toluca, México 215
Germán Martínez Alva, María del Carmen Colín Ferreyra, Armando Sunny García Aguilar, Liliana Ivette Ávila Córdova y Araceli Consuelo Hinojosa Juárez

Estrategias del manejo sustentable del agua en sistemas de producción lechera 223
María del Carmen Espejel del Moral, Sandra González Luna, Manuel Andrés González Toimil, Luis Jesús López Morales, Esperanza García López y Itzayana Mejía Flores.

Estado actual del conocimiento de la flora acuática de la Megalópolis de México 231
Hugo López-Camarillo, Alexis Josué Sánchez-Lara, Nadia Elizabeth Siordia-González e Isolda Luna-Vega

Justicia hídrica restaurativa: una propuesta analítica para el estudio de los ríos contaminados 241
Jessica Estefanía Jiménez Montoya

Dos modelos de gestión del agua en la Megalópolis de México 253
Alfredo Méndez Bahena, Anna Rosa Domínguez Corona y Benjamín Méndez Bahena

Cubierta forestal y el agua: bases para la gestión hídrica en el Ajusco 263
Alma Abigail Luna-Gil, Ángel Rolando Endara Agramont, Luis Fernando Gopar-Merino y Todd S. Fredericksen

Transición hacia el fin al paradigma extracción-desecho en la región suroriente de la Cuenca de México 269
Eloísa Domínguez Mariani y Carlos Vargas Cabrera

La gestión del agua en la V zona de Ecatepec de Morelos 273
Maribel Espinosa-Castillo

Alternativas sostenibles del agua en la Megalópolis en el Patriaceno. Mujeres, comunidades indígenas, sociedad y gobiernos para la recuperación hídrica 285
Úrsula Oswald-Spring

Captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia como herramientas para la sostenibilidad hídrica 293
María de Lourdes Maya-Salazar y Humberto Thomé-Ortiz

SOCIEDAD CIVIL

Disponibilidad de agua y cambio climático: análisis y proyecciones para la Megalópolis de México. 303
Cristina Eduardo-Soto, Miguel A. Gómez-Albores, Raymundo Ordoñez-Sierra[1], José Luis Expósito-Castillo, Carlos Alberto Mastachi-Loza, Alejandro Tonatiuh Romero-Contreras, Víctor Josué Arriaga- Núñez.

Ensayo: una mujer de la megalópolis y el agua 315
Gie Bele Gilbert Sandoval

Al rescate del Río Salado: Historia de resiliencia para la rehabilitación de un humedal de tratamiento en Tlapanaloya, Tequixquiac 321
Selene Escorza Estrada, Cynthia Nicolás Sánchez, Emanuel Ramírez Reyes y Eliseo Cantellano de Rosas

Hacia la gestión integral del agua en la Megalópolis de México. Estrategias de sostenibilidad en la gestión integral del agua 325
Jaen G. Peralta y Emilio Torres Pérez

El agua ante la tradición y la modernidad 331
Julio César Mondragón García

Agua para todos: El Humedal hacia una gestión hídrica sustentable en la Megalópolis de México 343
Mayela Eunice Véliz-Cantú y Miguel Ángel Silva-Flores

Megalópolis: Desigualdad y olvido más allá de la Ciudad de México 351
Marian Herrera Carlos

Educación ambiental y ecociudadania: dimensiones claves para la promoción de la cultura del agua en la ciudadanía de la megápolis 355
Stephanie Segura-Espinosa

1 Sistemas de captación de agua de lluvia para una gestión integral del agua en la Megalópolis de México

Torres Márquez, José Rodolfo[1]*,Izaguirre, José Luis[2], Ardiles Gloria, Vilma Soledad[3]

[1]Equipos y Servicios en Agua de Lluvia, S.A. de C.V. (*autor de correspondencia: rodolfotmssi@gmail.com); [2]DBO International, [3]Facultad de Ciencias, UNAM

Resumen

La inquietud de participar en buscar soluciones a la problemática del agua en la zona metropolitana surgió a raíz del sismo de 1985. Entre los años 2008 y 2009 se fabricaron prototipos hasta lograr la construcción de un sistema automático que separaba el agua contaminada y el agua limpia de lluvia. En el 2012 se realizaron los trámites de patente ante el IMPI. Durante los años 2013-2016 a través de un proyecto de investigación de Calidad del Agua de Lluvia en conjunto con la UNAM se lograron resultados positivos en la captación de agua de lluvia. Además, se realizó la instalación de dispositivos de captación de agua de lluvia en diferentes inmuebles tales como casa habitación en Naucalpan de Juárez, en Planta de empacado de alimentos en Tultitlan, en el Rancho Bambuto en San Juan Teacalco, en la escuela CECATI Observatorio en CDMX y la techumbre de WalMart Satélite, cuando se encontraba en remodelación. Durante la pandemia se mejoró el dispositivo RAIN-TUBE hasta que se logró captar agua de lluvia dentro de los parámetros de la NOM-127-SSA1-1994. Esto permitió el desarrollo de una propuesta social la que se llamó “Mujeres de lluvia” y que propone un modelo de Transferencia de Tecnología.

Problemática del agua en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)

La ZMVM enfrenta una crisis hídrica compleja. Este territorio, que alberga a más de 20 millones de habitantes, padece desafíos históricos y contemporáneos en la gestión del agua. Su ubicación geográfica, el crecimiento urbano desmedido, la sobreexplotación de los acuíferos, la mala gestión de recursos hídricos y los efectos del cambio climático conforman un panorama crítico para el abastecimiento, calidad y sostenibilidad del agua en la región (Martínez et al., 2018).

La ZMVM se encuentra en una cuenca endorreica, lo que significa que sus aguas no tienen salida natural al mar. Durante siglos, la región estuvo compuesta por una serie de lagos interconectados que formaban un ecosistema único. Sin embargo, desde la época colonial, los esfuerzos por drenar el valle con fines agrícolas y urbanos transformaron radicalmente este entorno natural. Los sistemas de desagüe implementados durante el Virreinato y el Porfiriato buscaban reducir las inundaciones, pero también propiciaron la pérdida de los cuerpos de agua superficiales y el inicio de la dependencia del agua subterránea. La urbanización acelerada del siglo XX exacerbó la problemática hídrica. A medida que la Ciudad de México crecía, también lo hacía la demanda de agua potable, lo que derivó en la sobreexplotación de los acuíferos subyacentes. Esta dependencia no sostenible provocó hundimientos del suelo, fracturas en la infraestructura hidráulica y la pérdida de capacidad de recarga de los mantos acuíferos, una dinámica que persiste en la actualidad (BID, 2012).

La ZMVM obtiene más del 70% de su agua de los acuíferos subterráneos. Sin embargo, esta extracción es insostenible, ya que se extrae agua a un ritmo mucho mayor que su capacidad de recarga. Estudios recientes estiman que el acuífero del Valle de México registra un déficit anual de más de 20 m3/s. Este agotamiento ha generado problemas graves, como hundimientos del terreno de hasta 40 cm/año en algunas zonas, afectando tanto a la infraestructura urbana como a la capacidad de almacenamiento de agua en el subsuelo (Soto et al., 2000).

El impacto de la sobreexplotación no se limita al hundimiento del suelo. También genera deterioro de la calidad del agua subterránea y la formación de grietas en el terreno, lo que pone en riesgo viviendas, carreteras y tuberías de agua y alcantarillado.

Con respecto al acceso al agua, su distribución es profundamente desigual. Mientras algunas colonias

de altos ingresos tienen acceso constante al agua potable, las zonas más marginadas deben lidiar con un suministro irregular o nulo. En muchos casos, las familias de escasos recursos dependen de pipas, pagando precios significativamente más altos por litro que aquellos que cuentan con una conexión regular a la red de agua potable.

Esta inequidad en el acceso también tiene un impacto en la salud pública. La falta de agua potable obliga a muchas comunidades a consumir agua de calidad cuestionable, lo que incrementa la incidencia de enfermedades gastrointestinales y otros problemas de salud.
A esto se debe sumar que la infraestructura hidráulica es insuficiente y presenta un alto grado de deterioro, ya que más del 40% del agua transportada por el sistema de tuberías se pierde debido a fugas. Estas pérdidas no solo agravan la escasez de agua, sino que también generan altos costos económicos para el sistema de distribución.

Además, el sistema de drenaje enfrenta desafíos monumentales. Durante la temporada de lluvias, el valle experimenta inundaciones recurrentes debido a la incapacidad de las redes de drenaje para manejar los volúmenes de agua pluvial. Paradójicamente, gran parte de esta agua de lluvia, que podría utilizarse para recargar los acuíferos o para otros fines, se pierde al ser desechada fuera de la cuenca (Ramos, 2021).

Oportunidades

Las autoridades han implementado diversas estrategias para abordar la problemática del agua en la ZMVM, desde la construcción de infraestructura como el Sistema Cutzamala hasta programas de eficiencia hídrica. Sin embargo, estos esfuerzos han sido insuficientes frente a la magnitud del problema. El Sistema Cutzamala, que abastece aprox. el 25 % del agua consumida en la Ciudad de México, es una solución temporal y costosa. Su mantenimiento y operación demandan grandes cantidades de energía y recursos, lo que lo hace poco sostenible a largo plazo. Además, su dependencia de fuentes externas genera tensiones con las comunidades rurales de donde se extrae el agua.

La solución a la crisis hídrica de la ZMVM requiere un enfoque integral y multisectorial, por lo que poder implementar Sistemas de Captación de Agua de Lluvia con los dispositivos PWS (Plu Water Systems) y RT (Rain Tube) reducirá ampliamente el desperdicio de agua. Estudios previos han demostrado que con 200,000 m2 de azoteas para captación de agua de lluvia se pueden colectar hasta 10 millones de litros de agua en una tormenta de 50 mm de precipitación en 2 horas.

El sistema PWS (Figura 1) funciona automáticamente al presentarse un evento de lluvia. Está diseñado para poderse calibrar mediante los métodos de peso y flujo y así captar el agua de lluvia de calidad. Este sistema pensado originalmente para casa habitación resulta ideal también para proyectos industriales.



Figura 1. Disposición de un Sistema PWS.

Por otra parte, el sistema RT (Figura 2) está basado en el principio hidráulico de continuidad. Consiste de un tubo por donde se deja pasar la primera agua de lluvia y con ello obtener agua de lluvia de buena calidad, con bajos sólidos en suspensión. En un proceso posterior a esta agua se le puede realizar un tren de filtración y un proceso de desinfección y lograr agua para consumo humano.





Figura 2. Disposición de un Sistema RT.

Mujeres de Lluvia

Motivados en llevar estos sistemas a comunidades rurales se creó el proyecto “Mujeres de lluvia”, el cual consiste en capacitar a grupos de mujeres en la Fabricación, Instalación y Mantenimiento de los sistemas de captación RT. El proyecto piloto partió el 5 de diciembre (Figura 3) en la comunidad La Huerta San Agustín en Valle de Bravo (Figura 4).



Figura 3. Inicio del Proyecto Comunitario para captación de agua de lluvia.



Figura 4. Casa de la comunidad La Huerta San Agustín, Valle de Bravo.

La meta inicial de este proyecto es construir 300 sistemas, para ser instalados en un lapso de 3-4 meses. Quienes participen recibirán un salario digno y las prestaciones de ley. Al término de esta etapa, el grupo de mujeres podrá constituir una empresa, la cual estará licenciada para la explotación de la patente (solo en comunidades en estado de vulnerabilidad).

Soluciones System O))

Frente a esta problemática del agua, DBO International, en alianza con ESALL, propone las soluciones System O)), una alternativa innovadora para el tratamiento descentralizado, ecológico y eficiente de las aguas residuales. Estas soluciones son particularmente útiles en áreas donde las redes de saneamiento centralizado resultan costosas o inviables.

El sistema System O)) es una solución de tratamiento de aguas residuales que no requiere electricidad, productos químicos ni partes mecánicas, lo que lo convierte en una opción económica y de bajo mantenimiento. El proceso se basa en la acción de microorganismos naturales que purifican el agua a través de varias etapas. El tratamiento comienza en una fosa séptica, donde se sedimentan los sólidos y luego el agua pasa por un sistema de filtración biológica. Al final del proceso, el efluente cumple con los estándares de calidad, lo que permite su descarga segura o reutilización para usos no potables, como el riego.

El diseño compacto y modular de System O)) facilita su instalación en distintos contextos, desde zonas urbanas densamente pobladas hasta comunidades rurales. Esta flexibilidad lo convierte en una solución ideal para áreas en desarrollo o con limitaciones de espacio. Además, posee un bajo costo operativo al no depender de electricidad ni de componentes mecánicos y se minimizan los gastos a largo plazo, haciéndolo accesible para comunidades con recursos limitados. También es altamente resistente a fallas técnicas y cortes de energía, lo que lo hace adecuado para áreas con infraestructura poco confiable.

La implementación de las soluciones System O)) en la Ciudad de México puede aliviar la presión sobre la infraestructura actual, que no es capaz de gestionar de manera eficaz el volumen de aguas residuales generado por la población. Al tratar las aguas residuales de manera local, este sistema no solo ayuda a reducir la contaminación, sino que también disminuye los costos asociados con el transporte y tratamiento en grandes plantas centralizadas.

Conclusión

La implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en la Ciudad de México representa una estrategia viable, sostenible y necesaria para abordar la crisis hídrica que enfrenta la metrópoli. Este enfoque no solo contribuye a mitigar los problemas de escasez de agua en zonas vulnerables, sino que también fomenta la autosuficiencia hídrica, reduce la presión sobre los acuíferos sobreexplotados y promueve una gestión más equitativa y eficiente de los recursos hídricos.

Entre los principales beneficios de estos sistemas destacan:

- El abastecimiento alternativo de agua: La captación de agua de lluvia permite diversificar las fuentes de abastecimiento, especialmente en comunidades donde el suministro regular es insuficiente o intermitente.
- La reducción de inundaciones: Al capturar y almacenar agua pluvial, estos sistemas disminuyen el volumen de escorrentías que saturan el sistema de drenaje, mitigando el riesgo de inundaciones en temporadas de lluvias intensas.
- La recarga de acuíferos: Los excedentes de agua captada pueden ser redirigidos hacia proyectos de infiltración controlada, contribuyendo a la recuperación de los acuíferos subterráneos.
- El ahorro económico: La implementación de estos sistemas reduce la dependencia de fuentes externas, disminuyendo los costos asociados al transporte y tratamiento del agua.

En términos sociales y educativos, la captación de agua de lluvia también representa una oportunidad para fomentar la cultura del agua. Al involucrar a la ciudadanía en su gestión, se refuerza el sentido de responsabilidad compartida hacia este recurso vital, promoviendo hábitos de consumo sostenible y prácticas respetuosas con el medio ambiente.
En cuanto a los sistemas System O)) son una solución para el tratamiento de las aguas residuales, ya que no se requiere electricidad, ni productos químicos, ni partes mecánicas, por lo que lo convierte en una opción económica y de bajo mantenimiento.

Tabla 1. Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México.

Problemáticas	Oportunidades
Escasez de agua para uso doméstico básico	Implementación de sistemas de captación de agua de lluvia
Alto costo del agua para zonas marginadas	Capacitación mediante el programa “Mujeres de Lluvia”
Inundaciones	Disminución de eventos de inundaciones en zonas donde se implementen los sistemas PWS y RT
Contaminación del agua	Sistemas System O))

Referencias bibliográficas

BID. 2012.Modelo de marco institucional para la gestión de los recursos hídricos en el Valle de México. Primer informe. 302 p.

Martínez, Ma Concepción; Ar E. y M. Vera. 2018. Propuestas para la crisis del agua en Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). https://www.researchgate.net/publication/323995437

Ramos, A. 2021. El desagüe del Valle de México, entre la basura y hundimientos. Voces México. https://vocesmexico.com/opinion/el-desague-del-valle-de-mexico-entre-la-basura-y-hundimientos/

Soto, E.; Mazari M. y L. A. Bojórquez. 2000. Entidades de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea. Investigaciones Geográficas, Boletín del instituto de Geografía, UNAM, 43: 60-75. https://www.investigacionesgeograficas.unam.mx/index.php/rig/article/view/59124/52111

2 Perspectiva hídrica de las áreas naturales protegidas de la Cuenca del rio Tejalpa, Zona Metropolitana de Toluca

Isabel Reyes-Avilés[1]*, Erasto Domingo Sotelo-Ruíz[2]

[1,2] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
(*autora de correspondencia:isabelreyes.aviles@gmail.com).

Introducción

Dentro del Sistema Urbano Nacional destaca, la Megalópolis del Centro de México, la cual es el mayor conjunto urbano del país e incluye las áreas metropolitanas colindantes. Una de las áreas colindantes, es la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) donde se encuentra la Cuenca del Río Tejalpa (CRT), que es parte de la cuenca alta del río Lerma, una de las más importantes de México por su disponibilidad de agua al sector agrícola y humano. En este capítulo, se pone en perspectiva a la CRT con el ánimo de evidenciar la expansión urbana contigua a dos Áreas Naturales Protegidas (ANP), las cuales abastecen de agua a áreas agrícolas y urbanas. Las ANP son dos áreas de alto valor ambiental en la Cuenca del río Tejalpa son: Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca (APFFNT) y el Parque Estatal Sierra Morelos (PESM). Desde el aspecto político, son una herramienta para conservar los ambientes naturales de Toluca y Zinacantepec. Desde el aspecto ambiental, generan y recargan agua en el suelo, además son una barrera natural contra la contaminación atmosférica.

El agua es un elemento integrador de todos los procesos socioambientales, y su acceso es fundamental para el desarrollo socioeconómico, el bienestar ambiental y supervivencia del ser humano. Sin embargo, el aumento demográfico ha incrementado el consumo y demanda de agua y con ello generado una reducción de los recursos hídricos, así como la contaminación de estos (Amprako. 2022). En México, los indicadores generales muestran que 73% de los cuerpos de agua del país están contaminados (Cruz-Ruíz. 2023). Una de las principales fuentes de contaminación es la descarga de aguas residuales sin tratar en ríos, lagos y océanos, generando su degradación y haciendo complicado el acceso al suministro de agua potable.

Dentro de éste contexto, la megalópolis del Centro de México es una zona sujeta a fuertes dinámicas urbano-demográficas y económicas. Históricamente, ha sido el eje estructurador del territorio y la actividad económica nacional (De las Heras-Gutiérrez et al. 2020). Actualmente enfrenta desafíos significativos en la gestión del agua, esta región experimenta una presión considerable sobre sus recursos hídricos (Campos-Medina. 2022). La Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) es un conglomerado urbano compuesto por 38 localidades de los municipios de Almoloya de Juárez, Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Toluca y Zinacantepec, que se caracterizan por tener continuidad urbanística y es la quinta área metropolitana más poblada del país. La conformación actual responde a un largo proceso con la Ciudad de México ya que el estado de México la rodea.

Con respeto a la hidrología, la cuenca hidrográfica es un territorio definido naturalmente por un parteaguas que pasa por las elevaciones de los escurrimientos que se dirigen a una corriente principal de agua desde su nacimiento hasta su punto de salida o desembocadura. Este recorrido forma una cavidad natural en la que se acumula agua de lluvia. Hablar desde una perspectiva de cuenca hidrológica, es hablar de la gestión de los recursos naturales de manera adecuada para generar mayor cantidad de agua para las comunidades locales y la vida silvestre (SEMARNAT. 2024).

Por ello, en el Estado de México, la CRT es importante considerarla ya que, pertenece a una de las 18 subcuencas que conforman la cuenca alta del río Lerma (CARL) ésta última, pertenece a la región hidrológica Numero 12 (Lerma – Santiago) de la República Mexicana, una de las más importantes de México, por lo que su gestión es crucial para la disponibilidad de agua en la región. La CRT es un afluente del río Lerma y tiene una extensión de 21 748 ha (INEGI. 2024). Específicamente éste río nace

a partir de los escurrimientos del Cerro la Caldera a los 4 550 msnm; es considerado río de quinto orden con características dentríticas y fluye por la margen izquierda del río Lerma con rumbo noreste (Peralta-Flores et al. 1999). El recorrido del río Tejalpa es con dirección al Noroeste, a lo largo de su curso atraviesa zonas rurales y urbanas como: Agua bendita, San Francisco Tlalcilalcalpan, San Luis Mextepec, Zimbrones, Tecaxic, San Martín Totoltepec, Calixtlahuaca, San Cristóbal Huichochitlán entre otras poblaciones. La cuenca comprende parte de cuatro municipios: Zinacantepec con una superficie de 17 997 ha, Toluca con 2 678, Almoloya de Juárez con 1 064 y Temascaltepec con 9 ha. Zinacantepec tiene la mayor extensión territorial dentro de la cuenca. En lo que respecta a las Áreas Naturales Protegidas, el río Tejalpa fluye desde el Área de Protección de Flora y Fauna Nevado de Toluca hasta los límites del Parque Estatal Sierra Morelos, dichas áreas, han sufrido deterioro por la expansión urbana (Imagen 1). El cambio de uso de suelo ha provocado erosión del mismo, disminuyendo la cobertura vegetal y aumentando los riesgos de inundación en varias áreas cercanas (Reyes-Avilés et al. 2024).

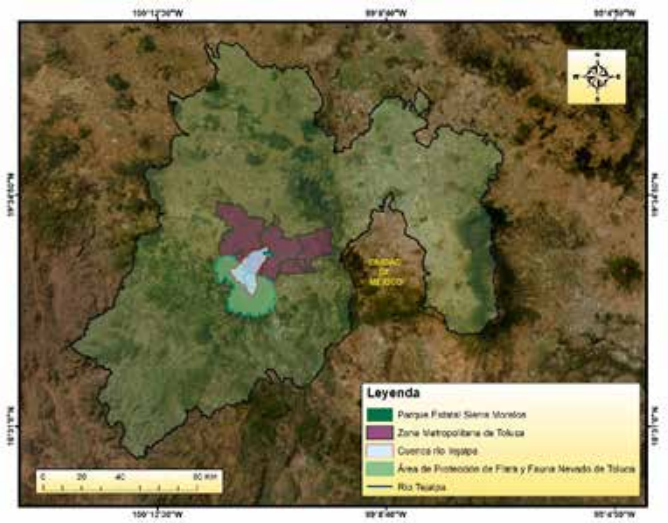


Imagen 1 Localización de la Cuenca del río Tejalpa, en el centro del Estado de México.

La CRT enfrenta varios problemas ambientales que afectan tanto los ecosistemas locales como a las comunidades humanas. Entre los principales problemas, destacan:

Erosión del suelo

La erosión hídrica es uno de los principales procesos de degradación del suelo y se ha convertido en una amenaza a la sustentabilidad alimentaria y ambiental en los ecosistemas del mundo (Li et al. 2022). En la actualidad, debido a la deforestación y cambios en el uso del suelo, la cuenca ha experimentado una acelerada erosión. Se ha identificado que el 41% de la superficie de la cuenca presenta una erosión moderada, mientras que el 7.14% representa a las áreas críticas por erosión (Reyes-Avilés et al. 2024) (Imagen 2).

La falta de vegetación facilita el escurrimiento del agua y la erosión de los suelos, por lo que en áreas planas donde comúnmente se encuentran los asentamientos humanos existe mayor depósito de sedimentos y mayores acciones de mantenimiento a los drenajes urbanos.



Imagen 2 Cárcavas por la erosión del suelo en el Parque Estatal Sierra Morelos, en Tecaxic, Toluca, Estado de México (Reyes, 2024).

Áreas agrícolas

La CRT es una zona agrícola principalmente de maíz, avena y papa, su superficie agrícola es de 11 648 ha que representan el 53.8% del total de la cuenca (Reyes-Avilés et al. 2024). El cauce del río Tejalpa aporta agua para el riego de algunas parcelas, tal es el caso de la comunidad de agua bendita (Imagen 3).



Imagen 3 Áreas agrícolas de la localidad de Agua Bendita, Zinacantepec, Estado de México (Reyes, 2024).

Imagen 3 Áreas agrícolas de la localidad de Agua Bendita, Zinacantepec, Estado de México (Reyes, 2024).

Por otra parte, el temporal se ha retrasado para las áreas agrícolas. La coexistencia de cultivos con prácticas agroforestales ha sido promovida para mejorar la conservación de los suelos y la infiltración de agua. Sin embargo, la agricultura en la región enfrenta desafíos relacionados a la erosión hídrica, además de que esta actividad en las partes planas, está inmersa con el proceso de urbanización, lo que ha generado presión sobre las áreas agrícolas afectando su productividad y la conservación del agua (Imagen 4).



Imagen 4 Cultivo de maíz y el crecimiento urbano de la delegación de San Mateo Oxtotitlán, contiguo al PESM, Toluca, Estado de México (Reyes, 2024).

Crecimiento urbano

El municipio de Almoloya de Juárez, Lerma, Metepec, San Mateo Atenco, Toluca y Zinacantepec integran la Zona Metropolitana de Toluca (ZMT) su conurbación física y funcional le confiere una relación directa y cercana con el municipio de Toluca, ciudad central de la metrópoli y capital de la entidad (Pedrotti. 2019). Por ello, la intensiva construcción de conjuntos habitacionales de vivienda social promovidos por el sector inmobiliario en esta área ha convertido estos espacios en lugares residenciales comunes para numerosas familias, que habitan en la metrópoli del centro del país. La CRT presenta 18% de área urbana, y el rápido crecimiento demográfico y urbano, ha tomado áreas forestales y agrícolas (Reyes-Avilés et al. 2024). La mayor extensión territorial de la CRT está en el municipio de Zinacantepec y este municipio presenta un crecimiento acelerado de conjuntos urbanos, por mencionar algunos: San Valentín, El Porvenir, Bosques ICA, La Victoria, Rancho San Nicolás, Privadas de la hacienda, La Loma I y II, los cuales sus drenajes se dirigen al río Tejalpa, aunque algunos cuentan con planta de tratamiento de agua, esta se encuentra abandonado (Imagen 5) (Imagen 6).



Imagen 5 Conjunto Urbano Privadas de la Hacienda con planta de tratamiento en abandono, en Zinacantepec, Estado de México (Reyes, 2024).



Imagen 6 Planta de tratamiento en abandono, se ubicada entre Rancho San Nicolás y Pueblo Nuevo Serratón, frente al Parque Estatal Sierra Morelos, en Zinacantepec (Reyes, 2024).

Inundaciones recurrentes

Una inundación es un fenómeno natural derivado de la variabilidad hidrológica de una cuenca, de la morfología del río, de la intensidad y duración de la precipitación, y el uso del suelo. El Estado de México es una de las entidades de la República Mexicana que periódicamente presenta problemas a causa de las inundaciones durante la época de lluvia, en las márgenes del rio Lerma y las márgenes del Lago de Texcoco. En lo que respecta a la CRT, las lluvias intensas y la falta de mantenimiento adecuado del cauce del río han llevado a desbordamientos, como el ocurrido en 2021 en Calixthahuaca (Imagen 7) y 2023 en San Cristóbal Huichochitlán.



Imagen 7 desbordamiento de las márgenes del cauce del río Tejalpa en Rancho San Nicolás, Zinacantepec, Estado de México (Reyes, 2024).

Otro acontecimiento fue en el municipio de Zinacantepec, en el conjunto urbano “La Loma I”, dónde es zonas de inundaciones recurrentes, existe baja capacidad de los desagües y genera inundación en las ultimas casas por la pendiente natural del terreno. Estos eventos afectan a la población local, causando daños materiales y exponiendo a las comunidades a aguas negras sin un sistema de gestión eficiente.

Degradación de ecosistemas

La cuenca se extiende desde las laderas del APFF Nevado de Toluca hasta el Parque Estatal Sierra Morelos, las cuales son “Áreas Naturales Protegidas” representativas a nivel estatal y contribuyen a mejorar las condiciones ambientales y paisajísticas de la zona metropolitana de Toluca (Reyes-Avilés et al. 2024). Sin embargo, en el APFFNT, existío una sobreexplotación de minas de arena, dónde se construyó un conjunto urbano “Bosques del Nevado” (Imagen 8).



Imagen 8 Mina de arena en la localidad de Agua Bendita, Zinacantepec, Estado de México (Reyes, 2024).

Con respecto al PESM, existe tala clandestina, construcción de asentamientos irregulares, incendios, pérdida de biodiversidad además se pretende la construcción de un “centro integral de pequeñas especies”, lo cual, no respetar la categoría de Área Natural Protegida.

Falta de Infraestructura en la red de agua potable y desechos sólidos en las márgenes del río Tejalpa

La falta de infraestructura en la red de agua potable contribuye a la pérdida y desperdicio del recurso hídrico, así como escasez de agua. Algunos de estos problemas se ven reflejados en la mayoría de las delegaciones de Toluca y Zinacantepec (Imagen 9).



Imagen 9 Fuga de agua por tener infraestructura mal colocada y de baja calidad en la red de agua potable. Pueblo Nuevo Serraton Tecaxic, Toluca, Estado de México (Reyes, 2024).

El paradero de autobuses también deposita sus residuos en el río Tejalpa (Imagen 10 y 11).



Imagen 10 Paradero de los autobuses de pasajeros “Intermetropolitano”, atrás se encuentra el río Tejalpa y a los lados un asentamiento humanor, junto a las márgenes del río, en Tecaxic, Toluca, Estado de México (Reyes, 2024).



Imagen 11 Acumulación de basura a cielo abierto en la delegación de Tecaxic, Toluca, Estado de México (Reyes, 2024).

Norma para la regulación de asentamientos humanos

Por otra parte, la Legislación Ambiental Mexicana que regula los asentamientos irregulares en zonas de riesgo es la siguiente: NORMA Oficial Mexicana (NOM-006-SEDATU. 2024), que Clasifica, caracteriza y delimita las zonas no susceptibles para asentamientos humanos, en la zonificación primaria por presentar riesgos críticos originados por amenazas hidrometeorológicas, geológicas y las asociadas al cambio climático o por tener valor ambiental o cultural en los instrumentos que conforman el Sistema General de Planeación Territorial.

En México entre el año 2000 y el 2021, los desastres ocurridos por fenómenos naturales provocaron que más de 14 millones de personas, hayan sido heridas, desplazadas, hayan perdido su hogar o hayan requerido asistencia de emergencia. Anualmente, en México, estos desastres han provocado daños en 674 000 personas (UNDRR. 2024). Además, México es vulnerable a los impactos del cambio climático: por su ubicación entre dos océanos y la ocurrencia de huracanes con lluvias intensas y atípicas que han causado deslizamientos de laderas, desbordamiento de ríos e inundaciones (SEMARNAT. 2024). Bajo las anteriores consideraciones, la cuenca del río Tejalpa es un área con riesgos críticos por fenómenos hidrometeorológicos, por lo cual se busca aumentar las capacidades institucionales en materia de ordenamiento a nivel cuenca hidrográfica y aumentar las acciones de conservación de zonas de valor ambiental y cultural como lo son el APFFNT y el PESM (Imagen 12).



Imagen 12 Construcción de asentamientos irregulares en las márgenes del río Tejalpa, delegación de Tecaxic, Toluca, Estado de México (Reyes, 2024).

Dentro de los objetivos de esta presente Administración Presidencial (2024-2030) se tiene contemplado la limpieza y saneamiento de los tres ríos más contaminados del país, entre ellos el río Lerma-Santiago. Las acciones serán: reforestar, rehabilitar y construir plantas de tratamiento y colectores, así como la construcción de humedales (Gobierno de México. 2024). Por lo que se espera en los próximos años avances en la gestión de los diversos actores involucrados en el saneamiento de los ríos.

De manera general, los problemas presentes en la cuenca del rio Tejalpa son: 1) Erosión del suelo en las partes con pendiente. El uso de suelo agrícola abarca el 53.80%. Sin embargo, presenta erosión del suelo con nivel moderado del 41%, en tanto que las áreas con nivel crítico, se presentan en las zonas altas, que corresponden al APFFNT y el PESM; 2) Perdida de vegetación en la zona natural protegida, que disminuye la cantidad de precipitación en la zona; 3) Perdidas de áreas agrícolas, por la construcción de zonas habitacionales; 4) Construcción de unidades habitacionales no planeadas, que están invadiendo las zonas naturales protegidas; 5) Contaminación del rio Tejalpa, por las descargas de aguas residuales; y 6) Deterioro del paisaje y pérdida de la vegetación, que disminuye la infiltración del agua en el suelo.

Las coberturas que dominan en la cuenca son: área agrícola con 53%, bosque con 27% y zona urbana con el 18%. Esto muestra que la zona urbana está invadiendo la zona agrícola, por lo cual el efecto se ve reflejado en problemas de azolvamiento e inundaciones. Por otra parte, debido a la pérdida de la cubertura vegetal, la precipitación disminuye; tal es el caso de los años 1968 a 2018 (50 años), dónde el promedio de la precipitación fue de 849.3 mm, en 2020 la precipitación fue de 800 mm y para 2023 fue de 740 mm (CONAGUA. 2023). A escala local, estos datos indican, la disminución de la precipita-

ción, la pérdida de cobertura vegetal que facilita el escurrimiento del agua, disminuye la infiltración y la recarga del acuífero; esto favorece la erosión de los suelos de las dos áreas naturales protegidas.

En la tabla 2, se presentan los principales problemas y su posible solución en la cuenca del rio Tejalpa.

Tabla 2 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la cuenca del río Tejalpa.

Número de estrategia	Detalle de estrategia
Erosión del suelo en el PESM Y APFFNT	Continuar con las campañas de reforestación y campañas de concientización a la población de esa zona.
Asentamientos irregulares en las márgenes del río Tejalpa en la comunidad de Pueblo Nuevo, Serraton, delegación de Tecaxic, Toluca. Asentamientos irregulares en el Área Natural Protegida (PESM).	Aplicar la NOM-006-SEDATU-2024 a las áreas de alto valor ambiental (APFFNT y PESM). Plantar en las orillas del río Tejalpa especies de árboles y arbustos que toleren condiciones de agua contaminada y que sirva de fitorremediación al río.
Venta barata y descontrolada de terrenos ejidales o comunales para desarrollar conjuntos urbanos.	Reunión con los delegados, ejidatarias y comuneros de las delegaciones de Toluca y Zinacantepec, para dar a conocer la NOM-006-SEDATU-2024
No se respeta la categoría de Área Natural Protegida del PESM.	Inducir la localización adecuada de la población, las actividades económicas, equipamientos e infraestructura.
Conjuntos urbanos, los cuales tienen su propia planta de tratamiento abandonada.	El municipio debe invertir en las plantas de tratamiento de aguas residuales con las que cuentan los conjuntos urbanos de Zinacantepec.
Escases de lugares para recarga de acuíferos.	Son lugares de recarga de agua: las áreas naturales Protegidas (PESM y APFFNT) Parques urbanos, jardines y creación de nuevos parques en los terrenos ejidales o comunales de las delegaciones de Toluca y Zinacantepec para mejorar el paisaje metropolitano.
Falta de recolección continua de residuos en las delegaciones de San Luis Mextepec, Tecaxic y los nuevos conjuntos urbanos de Zinacantepec.	Calendarizar la recolección de residuos con más frecuencia.
No hay vigilancia municipal	A partir del año 2023 se ha observado recorridos de las policías municipales de Toluca y Zinacantepec. Se han creado grupos de WhatsApp y Juntas vecinales.
Paradero de autobuses: Intermetropolitano y Tecaxic, se encuentran a las orillas del río Tejalpa, en el cual depositan los residuos sólidos generados por el pasaje.	Las autoridades municipales ponerse de acuerdo con los dueños de los autobuses para depositar en contenedores o realizar quemas controladas de los residuos.

Estos rasgos debilitan los procesos de autorregulación del ecosistema periurbano a través del tiempo (Chiaffarelli y Vagge. 2023). Sin embargo, la transformación de estos retos en oportunidades dependerá del compromiso continuo y la acción coordinada de todos los actores involucrados, para evitar la contaminación de los cauces naturales presentes en la cuenca del río Tejalpa.

Conclusiones

La perspectiva hídrica de la cuenca del rio Tejalpa, que comprende las Áreas Naturales: APFFNT y PESM, tienen un impacto importante a los servicios ambientales como: la regulación del ciclo hidrológico, infiltración de agua en las áreas de bosque, la recarga del agua en los acuíferos, control de inundaciones y el almacenamiento de carbono en el suelo, calidad del agua y suelo y dinámicas microclimaticas.

Los principales usos del suelo de la cuenca del rio Tejalpa son agrícola con el 53%, bosque con 27% y urbano con 18%. El rápido crecimiento urbano y demográfico ha tomado superficie forestal y agrícola de las áreas naturales protegidas, por lo que la problemática que se presenta en la cuenca es el crecimiento urbano. Por lo que es inprecindible considerar éstas dos Áreas Naturales Protegidas (APFFNT y PESM), como componentes estratégicos del sistema paisajístico metropolitano, tanto en términos de provisión de servicios ambientales como de planificación. La aplicación de la NOM-006-SEDATU-2024 y la participación ciudadana es crucial para mitigar riesgos y mejorar el almacén de agua y una mejor calidad de vida para los habitantes de la zona urbana.

Referencias bibliográficas

Amprako, J. L. The Unites Nations World Water Development Report (2022). Future of food. Journal on Food, Agriculture and Society, 4(2): 64-65.

De las Heras-Gutiérrez, D., Adame-Martínez, S., Cadena-Vargas, E.G., y Campos-Alanís, Juan. (2020). Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial. Economía, Sociedad y Territorio 62: 710-752.

Cruz-Ruiz, G., Tejocote-Pérez, M., Balderas-Hernández, P., Y Roa-Morales, G. (2023). Salix Babylonica para aplicaciones en fitoremediación: Análisis de características biológicas en poblaciones del Valle de Toluca. La Esfera de la Vida. Pág. 155-182.

Campos-Medina, E., Adame-Martínez, S. y Hoyos-Castillo, G. del C. (2022). Vulnerabilidad ambiental de la zona metropolitana de Toluca por periurbanización. Quivera Revista de Estudios Territoriales 24(2):151-168.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). (2023). Sistema Nacional de Información del Agua. http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php.

Chiaffarelli, G., Vagge, I. (2023). Cities vs countryside: An example of a science-based peri-urban landscape features rehabilitation in Milan (Italy). Urban Forestry & Urban Greening 86 (2023) 128002. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128002

Gobierno de México. (2024). Plan Nacional Hídrico. Consultado el 29 de septiembre, 2024.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). (2023). Estadísticas básicas del Estado de México. Síntesis Geográfica del Estado de México. Consultada el 29 de mayo, 2024, desde http://www.inegi.org.mx/

Norma Oficial Mexicana NOM-06-SEDATU-2024 (DOF, 23/08/2024). Clasificación, caracterización y delimitación de zonas no susceptibles para asentamientos humanos en la zonificación primaria por presentar riesgos críticos originados por amenazas hidrometeorológicas, geológicas y las asociadas al cambio climático o por tener valor ambiental o cultural en los instrumentos que conforman el Sistema General de Planeación Territorial. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5737045&fecha=23/08/2024#gsc.tab=0.

Pedrotti, C. I. (2019). Gestión del espacio habitacional en la periferia: conjuntos urbanos, el caso de Zinacantepec, Estado de México. Carta Económica Regional. ISSN 0187-7674. Año 32. Num.124.

Peralta-Flores, I., Salazar-Berna, L., Sánchez-Moreno, M. E. (1999). Zonificación de áreas susceptibles a inundación en la cuenca del Río Tejalpa. Tesis de Licenciatura. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, Estado de México.

Reyes-Avilés, I., Sotelo-Ruíz, E. D., y Adame-Martínez, S. (2024). Identificación de Áreas Críticas por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Tejalpa, en el Centro de México. REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 42: 10-15 https://doi.org/10.28940/terra.v42i0.1827.

SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2024). Día Internacional para la reducción del riesgo de desastres. https:// www.gob.mx/semarnat.

SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2024). Cuencas hidrográficas. https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-son-las-cuencas-hidrologicas-y-las-reservas-de-agua

UNDRR (Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). (2024). Panorama de los Desastres en América Latina y el Caribe 2000.2022. https://www.undrr.org/es/search?text=México.

3 La bioindicación y el biomonitoreo como herramientas de apoyo en la gestión integral del agua en la Megalópolis de México

Alexis Joseph Rodríguez-Romero[1],[2]*, Itzel Ibarra-Meza[3]

[1]Coordinación de Calidad y Ecología del Agua, Subcoordinación de Ecohidrología y Rehabilitación. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Blvd. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Col. Progreso, C.P. 62550 Jiutepec, Morelos (*autor de correspondencia: alexis_rodriguez@tlaloc.imta.mx); [2]Laboratorio Nacional CONAHCYT de Evaluación de la Integridad Ecológica en Sistemas Acuáticos Dulceacuícolas (LAN CONAHCyT-EVIESAD); [3]Laboratorio de Evaluación de la Salud de los Ecosistemas Acuáticos, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Lázaro Cárdenas, Prolonga-ción de Carpio y Plan de Ayala s/n, Col. Santo Tomás C.P. 11340 Alcaldía Miguel Hidalgo CDMX. México
Doctorante del Programa de Posgrado en Estudios Latinoamericanos.

Resumen

La heterogeneidad de ambientes y sitios de aprovechamiento de agua a lo largo de la Megalópolis de México no sólo albergan el preciado recurso del cual las poblaciones se benefician; también estos sitios poseen una riqueza biológica que además de aprovechar el recurso, pueden indicar en función de su presencia, abundancia y rasgos funcionales cual es el estado de salud de estos ecosistemas.

La bioindicación es la capacidad natural que poseen los seres vivos de responder a condiciones ambientales. Por otra parte, el biomonitoreo es el conjunto de herramientas de observación y/o registro sistemático que permiten reconocer cambios en la biodiversidad a partir de cambios provocados en los ecosistemas. Se ha demostrado que la bioindicación y el biomonitoreo pueden ser altamente útiles para dar seguimiento a programas de calidad del agua, programas de rehabilitación ecohidrológica, educación ambiental del agua, entre otros. Este capítulo propone una revisión de los esfuerzos en materia de bioindicación y biomonitoreo que se han realizado a lo largo de la Megalópolis de México; se discute cuantos de estos trabajos a lo largo de los últimos años han sido empleados como herramientas en la gestión integral del agua y se proponen áreas de oportunidad para promover programas de biomonitoreo participativo ciudadano que puedan ser usados como un eje importante en la gestión integral del agua en la Megalópolis de México.

Introducción

La bioindicación es una propiedad intrínseca de las formas de vida, ya que cualquier organismo, incluido el ser humano responde a cambios en el entorno de manera natural como resultado de un cambio provocado. El término bioindicador se utiliza se refiere a todas las respuestas biológicas que pueden manifestarse desde el nivel individual, poblacional o de comunidad como resultado de la interacción con el ambiente (Parmar et al. 2016). Sin embargo, no todas las formas de vida son usadas como bioindicadoras, ya que el término se ha utilizado principalmente para referirnos a aquellas que son capaces de reflejar cambios positivos o negativos en el ambiente ya sea por efectos de disturbio (Parmar et al. 2016) o bien como respuestas ante estrategias de conservación y rehabilitación de ecosistemas (Alverenga et al. 2018).

Por otra parte, el biomonitoreo se puede definir como el conjunto de herramientas, técnicas y protocolos que se emplean para vigilar alguna de las respuestas biológicas de los organismos bioindicadores y que resultan en información cualitativa y cuantitativa sobre la condición de un ecosistema. Estas herramientas deben ser sistematizadas, evaluadas y validadas mediante procesos estadísticos que permitan transformar la información de los registros obtenidos a elementos de diagnóstico de un ecosistema (Vadas et al. 2022).

Dentro de la gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) existen diversas áreas de intervención, siendo el monitoreo y evaluación, una de las que se podría considerar transversal durante todo el

proceso de gestión. Desde el punto de vista conceptual, la GIRH se define como un proceso que promueve el desarolllo y la gestión coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados (Giordano y Shah, 2017). Y es en el último punto, "recursos relacionados", donde podrían existir grandes brechas en el concepto, pero al mismo tiempo áreas de oportunidad. Desde la adopción de los Principios de Dublin, el marco conceptual de la GIRH se ha ampliado acorde a nuevos marcos y acuerdos internacionales (IWRM Action, 2024) y para efectos de este capítulo se destacaría el Marco de la Diversidad Biológica posterior a 2020 que menciona la necesidad de vivir en armononía protegiendo los recursos naturales, invirtiendo en la conservación y en las soluciones basadas en la naturaleza y fortaleciendo nuestra comprensión cientìfica de los vínculos e interdependencia entre los seres humanos y naturaleza (PNUMA, 2022). Este capítulo busca ofrecer un marco conceptual básico que permita ligar los principios sobre el biomonitoreo con la gestión intergral de los recursos hídricos para proponer áreas de oportunidad entre estos dos abordajes en beneficio de la salud de los ecosistemas acuáticos en la Megalópolis de México.

Bioindicadores de los recursos hídricos

El abordaje de la bioindicación tiene principios similares en cualquier ecosistema, ya que lo que se busca es que una especie, una población, una comunidad o ensamble manifiesten una respuesta que puede ser desde la presencia, una modificación en el comportamiento o una modificación en la estructura comunitaria como resultado de un contexto ambiental (Holi y Miller, 2011).

Como se mencionó anteriomente, no todas las formas de vida pueden ser seleccionadas como organismos bioindicadores. Independientemente del escenario ambiental las principales características de un organismo bioindicador son:

1. Buena capacidad bioindicadora: Proporcionar una respuesta medible, que además sea sensible a la perturbación o estrés ambiental sin que idealmente implique la mortalidad. La respuesta de un individuo de una especie bioindicadora es representativa de la población a la especie a la que pertenece. La respuesta biológica es proporcional al grado de impacto ambiental (Zaghloul et al. 2020).
2. Adecuado nivel de estudio: Deben ser organismos taxonómicamente bien documentados, lo que permita reconocerlos adecuadamente. Debe ser conocido su ciclo de vida, así como aspectos de su autoecología que permitan asociar factores ambientales que determinen su vulnerabilidad o resistencia a lo largo de estadios o etapas de vida (Jones, 2008; Buss y Vitorino, 2010).
3. Abundantes y comunes: Deben presentar densidades poblacionales adecuadas, con una distribución amplia en la región ambiental de estudio y que posean estabilidad en términos de su presencia ante la variabilidad climática natural de una región ambiental (Carvalho et al. 2020).
4. De importancia económica, comercial y cultural: Las especies bioindicadoras adquieren una mayor relevancia cuando no sólo pueden ser capaces de reflejar cambios ambientales, si no además son aprovechadas como recursos comestibles o bien tienen importancia sociocultural (Burger et al. 2013).

La bioindicación o el uso de bioindicadores en ambientes acuáticos generalmente está relacionada a la evaluación de la calidad del agua o del hábitat (Parmar et al. 2016). Así mismo, se han instrumentalizado una gran diversidad de protocolos de biomonitoreo (Buss et al. 2015) e índices que permiten evaluar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos empleando organismos bioindicadores de diferentes grupos biológicos (López-López y Sedeño-Díaz, 2015; Goldschmidt, 2016; Prazeres et al. 2020; Araujo et al. 2021; Datto-Liberato et al. 2024; Maznikova et al. 2024).

Intersección entre la bioindicación y el biomonitoreo con la gestión de los recursos hídricos

La aplicación de los instrumentos de biomonitoreo y las bondades de la bioindicación han sido generalmente empleadas como estrategias de investigación y conservación; sin embargo, existen trabajos publicados que describen la interconexión de estos abordajes como instrumentos de regulación política para el uso de los recursos hídricos (He et al. 2000; Kenney et al. 2009). En una gran cantidad de países el biomonitoreo está incorporado dentro de la legislación ambiental (Resh, 2007; Buss et al. 2015) lo que permite que esta práctica sea reconocida e incluso requerida como un prinicipio de regulación y diagnóstico de la salud del ecosistema.

El uso de bioindicadores se puede insertar de manera importante dentro de uno de los principios de la gestión de los recursos hídricos que menciona la participación coordinada entre los tomadores de decisiones, gestores y usuarios del agua mediante la práctica del biomonitoreo participativo. El biomonitoreo participativo se define como una metodología que permite a la cuidadanía participar en el monitoreo de la calidad del agua de ambientes dulceacuícolas (Rodríguez-Contreras et al. 2024). Su base fundamental es el uso de organismos bioindicadores en vez o a la par (siempre que se cuente con algún recurso o apoyo institucional) de parámetros fisicoquímicos. El biomonitoreo participativo busca involucrar a toda la población por lo que requiere que el conocimiento generado a lo largo de varios años de investigación sea asequible a cualquier persona y se brinde la capacitación por parte de expertos y académicos en el reconocimiento de organismos bioindicadores y técnicas de colecta (Itzep et al. 2009). Promueve la participación activa de actores y gestores relacionado a los recursos hídricos (Walteros, 2023) y por último, requiere contar con la participación y validación de la comunidad científica para que la información obtenida sea confiable y se puedan instrumentar estrategias de conservación o rehabilitación.

Megalópolis de México

La Megalópolis de México se compone de 10 áreas metropolitanas que incluyen a la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en su último censo de población y vivienda (INEGI, 2020) alberga una población de 34,905,667 habitantes y además de ser una de las principales zonas urbanas e industriales de México tambien alberga una gran cantidad de problemáticas ambientales (De las Heras et al. 2020). En esta región existe la Comisión Ambiental de la Megalopolis (CAMe) que fue creada en 2013 por conductode la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) como un instrumento de gestión regional para armonizar las políticas de calidad del aire, como tema principal de trabajo (CAMe, 2024). A casi 10 años de trabajo, durante el último periodo de la CAMe (16 de mayo de 2019 a la fecha) sólo existen dos proyectos coordinados mediante esta comisión; uno sobre la red piezométrica y calidad del agua en el Valle del Mezquital y otro sobre la dimensión y mejoramiento de la calidad del agua de la presa Endhó (CAMe, 2024). Lo anterior denota una enorme brecha del trabajo coordindado que podría hacerse en materia de gestión de recursos hídricos en esta zona del país.

La megalopolis de México como una unidad del territorio artificial tiene influencia en 17 cuencas hidrográfica (CONAFOR, 2022), lo cual hace la de la GIRH un desafío grande. De acuerdo con Red Internacional de Organismos de Cuenca (RIOC, 2024) la unidad hidrológica más adecuada para la GIRH es a nivel de cuenca debido a que esta es o debería ser considerada como la unidad del territorio sobre la cual no sólo se gestione el agua, si no todos los recursos naturales. La GIRH a nivel de cuenca debe incluir la adaptación al cambio climático y la preservación de la biodiversidad, siendo estos dos aspectos aún escasos en proyectos vigentes dentro de la Megalópolis de México.

Biomonitoreo en la Megalópolis de México

El biomonitoreo participativo en America Latina y desde luego en México se encuentra en una etapa temprana a diferencia de otros países del mundo (Walteros, 2019 y 2023); sin embargo, existen bases importantes en México y dentro de la Megalópolis de México que se discuten a continuación.

Existen trabajos que han empleado el biomonitoreo en cuencas y subcuencas dentro de la Megalópolis de México. Trabajos que destacan la importancia a nivel ecológico de bioindicadores con peces (Trujillo-Jiménez et al. 2010; Mercado-Silva et al. 2022), macroinvertebrados acuáticos (Carmona-Jiménez y Caro-Borrero, 2017; Ruiz-Picos et al. 2017), algas (Caro-Borrero y Carmona-Jiménez, 2019), anfibios (Piñon-Flores et al. 2021) e incluso aves (Ibarra-Meza et al. 2022). Todos estos trabajos reunen los elementos técnicos necesarios para ser trasladados a la aplicación de herramientas de gestión, ya que describen procedimientos claros y estadísticamente robustos para sustentar la base del biomonitoreo y la capacidad bioindicadora de organismos para evaluar la salud ecosistemica.

Cualquiera de los trabajos previamente citados son potencialmente aplicables a programas de biomonitoreo participativo. Algunos ejemplos exitosos para incoporar el biomonitoreo participativo como herramienta de GIRH son las jornadas de observación que reunen a expertos, aficionados y público

en general en eventos que tienen una exposición nacional e internacional como el River BioBlitz (GWG, 2024), Odanotolimpiadas (Odonata Central, 2024), INaturalist (INaturalistMX, 2024), AverAves (AvesMx, 2024), entre otras.

En la Ciudad de México existen trabajos que han evaluado el valor económico de los organismos bioindicadores en ríos periurbanos, así como la importancia que tienen en la provisión de los servicios ecositémicos (Angela et al. 2015; Jujnovsky et al. 2017). Este trabajo podría ser uno de los pocos dentro de la Megalópolis que traducen la base técnica y científica en una herramienta de gestión que puede ser aplicable e incorporada en programas de evaluación local y a nivel regional.

La construcción de índices para evaluar el estado de salud de los ecosistemas acuáticos enfocados a la Megalopolis de México es prácticamente nula debido a la heterogeneidad de condiciones ambientales y contextuales para cada cuenca y subcuencas dentro de la Megalópolis. De Las Heras et al. (2020) evaluaron la diversidad espacial de la propuesta de un índice de sustentabilidad ambiental empleando 35 indicadores, dentro de los cuales se incluyen en materia de agua, la cobertura en términos del porcentaje de viviendas con acceso al agua potable, la disponibilidad de recursos hídricos en términos del volumen concesionado, la cobertura del alcantarillado en términos del porcentaje de viviendas con sistema de drenaje y el único indicador relacionado con un aspecto de contaminación es la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno. Si bien es cierto, que estos son algunos de los esfuerzos que plantean bases aplicables que puden ser incorporadas a los modelos de GIRH, aun hace falta mucho por hacer, ya que no se incorporan expecificamente la capacidad bioindicadora de organismos acuáticos.

Problemáticas y oportunidades

La crisis del agua no sólo es en términos de su disponibilidad y acceso; si no también en términos de su calidad. La calidad del agua a lo largo de la Megalópolis de México es un tema de preocupación vigente. Como parte de la agenda ambiental del gobierno 2024-2030 se incluyen la restauración de los tres ríos más contaminados de México (Río Lerma-Santiago, Río Atoyac y Río Tula), los cuales además se encuentran dentro de la Megalópolis de México. Sin embargo, las estrategias de rehabilitación no sólo deben garantizar agua de mejor calidad, si no reestablecer funciones ecosistémicas que permitan que el flujo de materia y energía promueva ecosistemas sanos que ofrezcan servicios ecosistémicos plenos.

El gobierno de la Ciudad de México para su gestión 2024-2030 transformo el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) en la nueva Secretaría de Gestión Integral del Agua, lo cual debe representar un compromiso no sólo en términos de garantizar la disponibilidad y los servicios de drenaje y tratamiento; tambien bajo el modelo de GIRH debe considerarse la evaluación de la salud de los ecosistemas acuáticos que proveen el recurso a las poblaciones beneficiadas. Finalmente, en la Tabla 1 se resumen algunos aspectos claves abordados en este capítulo.

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
El modelo conceptual de GIRH involucra aspectos relacionado con la biodiversidad que no son aplicados en la práctica	Se cuenta con una base técnica y de validez estadística que permitiría integrar aspectos de la biodiversidad a la GIRH
A pesar de que existen las bases técnicas sobre las bondades y ventajas del biomonitoreo, no se ha logrado articular estos esfuerzos en herramientas aplicables	Es posible la intersección entre las bases técnicas y la aplicación del biomonitoreo como herramienta de GIRH con apoyo transdisciplinario
La Megalópolis de México poseen una compleja heterogeneidad de recursos hídricos con diferente nivel de presión	Los instrumentos de biomonitoreo deben ser diseñados, validados y aplicados a nivel de cuenca
Existen pocos trabajos de investigación sobre biomonitoreo en cuerpos de agua de la Megalópolis	Se requieren esfuerzos de investigación en los diferentes cuerpos de agua de la Megalópolis

Son insuficientes los proyectos que involucren el biomonitoreo en la gestión integral del agua	Crear proyectos multidisciplinarios e interinstitucionales que involucren el biomonitoreo en la toma de decisiones y la gestión integral del agua

Referencias bibliográficas

Alvarenga, P., Clemente, R., Garbisu, C., & Becerril, J. M. (2018). Indicators for monitoring mine site rehabilitation. In Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation (pp. 49-66). Elsevier.

Angela, C. B., Javier, C. J., Teresa, G. M., & Marisa, M. H. (2015). Hydrological evaluation of a peri-urban stream and its impact on ecosystem services potential. Global Ecology and Conservation, 3, 628-644.

Araújo, R., Vázquez Calderón, F., Sánchez López, J., Azevedo, I. C., Bruhn, A., Fluch, S., ... & Ullmann, J. (2021). Current status of the algae production industry in Europe: an emerging sector of the blue bioeconomy. Frontiers in Marine Science, 7, 626389.

AvesMx. (2024). AverAves. https://avesmx.conabio.gob.mx/

Burger, J., Gochfeld, M., Powers, C. W., Clarke, J. H., Brown, K., Kosson, D., ... & Pittfield, T. (2013). Determining environmental impacts for sensitive species: Using iconic species as bioindicators for management and policy.

Buss, D. F., & Vitorino, A. S. (2010). Rapid bioassessment protocols using benthic macroinvertebrates in Brazil: evaluation of taxonomic sufficiency. Journal of the North American Benthological Society, 29(2), 562-571

Buss, D. F., Carlisle, D. M., Chon, T. S., Culp, J., Harding, J. S., Keizer-Vlek, H. E., ... & Hughes, R. M. (2015). Stream biomonitoring using macroinvertebrates around the globe: a comparison of large-scale programs. Environmental monitoring and assessment, 187, 1-21.

Buss, D. F., Carlisle, D. M., Chon, T. S., Culp, J., Harding, J. S., Keizer-Vlek, H. E., ... & Hughes, R. M. (2015). Stream biomonitoring using macroinvertebrates around the globe: a comparison of large-scale programs. Environmental monitoring and assessment, 187, 1-21.

CAMe. (2024). Comisión Ambiental de la Megalópolis: 10 años de trabajo. https://www.gob.mx/comisionambiental/documentos/comision-ambiental-de-la-megalopolis-10-anos-de-trabajo?idiom=es

Carmona-Jiménez, J., & Caro-Borrero, A. (2017). The last peri-urban rivers of the Mexico Basin: establishment of potential reference conditions through the evaluation of ecological quality and biological indicators. Revista mexicana de biodiversidad, 88(2), 425-436.

Caro-Borrero, A., & Carmona-Jiménez, J. (2019). The use of macroinvertebrates and algae as indicators of riparian ecosystem services in the Mexican Basin: a morpho-functional approach. Urban ecosystems, 22(6), 1187-1200.

Carvalho, R. L., Andersen, A. N., Anjos, D. V., Pacheco, R., Chagas, L., & Vasconcelos, H. L. (2020). Understanding what bioindicators are actually indicating: Linking disturbance responses to ecological traits of dung beetles and ants. Ecological Indicators, 108, 105764.

CONAFOR. 2022. Cuencas y subcuencas en la Megalópolis elaborado en 2021. https://idefor.cnf.gob.mx/layers/geonode%3Acuencas_y_subcuencas_meglp#more

Datto-Liberato, F. H., Lopez, V. M., Quinaia, T., do Valle Junior, R. F., Samways, M. J., Juen, L., ... & Guillermo-Ferreira, R. (2024). Total environment sentinels: Dragonflies as ambivalent/amphibiotic bioindicators of damage to soil and freshwater. Science of The Total Environment, 934, 173110.

De Las Heras Gutiérrez, D., Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E. G., & Campos Alanís, J. (2020). Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México.

De Las Heras Gutiérrez, D., Adame Martínez, S., Cadena Vargas, E. G., & Campos Alanís, J. (2020). Análisis espacial del Índice de Sustentabilidad Ambiental Urbana en la Megalópolis de México.

Giordano, M., & Shah, T. (2017). From IWRM back to integrated water resources management. In Revisiting Integrated Water Resources Management (pp. 4-16). Routledge.

Goldschmidt, T. (2016). Water mites (Acari, Hydrachnidia): powerful but widely neglected bioindicators–a review. Neotropical Biodiversity, 2(1), 12-25.

GWG Bioblitz. (2024). INaturalistMX. https://mexico.inaturalist.org/projects/gwg-bioblitz-2024

He, C., Malcolm, S. B., Dahlberg, K. A., & Fu, B. (2000). A conceptual framework for integrating hydrological and biological indicators into watershed management. Landscape and Urban Planning, 49(1-2), 25-34.

Ibarra-Meza, I., Barrera-Huertas, H. A., & López-López, E. (2022). Atmospheric pollution assessment using polar graphs and its relationship with the bird community from the sierra de guadalupe, Mexico (initial data). Environmental Science and Pollution Research, 29(41), 61711-61728.

INaturalistMX. (2024). Naturalista México. https://mexico.inaturalist.org/

INEGI. (2020). Censo de población y vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

Itzep, J., Solis, R., Kohlmann, B., & Russo, R. O. (2009). Manejo de bioindicadores de calidad de aguas en comunidades rurales. Tierra Tropical, 5(1), 77-88.

IWRM Action Hub (2024). https://iwrmactionhub.org/about/iwrm-explained

Jones, F. C. (2008). Taxonomic sufficiency: the influence of taxonomic resolution on freshwater bioassessments using benthic macroinvertebrates. Environmental Reviews, 16(NA), 45-69.

Jujnovsky, J., Ramos, A., Caro-Borrero, Á., Mazari-Hiriart, M., Maass, M., & Almeida-Leñero, L. (2017). Water assessment in a peri-urban watershed in Mexico City: A focus on an ecosystem services approach. Ecosystem Services, 24, 91-100.

López-López, E., & Sedeño-Díaz, J. E. (2015). Biological indicators of water quality: The role of fish and macroinvertebrates as indicators of water quality. Environmental indicators, 643-661.

Maznikova, V. N., Ormerod, S. J., & Gómez-Serrano, M. Á. (2024). Birds as bioindicators of river pollution and beyond: specific and general lessons from an apex predator. Ecological Indicators, 158, 111366.

Mercado-Silva, N., Lyons, J. D., Maldonado, G. S., & Nava, M. M. (2002). Validation of a fish-based index of biotic integrity for streams and rivers of central Mexico. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 12, 179-191.

Nordén, B., & Appelqvist, T. (2001). Conceptual problems of ecological con-

tinuity and its bioindicators. Biodiversity & Conservation, 10, 779-791.
Odonata Central. (2024). The Odolympics. https://www.odonatacentral.org/odolympics/#/
Parmar, T. K., Rawtani, D., & Agrawal, Y. K. (2016). Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. Frontiers in life science, 9(2), 110-118.
Piñon-Flores, M. A., Suazo-Ortuño, I., Ramírez-Herrejón, J. P., Moncayo-Estrada, R., & del-Val, E. (2021). Habitat, water quality or geomorphological degradation in the streams: Which is most important for conserving an endemic amphibian of Central Mexico?. Journal for Nature Conservation, 64, 126063.
PNUMA. (2022). Convention of Biological Diversity. https://www.cbd.int/doc/recommendations/wg2020-03/wg2020-03-rec-01-en.pdf
Prazeres, M., Martínez-Colón, M., & Hallock, P. (2020). Foraminifera as bioindicators of water quality: The FoRAM Index revisited. Environmental Pollution, 257, 113612.
Red Internacional de Organismos de Cuenca. 2024. Los pilares de la GIRH. https://www.inbo-news.org/es/nuestro-enfoque-de-la-girh/los-pilares-de-la-girh/#:~:text=GIRH%20a%20nivel%20de%20cuenca%20debe%20incluir%20la%20adaptaci%C3%B3n%20al,a%20la%20acci%C3%B3n%20para%20erradicar
Rodríguez-Contreras, F. E., Martínez Rivera, L. M., & Flores-Silva, A. (2024). Participatory processes to community environmental biomonitoring in the Cuitzmala and Purificación basins, Mexico. Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento, 12(26).
Ruiz-Picos, R. A., Kohlmann, B., Sedeño-Díaz, J. E., & López-López, E. (2017). Assessing ecological impairments in Neotropical rivers of Mexico: calibration and validation of the Biomonitoring Working Party Index. International Journal of Environmental Science and Technology, 14, 1835-1852.
Trujillo-Jiménez, P., López-López, E., Díaz-Pardo, E., & Camargo, J. A. (2010). Patterns in the distribution of fish assemblages in Río Amacuzac, Mexico: influence of abiotic factors and biotic factors. Reviews in Fish biology and Fisheries, 20, 457-469.
Vadas Jr, R. L., Hughes, R. M., Bae, Y. J., Baek, M. J., Gonzáles, O. C. B., Callisto, M., ... & Yoder, C. O. (2022). Assemblage-based biomonitoring of freshwater ecosystem health via multimetric indices: A critical review and suggestions for improving their applicability. Water Biology and Security, 1(3), 100054.
Walteros, J. (2019). Biomonitoreo acuático participativo, una estrategia para promover la ciencia ciudadana. Bio-grafía, 1235-1245.
Walteros, J. (2023). Una revisión sobre el biomonitoreo acuático participativo en América Latina y el Caribe. Acta Biológica Colombiana, 28(2), 178-188.
Zaghloul, A., Saber, M., Gadow, S., & Awad, F. (2020). Biological indicators for pollution detection in terrestrial and aquatic ecosystems. Bulletin of the National Research Centre, 44(1), 1-11.

4 Reserva de la biosfera del Centro de México y el abasto de agua a la Megalópolis

Fernando Jaramillo Monroy, posdoctorado CRIM UNAM, fernando.jaramillo@crim.unam.mx

Hipótesis

El espacio geográfico de las sierras que rodean a la capital de la República Mexicana constituye una estructura cuya dinámica disipativa queda definida por las interdependencias determinadas entre la localización geográfica, la historia geológica, las formas relieve, los tipos de climas, los recursos de agua, la biodiversidad y las actividades antrópicas. El establecimiento en dicho espacio de una reserva de la biósfera representa la posibilidad de mantener beneficios sociales y naturales, principalmente el abasto de agua en la zona más densamente poblada de los Estados Unidos Mexicanos que abarca la Ciudad de México, los estados de México, Morelos y partes de los estados de Tlaxcala y Puebla.

Introducción

Los ecosistemas montañosos son importantes no sólo para quienes los habitan, sino para millones de personas que viven en tierras bajas por la recarga de acuíferos y la protección ante inundaciones. A escala mundial, el mayor valor de las montañas representa el origen de todos los grandes ríos (Mountain Agenda, 1998). Las montañas desempeñan un papel esencial en el ciclo del agua al captar la humedad de las masas de aire, lo que fomenta la precipitación, otorgando agua a las poblaciones, los ecosistemas, cultivos e industrias cuenca abajo. Durante el periodo de menor pluviosidad más del 90 por ciento de los caudales fluviales provienen de las montañas (Price, 1998). Los ecosistemas de montaña son cruciales como centros mundiales de diversidad biológica, dado que la mayor diversidad de especies vegetales vasculares se da en las montañas (Barthlott, Lauer y Placke, 1996).

Entre los principales instrumentos de conservación de la biodiversidad se ha desarrollado el establecimiento y manejo de áreas naturales protegidas (ANP) (IUCN y WCPA, 2019; Hilty et al., 2021). Diversos estudios demuestran que las ANP de mayor tamaño y funcionalmente conectadas tienen mayores probabilidades de conservar un número amplio de especies y grandes extensiones de ecosistemas y hábitats (Hilty et al., 2021; Resasco, 2019).
A nivel internacional se considera que el mantenimiento y la restauración de la conectividad ecológicas son fundamentales para la conservación de la biodiversidad y sus funciones, cuyos servicios son irreemplazables como la provisión de agua (Hilty et al., 2021). A nivel nacional, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad establece que se debe priorizar la conservación de las áreas naturales in situ, fortaleciendo y consolidando las redes de áreas protegidas (CONABIO, 2012). Las políticas públicas de conectividad de ecosistemas aseguran la continuidad de procesos ecológicos, conserva y recupera el vínculo de cuencas y microcuencas hidrográficas (CONABIO, 2016). El cambio de uso de suelo y la fragmentación de los ecosistemas naturales son causa directa de la pérdida de biodiversidad y la reducción de la humedad atmosférica. Por ello, luchar contra la fragmentación del paisaje y propiciar la conectividad ecológica de fragmentos aislados es una acción de alta prioridad (CONABIO, 2022).

Entre los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ONU, 2018) se establecen, entre otras prioridades las siguientes: garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos (Objetivo 6), lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles (Objetivo 11), gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad (Objetivo 15).

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Diversidad Biológica (COP15) realizada en Kunming, Montreal (Canadá) en diciembre de 2022, se llegó a un acuerdo histórico para orientar las acciones mundiales en favor de la naturaleza de aquí al 2030. Se estableció un plan estratégico que incluye “medidas concretas para detener y revertir la pérdida de la naturaleza, incluida la protección del 30% del planeta y el 30% de los ecosistemas degradados para 2030” (ONU, 2022, p.1).

La mayoría de las metas nacionales y regionales de conservación de la biodiversidad, mitigación del cambio climático y sostenibilidad ambiental no podrán cumplirse si no se incorporan los aspectos de conectividad. La conectividad es indispensable para alcanzar los objetivos del Convenio sobre la Diversidad Biológica (Hilty et al., 2021, p. 50).

En la Visión Nacional de Manejo Integrado del Paisaje y Conectividad se establece que:
"….para el año 2030, en una cuarta parte de la superficie de México se tomarán las decisiones sobre la gestión territorial de manera articulada y adaptativa desde los paisajes terrestres, tanto rurales como urbanos. Éstos se conectan y manejan integralmente por medio de procesos de negociación y colaboración que valoran y vinculan los intereses de todos los actores…." (SEMARNAT, CONABIO, CONAFOR Y CONANP, 2017, p. 6).

Dentro de este contexto, se propone la conservación y conectividad de los ecosistemas montañosos de las serranías que conforman el Bosque de Agua (Jaramillo et al. 2024). Estos ecosistemas son estratégicos para la conservación de la biodiversidad y los servicios ambientales, especialmente el agua que garantice la sostenibilidad ambiental de la Megalópolis del Centro de México (Jaramillo et al., 2024, Oswald, 2024).

Delgadillo y Torres (1993) hacen una síntesis de los conceptos más usuales referentes al término región. Conceptualizan varios tipos de regiones entre las que se encuentran las nodales, de rasgo simple, de rasgos múltiples, formales, de programa, polarizadas, geográficas, económico-administrativas, histórico-económicas, socioeconómicas, naturales y geomorfológicas.

Es evidente que el territorio que ocupan las sierras que delimitan el norte de Morelos, el sur y poniente de la Ciudad de México y el oriente del estado de México puede ser regionalizado como alguna o como parte de algunas de las conceptualizaciones existentes. En este trabajo enfocamos hacia el tema de recursos y región, que se considera desde el punto de vista de los recursos naturales. Estas sierras forman parte de un territorio mas basto con ciertos caracteres físicos uniformes y distintivos. En dicho territorio, por medio de este documento, se plantea la conveniencia de crear y manejar la Reserva de la Biósfera del Centro de México (REBICEMEX), lo que beneficiaría a casi el 40 % de las y los mexicanos, ya que se ubica en la parte alta de cuatro de las más importantes cuencas del país, la de México, a la que pertenece la capital del país y su área conurbada, la del río Lerma, a la que pertenece la capital y poblaciones del Estado de México hasta el lago de Chapala, la del río Balsas, a la que pertenecen las capitales y poblaciones de los estados de Puebla y Morelos y la del río Panuco. De estas cuencas, sólo el Balsas desemboca al océano Pacífico.

Localización de la zona de estudio.

La zona de estudio donde se propone el establecimiento de la REBICEMEX se localiza en los terrenos montañosos del sur, este y oeste de las cuencas de México, del Valle de Toluca y del norte del estado de Morelos (ver Figura 1). La porción sureste se sitúa en parte de las fronteras entre los estados de Morelos, Puebla y México, se identifica con la Sierra Nevada que cuenta con algunos de los volcanes más altos de la República Mexicana, tales como los que integran los parques nacionales Iztaccíhuatl-Popocatépetl y Zoquiapan y Anexas.

La zona norte se ubica en la Sierra de las Cruces. La porción sur se ubica en parte de los límites entre los estados de Morelos, México y la Ciudad de México. Se identifica con las sierras del Ajusco, Chichinautzin y Zempoala, en los terrenos correspondientes al Área de Protección de la Flora y Fauna Silvestres Corredor Biológico Chichinautzin y a los parques nacionales El Tepozteco y Lagunas de Zempoala. Las ANP del sur de la Ciudad de México incluyen las Cumbres del Ajusco, El Tepeyac, Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, los Remedios, Desierto de los Leones, y las ANP estatales y comunitarias del sur de la Ciudad de México.

La porción suroeste y oeste se localiza en parte entre los límites del Estado de Morelos y el Estado de México, en la zona suroeste de la Sierra del Chichinautzin-Nevado de Toluca, en las áreas correspondientes al ANP Nevado de Toluca, el ANP Valle de Bravo y las reservas estatales del estado de México Otomí-Mexica y Nahuatlaca-Matlaltzinca, y ANP de competencia federal y estatal.

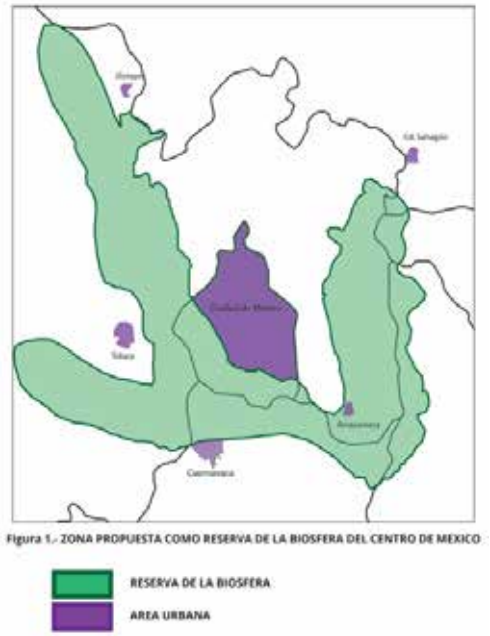


Figura 1.- ZONA PROPUESTA COMO RESERVA DE LA BIOSFERA DEL CENTRO DE MEXICO

Las áreas naturales protegidas

Ha sido histórico el interés por proteger las áreas forestales que rodean a la Ciudad de México (Vargas, 1984). Sin embargo, el establecimiento de propuestas integrales para delimitarlas, conservarlas y manejarlas ha respondido a contradictorios intereses políticos, economicos, sociales, agrarios, etc. lo que se ha traducido en una falta de planificación integrada del territorio, el agua y la biodiversidad. Como ejemplos tenemos los casos de los parques nacionales del Ajusco, de Lagunas de Zempoala, del Popo-Izta y del Corredor Biológico Chichinautzin. El Parque Nacional Lagunas de Zempoala fue originalmente establecido en un área de 22,700 hectáreas y abarcaba desde la Serranía del Ajusco hasta las Lagunas de Zempoala (DOF, 1936a). Sin embargo, en 1947 durante la administración del presidente Miguel Alemán, la superficie del parque fue reducida a tan solo 4,790 hectáreas (Melo Gallegos, 1988; DOF, 1947a).

Igualmente sucedió con el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, cuyo decreto original de 1936 (DOF, 1936b), abarcaba más de 25,000 hectáreas y junto con el Parque Nacional Lagunas de Zempoala, constituían un corredor biológico entre las Sierras del Ajusco, Zempoala y el Chichinautzin. Sin embargo, en 1947 (DOF, 1947b) por decreto presidencial se modificaron los limites del Parque para reducirlos a un área de 900 hectáreas. El propósito principal de la reducción del área de estos dos parques nacionales fue favorecer el aprovechamiento de los bosques para el abastecimiento de madera a la fábrica de papel de Loreto y Peña Pobre.

El Parque Nacional Izta Popo fue creado el 8 de noviembre de 1935, con el fin de proteger la parte alta de las cuencas hidrográficas que abastecen de agua a los valles de México, Puebla-Tlaxcala y Morelos. El 13 de marzo de 1937, se incorporan al Parque los terrenos forestales de las haciendas de Zoquiapan, Ixtlahuacán y Río Frío. Para ambos decretos se determinó que el área protegida se creaba a partir de los 3,000 msnm, sin especificar la superficie. Estudios posteriores calcularon que esa superficie correspondía a 89,800 hectáreas. Sin embargo, el 11 de febrero de 1948, el presidente Miguel Alemán emitió un decreto a favor de la fábrica de papel San Rafael para la explotación forestal en la región, y se modificaron los linderos del parque nacional reduciendo su superficie a menos de la mitad del territorio original (39,820 hectáreas) (CONANP, 2024). Cabe destacar que el primero de junio de 2010 el Consejo Internacional de Coordinación del Programa del Hombre y la Biosfera (MAB) de la UNESCO designó la Reserva de la Biosfera Los Volcanes, la cual abarca una superficie de 171 774 ha e incluye Parque Nacional Izta Popo (SEMARNAT 2024).

El Área de Protección de Flora y Fauna Silvestre “Corredor Biológico Chichinautzin” se concibió originalmente para proteger los recursos naturales de la serranía ubicada entre los cerros del Ajusco y Chichinautzin, estableciendo un verdadero corredor biológico protegido. No obstante, por desacuerdos interestatales el área natural decretada solo se circunscribió a la protección de la porción de la sierra ubicada dentro del territorio del Estado de Morelos, quedando sin protección la mayor parte de la sierra que se ubica en la Ciudad de México (UAM, 1995).

Es importante mencionar que en el espacio propuesto como REBICEMEX (Figura 1), las ANP fueron decretadas en su mayoría por el presidente de la República Lázaro Cárdenas como zonas de protección forestal, de cuencas, de biodiversidad, cuyos decretos están en vigor y son los siguientes:

Zona Protectora Forestal (ZPF) de Cuernavaca (DOF 1937), ZPF de los terrenos que forman la cuenca hidrográfica del Valle de México (DOF, 1933), ZPF de las cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malaca-

tepec, Tilostoc y Temascaltepec, Mex. (DOF, 1941), ZPF los terrenos cubiertos de arbolado, situados en las Cuencas Hidrográficas de los Sistemas Nacionales de Riego en construcción y proyecto (DOF, 1934), ZPF y de repoblación de las cuencas de alimentación de las obras de irrigación de los distritos nacionales de riego, donde se estableció una veda total e indefinida en los montes ubicados dentro de dichas cuencas (DOF, 1949).

Estas ZPF se pueden recategorizar para el establecimiento de la REBICEMEX siguiendo el procedimiento establecido en los artículos transitorios de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de la Protección al Ambiente (LGEEPA).

Riqueza biológica e hidrológica

En el polígono de la propuesta de la REBICEMEX se ubican 3 de las regiones prioritarias para la conservación de la biodiversidad de México, establecidas por CONABIO (2016, 2024), que cubren en total un área de 402,565 hectáreas y el 90% de esta área se ubica dentro del polígono de la REBICEMEX. Estas regiones son la 109 Ajusco Chichinautzin que es la de mayor diversidad de especies y ecosistemas, seguida por la región 107 Nevado de Toluca y la 108 Sierra Nevada.

Con base en los estudios del estado sobre la diversidad biológica en los estados de Morelos, México y la Ciudad de México (CONABIO, Gobierno del Estado de Morelos, 2020; Ceballos, G. R Lists, et al., 2009; CONABIO y Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016) se puede concluir que las tres entidades contienen una gran diversidad de especies de flora y fauna, que es equivalente a aproximadamente 17.5%, 9.5% y 6% respectivamente, de las especies registradas para nuestro país. Es importante destacar que estas 3 entidades representan 0.2%, 1% y 0.07% del territorio nacional, respectivamente. Se considera que la mayor parte de las especies registradas en estas 3 entidades se distribuyen en la región propuesta para la REBICEMEX.

La región de la REBICEMEX se ubica dentro de las regiones del país con mayores índices de importancia biológica, de riesgo, de respuesta y de prioridad para la conservación de la biodiversidad de México (CONABIO, CONANP, TNC, PNM, UANL, SEMARNAT y CDB, 2007). Dentro y colindando con el polígono de la REBICEMEX se ubican 10 áreas clave para la biodiversidad (KBA) que se han definido a nivel mundial (Birdlife, 2024). La KBA del Sur del Valle de México, es la que tiene mayor diversidad de especies y ecosistemas. Estas 10 KBA tienen una extensión total de 489,384.80 hectáreas, de los cuales 80% se ubican dentro del polígono de la REBICEMEX.

Dentro y colindando con el polígono de la REBICEMEX se ubican 5 regiones hidrológicas prioritarias a nivel nacional, establecidas por la CONABIO (Arriaga et al. 2002). Cubren un área total de 1,453,684.82 hectáreas de las cuales el 32.87 % se ubican dentro de la REBICEMEX y el resto es aledaño y vinculado hidrogeológicamente a la REBICEMEX. Estas regiones son de mayor a menor extensión del área dentro del polígono de la REBICEMEX, las siguientes: Región 11 Lagos cráter del Nevado de Toluca, Región 7 Humedales de Jilotepec-Ixtlahuaca, Región 9 Cabecera del Río Lerma, Región 10 Río Amacuzac - Lagunas de Zempoala y Región 8 Remanentes del complejo lacustre de la Cuenca de México.

Las serranías en donde se ubica la propuesta de REBICEMEX tienen en conjunto la forma de W y son las del Chichinautzin-Las Cruces al centro, la Sierra Nevada al Oriente y del Nevado de Toluca al Poniente (Figura 1). De estas serranías se recargan de agua 11 acuíferos que abastecen a la Megalópolis del Centro de México.

Propuestas para la protección de los recursos naturales del Bosque de Agua

En la Tabla 1 se presentan los principales problemas para la conservación del Bosque de Agua. La solución a estos problemas requiere de iniciar un magno proceso que incida en los ámbitos legales, políticos, administrativos y socioeconómicos para impulsar la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales del Bosque de Agua. Entre las principales propuestas, se consideran las siguientes:

1. El ordenamiento ecológico del uso del suelo y establecer un plan regional de conservación de los recursos naturales con una visión de cuencas hidrológicas;
2. Impulso a programas de producción y aprovechamiento sostenible de la vida silvestre (criaderos de fauna, cultivos de hongos, cultivos de orquídeas, etc.);
3. Programas de ordenamiento y manejo forestal para el aprovechamiento sostenible de los eco-

sistemas forestales;

4. Desarrollo del ecoturismo como una alternativa viable para generar empresas que beneficien a las comunidades locales mediante actividades recreativas para los habitantes de la megalópolis;
5. Elaboración y puesta en marcha de los programas de manejo, consensuados con las comunidades locales, para cada una de las áreas naturales protegidas (ANP) existentes en el Bosque de Agua y principalmente, dotar de los recursos humanos, materiales y presupuestales a estas ANP para que efectivamente funcionen;
6. Puesta en marcha de un programa permanente de concientización pública para que la conservación y el uso sostenible de las áreas naturales del Bosque de Agua lleguen a formar parte de la cultura de los habitantes de la Megalópolis del Centro de México como un aliado para la sustentabildad ambiental de la región;
7. Establecer estímulos económicos para que las empresas, propietarios ó poseedores de la tierra y los particulares destinen apoyos económicos y de otra índole, a la conservación y uso sostenible de las ANP;
8. Establecer impuestos diferenciados para los usuarios y beneficiarios de los servicios ambientales (por ejemplo, por uso del agua) y dichos impuestos sean directamente destinados a la conservación y manejo de las ANP, a través de proyectos que generen mano de obra, acciones de uso sostenible y de restauración de los recursos degradados (bosques, fauna, suelos, etc.).
9. Apoyar el desarrollo de la investigación científica y técnica para complementar los inventarios de recursos naturales y el desarrollo de metodologías y estrategias de su conservación y aprovechamiento sostenible;
10. Diseño y puesta en marcha de un plan de desarrollo socioeconómico que promueva elevar el nivel de vida de los habitantes que viven dentro o alrededor de las áreas naturales y que dicho plan esté en armonía con la conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

La Reserva de la Biosfera del Centro de México

En cuatro encuentros de representantes de los pueblos del Bosque de Agua que se han realizado entre 2022 y 2024, se han hecho propuestas para que se gestione con el gobierno la protección del Bosque de Agua estableciéndolo y manejándolo como un área natural protegida (Jaramillo et al. 2024)

Una alternativa para integrar las propuestas antes mencionadas, es a través del establecimiento y manejo de una reserva de la biosfera, ya que, desde el punto de vista legal, político, de conservación y uso sostenible de recursos naturales y de desarrollo socioeconómico, puede ser una opción viable capaz de integrar los esfuerzos para proteger y restaurar los recursos naturales, integrar a las áreas naturales protegidas y no protegidas en una unidad de conservación, con una visión y manejo integral auténticamente regional.

El conjunto de montañas ubicadas entre los límites de los estados de Puebla, Morelos, México y la Ciudad de México, denominada como Bosque de Agua, representa una región de vital importancia para el desarrollo actual y futuro de las poblaciones humanas que habitan en los taludes y planicies de tales elevaciones y de la Megalópolis del Centro de México, por lo que es urgente protegerlas legalmente y mediante acciones efectivas e integrales de manejo permanentes, que garanticen la conservación y uso sostenible de los recursos naturales.

Los ecosistemas forestales del área propuesta como reserva de la biosfera (Figura 1) son de vital importancia para el desarrollo social, económico, político, cultural, educativo y recreativo de las conurbaciones del Ciudad de México, de las ciudades de Puebla, Cuernavaca y Toluca y de las poblaciones que se encuentran aguas abajo de las montañas. En conjunto estos asentamientos humanos integran la zona más densamente poblada de la República Mexicana.

Los programas de ordenamiento ecológico territorial regionales de los estados de Morelos (Secretaría de Desarrollo Sustentable GEM, UAEM, 2013), de México (Gobierno del Estado de México, 2023) y del Distrito Federal 2000-2003 (Gobierno del Distrito Federal 2002), establecen para la mayor parte del área propuesta como REBICEMEX, políticas de usos del suelo de preservación, protección, conservación, restauración y de áreas naturales protegidas (en estas últimas el uso del suelo lo regulan los decretos y programas de manejo de las ANP).

En la Tabla 1 se presentan los principales problemas que enfrenta el Bosque de Agua. Se considera que el establecimiento de la REBICEMEX puede contribuir significativamente a resolver estos pro-

blemas y proteger y restaurar los ecosistemas forestales que se ubican entorno a la Megalópolis del Centro de México, favoreciendo la preservación del suelo, agua, aire, clima y la biodiversidad, que son vitales para mantener la calidad de vida del 40% de los mexicanos.

La REBICEMEX puede conectar las áreas naturales protegidas y no protegidas que se ubican en el Bosque de Agua. Dada la situación socioeconómica, política, legal y administrativa de la gran cantidad y diversidad de las áreas naturales protegidas, ubicadas en la zona de estudio, el establecimiento y manejo de la REBICEMEX permitiría integrar un esfuerzo regional de conservación de la naturaleza.

La experiencia del establecimiento y manejo de reservas de la biosfera en diversas partes del mundo, principalmente de los países en desarrollo y en México, ha sido una opción que ha permitido integrar diversos intereses políticos, científicos, socioeconómicos, conservacionistas y principalmente de participación de las comunidades locales y los dueños y poseedores de la tierra, en la planificación y manejo de las áreas naturales protegidas, así como en la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales.

El establecimiento de la REBICEMEX debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Proteger el suelo, controlando y evitando la erosión, a fin de asegurar el adecuado aprovechamiento de los recursos naturales existentes y evitar la sedimentación de las lagunas, humedales y cauces de los ríos.
- Contribuir a mantener y mejorar la calidad ambiental en el área de la reserva y su región de influencia de la Megalópolis del Centro de México, fomentando la protección y restauración de los ecosistemas.
- Promover el uso integral de los recursos naturales, a través del fomento de prácticas de conservación y uso sostenible de los recursos naturales, donde se combinan diversos tipos de uso y el aprovechamiento conjunto, entre diferentes sectores y organizaciones interesadas.
- Fomentar la investigación y el monitoreo ambiental, mediante planes y acciones que permitan lograr la protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales presentes en la reserva.
- Proteger áreas de gran valor escénico y panorámico y proporcionar oportunidades para la realización de actividades recreativas y ecoturísticas.
- Realizar actividades de extensión y educación ambiental tanto dentro de la reserva, como en las comunidades aledañas.

Para concretar estos objetivos se proponen las acciones siguientes:

1. Convocar a las autoridades federales, estatales y municipales para que de manera coordinada y con la participación de los dueños y poseedores de la tierra y de las comunidades indígenas y locales, se elabore y se ponga en marcha el ordenamiento ecológico territorial regional del área propuesta como reserva, que sea la base para integrar la conservación y el manejo de los recursos naturales con el desarrollo sustentable de la región.
2. Elaborar los estudios biofísicos, socioeconómicos, de delimitación y zonificación, necesarios para sustentar el estudio técnico justificativo del establecimiento de la reserva. Así mismo, el programa de manejo de la reserva sea consensuado con las comunidades, en atención a lo dispuesto en la LGEEPA y su reglamento en materia de ANP.
3. Restaurar las áreas degradadas mediante acciones de restauración de los ecosistemas.
4. 4. Realizar una amplia campaña de concientización pública para controlar la venta ilegal de tierras comunales y la urbanización de áreas de conservación ecológica.
5. Establecer mecanismos de coordinación que suman los esfuerzos entre los tres niveles de gobierno para vigilar el cumplimiento de estas acciones y prevenir y sancionar ilícitos.
6. 6. Apoyar a los grupos de investigación interesados en el establecimiento y manejo de la reserva, para que, en colaboración con otros sectores de la población, elaboren los estudios y planes de manejo que aseguren la gestión y sostenibilidad socio-ambiental de la reserva.

Actualmente, y con mayor razón a futuro, el abasto de agua de la Megalópolis del Centro de México depende de lograr conservar la estructura y funcionamiento de los ecosistemas de las serranías que se ubican en torno a la Megalópolis. Esto requiere de contar con instrumentos y mecanismos de participación y colaboración intersectorial e interestatal, para integrar un magno esfuerzo regional

de planificación y manejo integrado del territorio, el agua y la biodiversidad. El establecimiento y manejo de la REBICEMEX puede ser uno de las principales y mejores opciones de política pública y de instrumento legal que contribuya a la sostenibilidad hídrica y viabilidad ambiental de la Megalópolis del Centro de México.

Tabla 1. Problemáticas y oportunidades para el establecimiento y manejo de la Reserva de la Biosfera del Centro de México.

Problemáticas	Oportunidades
A pesar de la importancia estratégica del Bosque de Agua, son escasos los esfuerzos que se han hecho por conservarlo y manejar las áreas naturales protegidas, que ahí se encuentran	Gestionar con los nuevos gobiernos estatales (de CdMex, Mor. y Mex.) y federal, la incorporación en los planes de gobierno la suma de esfuerzos para la implementación de la Estrategia de conservación del Bosque de Agua
Existen diversas actividades humanas que están incidiendo negativamente sobre las áreas naturales protegidas o no, que se ubican en las serranías que forman el Bosque de Agua. Son principalmente: el incremento caótico de las zonas urbanas de la Ciudad de México, Cuernavaca y Toluca, desmontes con fines agropecuarios y de urbanización, la ganadería extensiva (especialmente la ovina) y el sobrepastoreo, la tala clandestina, los incendios y plagas forestales y la extracción de tierra y piedra.	Impulsar la creación de instancias de participación intersectorial vinculantes al quehacer de las dependencias gubernamentales como los comités de ordenamiento ecológico territorial, consejos consultivos de desarrollo sustentable, consejos de ANP, etc. a través de los cuales se gestione que las autoridades competentes cumplan efectivamente con la legislación y prevengan, actúen y sancionen los ilícitos ambientales. Promover reformas a las legislaciones para que las instancias de participación ciudadana sean vinculantes|
Hay varias Zonas Protectoras Forestales (ZPF) que cubren la mayor parte del área propuesta como REBICEMEX y aunque están decretadas y los decretos en vigor, no se reconocen oficialmente por la autoridad competente (SEMARNAT-CONANP) como parte de las ANP de México.	Gestionar que se dé cumplimiento a lo establecido en los artículos transitorios séptimo y octavo de la Ley General del Equilibrio Ecológico y de la Protección al Ambiente, para que las ZPF puedan ser reconocidas oficialmente como ANP y puedan sumarse a la conectividad del Bosque de Agua o en su caso, representan la base del estudio técnico justificativo para integrarlas en una sola declaratoria como parte de la REBICEMEX.
Algunas porciones de la región del Bosque de Agua son afectadas por una multitud de problemas que han establecido una tendencia hacia la destrucción de sus ecosistemas	Es prioritario detener el proceso de deterioro y destrucción de los suelos y los recursos forestales tanto dentro de las ANP como no protegidas del Bosque de Agua, a través de un ordenamiento del uso del suelo, consensuado entre las autoridades, propietarios y poseedores de la tierra y habitantes locales. Urge iniciar acciones de restauración de la vida silvestre y de proyectos productivos que permitan la conservación de los ecosistemas y den alternativas socio económicas viables a los habitantes del Bosque de Agua, y establecer una estrategia conjunta para restaurar y conservar la biodiversidad.
Se carecen de alternativas socioeconómicamente viables, que induzcan a las y los propietarios ó poseedores de la tierra, así como a las y los habitantes de estas sierras, a desarrollar actividades o acciones que favorezcan la conservación y el uso sostenible de los recursos bióticos en particular y de los recursos naturales en general.	Diversificar las actividades productivas de las comunidades rurales dentro de las ANP y su zona de influencia, a fin de generar fuentes alternas de ingresos económicos que permitan elevar su calidad de vida y a su vez, conserven y hagan un uso sostenible de los recursos naturales. Los proyectos productivos y de conservación deben incluir al menos tres requisitos: Primero, que sean pequeños y estén al alcance y bajo el control de las y los actores sociales involucrados. Segundo, que procuren la diversidad ecológica, social y cultural. Tercero, que se planteen a favor de los procesos naturales, es decir, que se respeten al máximo la estructura y funcionamiento de los ecosistemas y la evolución de las especies.

Los inventarios de flora y fauna y los estudios de estado sobre biodiversidad estan desactualizados para la Ciudad de México y el estado de México. Por otra parte, las tasas de perdida de ecosistemas forestales son preocupantes para el Bosque de Agua y para las entidades de las que forma parte. Se carecen de inventarios forestales y de usos del suelo actualizados y de estrategias para su monitoreo.	Se requiere desarrollar diversas investigaciones para el monitoreo a largo plazo de los recursos naturales, de tal forma que sea posible la evaluación de riesgo. Es importante gestionar y apoyar a los centros de investigación para desarrollar el monitoreo permanente del estatus de la vegetación y uso del suelo del Bosque de Agua, así como para actualizar los estudios de estado de la biodiversidad. Impulsar la implementación de actividades de mitigación y restauración ecológica y de conservación de los ecosistemas forestales del Bosque de Agua.
Parte del área propuesta como REBICEMEX está sujeta a decretos federales, estatales y municipales o a acuerdos comunitarios que las designan como ANP, existiendo 75 decretos de ANP. La mayor parte de estas ANP carece de los recursos necesarios para su manejo y conservación. Hay espacios que no están protegidos y que son estratégicos para la conectividad entre ANP porque son importantes por sus servicios ambientales.	Es necesario considerar este territorio como una sola región estratégica y prioritaria para su conservación en nuestro país, sujeta a un plan integral de manejo que asegure su protección. Elaborar el estudio técnico justificativo y la valoración de la pertinencia de integrar las ANP establecidas en el Bosque de Agua, así como los corredores biológicos e hidrológicos en una unidad de gestión integrada del territorio, el agua y la biodiversidad, como puede ser la REBICEMEX.

Agradecimientos

El presente trabajo se elaboró gracias al apoyo de la beca posdoctoral del CONAHCyT. Mi agradecimiento a la Dra. Úrsula Oswald Spring, Investigadora del CRIM-UNAM quien asesoro el desarrollo del trabajo. Agradezco al Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias de la UNAM por apoyar la estancia posdoctoral. Especial agradecimiento a Salvador Aguilar Benítez, al Biol. Jacob Conde Labastida y a Fernando Jaramillo Torres por su apoyo en la elaboración de este trabajo.

Referencias bibliográficas

Arriaga Cabrera, Laura; Aguilar Sierra, Verónica y Alcocer, Javier (Comps.) (2002). Regiones Hidrológicas prioritarias: Aguas continentales y diversidad biológica de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://bit.ly/3TxBCI4.

Barthlott, W., Lauer, W. y Placke, A. (1996). Global distribution of species diversity on vascular plants: towards a world map of phytodiversity. Erdkunde, 50: 317-327.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy-Programa México, Pronatura, A.C. y Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León (CONABIO, CONANP, TNC, Pronatura y FCF-UANL, 2007). Análisis de vacíos y omisiones en conservación de la biodiversidad terrestre de México: espacios y especies. CONABIO. https://bit.ly/3lA9Kgc

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (CONABIO, 2012). Capital Natural de México, acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación. CONABIO. https://bit.ly/44b4KlL

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (CONABIO, 2016). Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México, y Plan de Acción 2016-2030. CONABIO. https://bit.ly/4b6bPgd

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Gobierno del Estado de Morelos. (CONABIO, 2020). La Biodiversidad en Morelos, Estudio de Estado 2. Vol II.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (CONABIO, 2022, 16 de marzo).

Convenio y Proyecto ampliar y consolidar la Plataforma Sistema Nacional para la consulta de la Plataforma Conectividad Ecológica como instrumento de política ambiental, Plataforma BioConnect. Conabio. https://bit.ly/3ViOHWX

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (CONABIO, 2024). http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html

Ceballos, G. R Lists, et al. (Coords) (2009). La diversidad Biológica del Estado de México, Estudio de Estado 2009. Gobierno del Estado de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Comisión Nacional de àreas naturales protegidas (CONANP, 2024). Izta-Popo a la Vanguardia, historia. https://conanp.gob.mx/conanp/dominios/iztapopo/historia.php

Delgadillo, J. y Torres. (1993). Geografía Regional de México. Editorial Trillas

Diario Oficial de la Federación (DOF, 1933). ACUERDO por el cual se declara Zona Protectora Forestal los terrenos que forman parte de la cuenca del Valle de México, 26 de junio de 1933.

Diario Oficial de la Federación (DOF, 1934). Decreto por el que se declaran los terrenos cubiertos de arbolado, situados en las Cuencas Hidrográficas de los Sistemas Nacionales de Riego en construcción y proyecto. 3 de enero de 1934.

Diario Oficial de la Federación (DOF, 1935). Decreto por el que se crea el Parque Nacional Iztatccihuatl-Popocatepetl. 8 de noviembre de 1935

Diario Oficial de la Federación (DOF, 1936ª). Decreto que declara el Parque Nacional “Lagunas de Zempoala”.

Diario Oficial de la Federación (DOF, 1936b). Decreto que declara la creación del Parque Nacional Cumbres del Ajusco, 23 de septiembre de 1936.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1937a). Decreto por el que se declara Zona protectora forestal de Cuernavaca, 17 de noviembre de 1937.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1937b). Decreto que declara Parque Nacional "El Tepozteco" los terrenos que rodean el pueblo de Tepoztlán. Tomo C, No. 18, México, 22 de enero de 1937.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1941). Decreto por el que se declara Zona protectora forestal de las cuencas de los ríos Valle de Bravo, Malacatepec, Tilostoc y Temascaltepec, Mex, 15 de noviembre de 1941.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1947). Decreto Presidencial de fecha 19 de mayo de 1947, de modificación de los linderos del Parque Nacional Cumbres del Ajusco.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1947). Decreto por el que se establece una Unidad Industrial de Explotación Forestal en favor de las Fábricas de Papel de Loreto y Peña Pobre, S.A: 19 de mayo de 1947.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1949). Decreto por el que se declaran Zonas Protectoras Forestales y de Repoblación las cuencas de alimentación de las obras de irrigación de los Distritos Nacionales de Riego, y se establece una veda total e indefinida en los montes ubicados dentro de dichas cuencas. 3 de agosto de 1949.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1988). Decreto por el que se declara el Área de Protección de Flora y Fauna Silvestres, ubicada en los municipios de Huitzilac, Cuernavaca, Tepoztlán, Jiutepec, Tlalnepantla, Yautepec, Tlayacapan y Totolapan, Morelos. Tomo CDXXII, No. 22, México 30 de noviembre de 1988.
Hilty, Jodi; Worboys, Graeme L.; Keeley, Annika; Woodley, Stephen; Lausche, Barbara; Locke, Harvey; Carr, Mark; Pulsford, Ian; Pittock, Jamie; White, J. Wilson; Theobald, David M.; Levine, Jessica; Reuling, Melly; Watson, James E.M.; Ament, Rob y Tabor, Gary (2021). Lineamientos para la conservación de la conectividad a través de redes y corredores ecológicos. Serie Directrices para buenas prácticas en áreas protegidas No. 30. UICN. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.30.es
International Union for Conservation of Nature y World Commission on Protected Areas (IUCN y WCPA, 2019). Recognising and Reporting Other Effective Area-based Conservation Measures. IUCN. https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.PATRS.3.en Jaramillo, F. Oswald, U. Morales, A., Ledesma, M. 2024. Sistema de áreas naturales protegidas, corredores biológicos e hidrológicos del Bosque de Agua. en prensa revista Economía, Sociedad y Territorio. El Colegio Mexiquense. Toluca. 30 p.
Melo Gallegos, C. 1988. Parque Nacional Lagunas de Zempoala, su problemática, marco ecogeográfico y una alternativa para su manejo. Revista Geografía, UNAM. 2(3):79-93.
Mountain Agenda (1998). Mountains of the world: water towers for the twenty-first century. Berna, Mountain Agenda.
Oswald, Úrsula. (2024). Bosque de agua y género para combatir la escasez de agua en la Megalópolis del Centro de México en la historia del Patriaceno. Memorias del Congreso de la Tierra, Mesa 35, 1 y 2 de julio de 2024, Buenos Aires, Argentina.
Organización de las Naciones Unidas. (ONU, 2018). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. (LC/G.2681-P/Rev.3), ONU.
Organización de las Naciones Unidas (ONU 2022, 20 de diciembre). La COP15 finaliza con un acuerdo histórico por la Biodiversidad. ONU. https://bit.ly/3TcklxqPrice, M.F. (1998). Las montañas: ecosistemas de importancia mundial. https://www.fao.org/4/W9300S/w9300s03.htm
Resasco, Julian (2019). Meta-analysis on a decade of testing corridor efficacy: What new have we learned?. Current Landscape Ecology Reports, 4, 61-69. https://doi.org/10.1007/s40823-019-00041-9
Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT, 2024). Parque Nacional Iztaccihuatl-Popocateptl. https://www.gob.mx/semarnat/articulos/parque-nacional-iztaccihuatl-popocatepetl
Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional Forestal, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (SEMARNAT, CONABIO, CONAFOR Y CONANP, 2017). Visión nacional para el Manejo Integrado del Paisaje y Conectividad. SEMARNAT, CONABIO, CONAFOR Y CONANP.
Universidad Autónoma Metropolitana. (UAM, 1995). Ordenamiento Urbano del Corredor Biológico Chichinautzin, inédito. Unidad Xochimilco, 72 p.
Vargas, M.F., 1984. Parques Nacionales de México y reservas equivalentes. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. México, 266 p.

5 Análisis de las soluciones basadas en la naturaleza (sbn), aplicadas a la sobreexplotación del agua subterránea en la Megalópolis de México

Cuauhtémoc Aquiles Zúñiga Lázaro[1], Jesús Barrera Rojas[1] y Hasbleidy Palacios Hinestroza[2*]

[1]Departamento de Estudios del Agua y la Energía, Centro Universitario de Tonalá - Universidad de Guadalajara, México.
[2]Departamento de Ciencias Básicas, Centro Universitario de Tlajomulco - Universidad de Guadalajara, México.
(*autor de correspondencia: hasbleidy.palacios@academicos.udg.mx)

Resumen

Los recursos hídricos subterráneos representan la principal fuente de sostenibilidad y de suministro de agua potable a nivel mundial. A pesar de ello, el agua subterránea enfrenta una severa sobreexplotación, lo que ha provocado un descenso del nivel de agua en el subsuelo y ha generado que un gran porcentaje de la población sufra por la escasez de agua potable, tanto en cantidad como en calidad. Esto como resultado de diversas actividades humanas, como la agricultura, la industria y la minería.

En la Megalópolis de México, se cuenta con programas que integran acciones para conservar y mejorar la gestión de los recursos hídricos subterráneos. A través de iniciativas basadas en soluciones naturales, se busca restaurar y conservar el agua subterránea, así como enfrentar las diferentes amenazas climáticas y riesgos naturales que son cada vez más recurrentes y severos, como las inundaciones, sequías, inestabilidad de laderas y hundimientos.

Durante la elaboración de este capítulo de libro, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre las condiciones actuales del agua en la Megalópolis de México, complementada con un análisis de las acciones que se llevan a cabo para enfrentar el estrés hídrico que afecta a esta gran ciudad. Finalmente, mediante un cuadro de problemas, se establecen una serie de propuestas para mejorar y conservar los recursos hídricos en esta parte de la República Mexicana.

Introducción

El agua es un recurso natural sumamente importante para el desarrollo de la vida de los seres vivos. De acuerdo con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, 2018), el 97.5% del agua de nuestro planeta es salada, concentrándose en los océanos y solo el 2.5% es agua dulce. De este 2.5 % de agua dulce, el 68.7% se localiza en los glaciares y capas de hielo, el 1.2% se encuentra en los ríos y lagos, en tanto que el 30.1% es agua subterránea. Esto convierte al agua subterránea en una fuente primaria de sostenibilidad para los ecosistemas naturales y en el principal suministro de agua potable a nivel mundial (Murmu et al., 2019).

El agua subterránea proviene de la infiltración del agua de lluvia, la cual circula a través del subsuelo, se almacena en espacios porosos, grietas y conductos presentes en los acuíferos. Estas son formaciones geológicas con ciertas propiedades hidrogeológicas capaces de almacenar y transmitir el agua a una tasa aprovechable (Imeplan, 2023).
La extensión y la velocidad en la que se rellenan los acuíferos dependen de distintos factores, como la geología, la meteorología, la topografía del suelo y factores antropogénicos. Por ejemplo, las rocas tienen distintas características como la porosidad y permeabilidad, lo que significa que la circulación del agua no es la misma en todas las rocas. Por lo tanto, la recarga de un acuífero varía en todo el mundo (USGS, 2018).

Dentro de cada uno de estos sistemas subterráneos, la edad de las aguas puede variar desde decenas hasta milenios de años, mientras que la calidad del agua puede variar debido a los largos tiempos que se ha almacenado, así como al contacto con la litología presente en la zona. A diferencia de los sistemas de aguas superficiales, los sistemas subterráneos pueden estar mejor protegidos de la contaminación; no obstante, una vez contaminados es extremadamente difícil remediar la afectación. Las aguas subterráneas se han extraído y utilizado para los fines humanos desde tiempos inmemoriales. Sin embargo, a nivel mundial la extracción del agua subterránea ha aumentado significativamente en las últimas décadas, pasando del 12% en 1950 al 25% de extracción en 2017. Siendo el sector agrícola el que más volumen de agua extrae para la irrigación (UNESCO, 2022).

La sobreexplotación, degradación y contaminación de los recursos hídricos, han llevado a que, a nivel mundial, un gran porcentaje de la población sufra del suministro de agua potable tanto en cantidad como en calidad (Foster & Chilton, 2023; UNICEF, 2021; UNESCO, 2022) citado en (Imeplan, 2023). De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas, actualmente hay alrededor de 3.600 millones de personas (casi la mitad de la población mundial) que viven en zonas de riesgo de sufrir escasez de agua al menos un mes al año. Se estima que hacia 2050 está cifra podría crecer entre 4.800 a 5.700 millones de habitantes (ONU, 2018).

La extracción intensiva de las aguas subterráneas ha provocado el descenso del nivel del agua en el subsuelo a nivel mundial. Esto se produce debido a que la suma de la extracción supera la recarga. Aunque la variabilidad del clima, el crecimiento poblacional y el cambio climático también juegan un rol importante al influir en la recarga y demanda de agua de las poblaciones González et al. (2022), por lo que, la implementación de acciones para mitigar este problema es fundamental. En este sentido, desde finales del siglo XX se han venido estableciendo diversas estrategias a nivel mundial para hacer frente a esta problemática, destacándose las relacionadas con las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN).

De acuerdo con Bianciardi et al. (2023), las SbN son acciones destinadas a proteger, gestionar sosteniblemente y restaurar ecosistemas naturales o modificados, abordando desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, al tiempo que proporcionan bienestar humano y beneficios para la biodiversidad. En este sentido, la característica de una SbN no radica en que un ecosistema sea “natural”, sino en que los procesos naturales sean utilizados correctamente para lograr un bien común relacionado con el agua (ONU, 2018). Con base en lo anterior, el objetivo de este trabajo fue hacer una revisión literaria sobre las condiciones actuales del agua en la Megalópolis de México.

Metodología

Se realizó una revisión sistemática de la literatura, a partir de artículos científicos, informes y estudios sobre las condiciones actuales del agua en la Megalópolis de México, y un análisis de las acciones que se llevan a cabo mediante la implementación de Soluciones Basadas en la Naturaleza para hacer frente al estrés hídrico.

Generalidades

Situación del agua en México

México viene enfrentando una crisis aguda por la falta de agua, pues tanto sus fuentes de agua superficiales como subterráneas se encuentran en estrés hídrico y/o sobreexplotados, sumado a una deficiente gestión del recurso hídrico y a la contaminación de sus aguas. Sin embargo, son las regiones del centro y norte las que vienen padeciendo con más severidad la falta de agua debido en gran medida por las sequías (Sosa & Constantino, 2023).

Para este 2024, las condiciones no han mejorado, puesto que el país está atravesando su peor crisis hídrica en al menos los últimos tres años, la cual comenzó en 2021. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), más del 65% del territorio nacional presenta algún grado de sequía. Además, la situación se ha agravado porque a la sequía se añaden temperaturas excepcionalmente altas en gran parte de la República Mexicana (Huerta, 2024).

Cabe mencionar que más de dos terceras partes del país tiene un clima árido, por lo que, para acceder al vital líquido en estas zonas, se recurre a la extracción del agua subterránea, o mediante el modelo de trasvase de agua. Este último consiste en la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales trasladadas de una cuenca para ser utilizadas en otra cuenca distinta, modelo que actualmente se presenta en las tres principales metrópolis de nuestro país (Calderón & Trujano, 2024).

En México, la instancia encargada de proteger y administrar las aguas nacionales tanto superficiales como subterráneas es la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En su búsqueda por controlar la extracción intensiva de los recursos hídricos subterráneos, la comisión realizó la delimitación de los acuíferos en todo el territorio nacional, considerando criterios como la hidrografía, la geología, la piezometría, la calidad de agua, la geomorfología y los límites geopolíticos. Este último criterio busca facilitar que la administración de las concesiones sea más fácil (CONAGUA, 2021).

En este sentido, la CONAGUA delimitó 13 regiones hidrológica-administrativas y 653 acuíferos que cubren la totalidad de la superficie del país. De estos, 7 abastecen de agua a la megalópolis de México.

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales y su reglamento refiere que, es la misma CONAGUA quien debe publicar y revisar, al menos cada tres años la disponibilidad media anual de las aguas nacionales tanto subterráneas como superficiales. En el caso del agua subterránea, esto se realiza por acuífero (CONAGUA, 2020), lo que en resumen representa la disponibilidad del recurso hídrico por cada sistema.

Al respecto, a finales del 2023 a través del Diario Oficial de la Federación, la CONAGUA publicó la última actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua Subterránea de los 653 acuíferos del país (Figura 1). Según este informe, de los 653 acuíferos, 367 se encuentran "con disponibilidad" de agua, mientras que 286 están "sin disponibilidad". Esto significa que alrededor del 43% de los acuíferos de nuestro país se encuentran sin disponibilidad de agua subterránea para otorgar nuevas concesiones, lo que refleja un claro ejemplo del abatimiento del agua subterránea a nivel nacional.

Para el caso de la Megalópolis de México, la situación de la disponibilidad del agua subterránea de los acuíferos que abastecen a los más de 20 millones de habitantes es crítica. Puesto que de los 6 acuíferos que abastecen de agua potable a esta gran ciudad, 5 se encuentran sin disponibilidad y 4 se encuentran sobreexplotados.

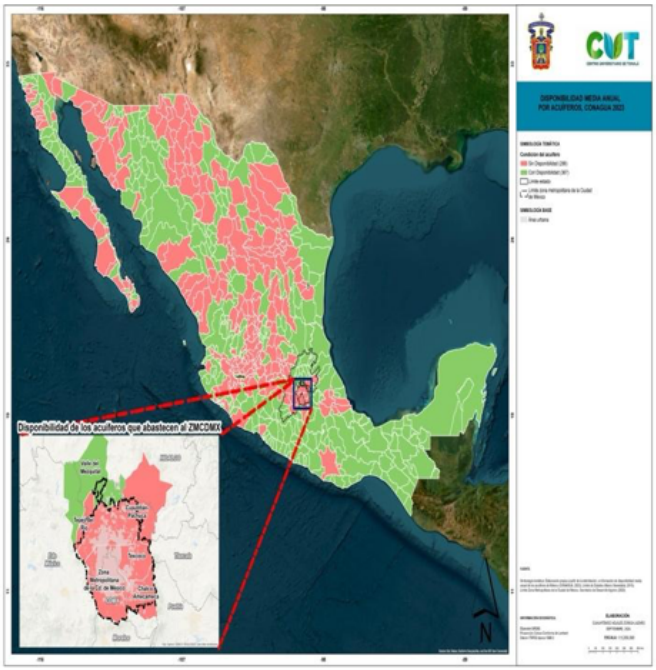


Figura 1. Disponibilidad media anual por acuífero en la República Mexicana. Elaboración propia con datos de (CONAGUA, 2023).

Agua en la Megalópolis de México

La Megalópolis de México, también conocida como Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZM CDMX), está conformada por 45 municipios del Estado de México, dos municipios del Estado de Hidalgo y la propia Ciudad de México, que incluye 16 delegaciones (Secretaría de Desarrollo Agrario, 2020), como se observa en la Figura 2. Esta área es considerada una de las metrópolis más grandes del mundo y la primera en nuestro país, lo que convierte en un gran reto dotar de agua a esta enorme ciudad. De acuerdo con el último censo de población y vivienda del Instituto Nacional Estadística y Geografía (INEGI, 2020), la ZM CDMX cuenta con una población de 21,436,911 habitantes. Además, se estima que hacia el 2030 la población de la ZM CDMX llegue a los 23 millones de habitantes (Mohar, 2016), si no es que en estos años ya se llegó a estas cifras, debido al acelerado crecimiento urbano que se presenta en esta megalópolis.

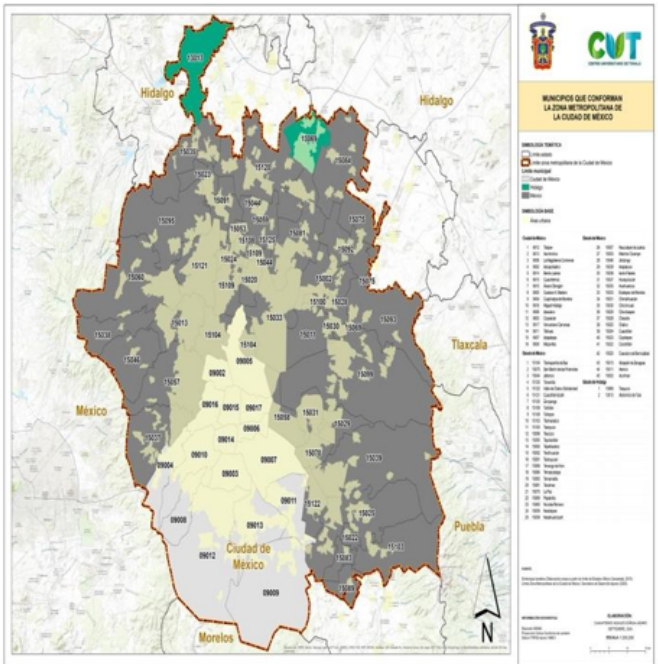


Figura 2. Municipios que conforman la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Elaboración propia con datos de (Secretaría de Desarrollo Agrario, 2020).

Actualmente, la Megalópolis de México enfrenta una incertidumbre hídrica, debido a que desde hace varios años se cuenta con una disponibilidad baja de agua en sus principales fuentes de agua superficiales y una alta dependencia del agua subterránea.

Aunado a lo anterior, se suma una orografía compleja que dificulta la provisión de servicios, dado que la ciudad se encuentra situada a 2,400 metros por arriba del nivel del mar. Adicionalmente, se enfrenta a distintos fenómenos naturales cada vez más recurrentes y con mayor intensidad, como son las inundaciones, sequías, y hundimientos. También influyen factores sociales, como el acelerado crecimiento urbano, que reduce las zonas de recarga de los acuíferos, así como la intervención y modificación de cauces y cuerpos de agua.

Como se señaló anteriormente, la ZM CDMX tiene una alta dependencia del agua subterránea para el suministro de agua para los más de 20 millones de habitantes que habitan esta gran metrópoli. De acuerdo con lo presentado en el diagnóstico del documento "Perspectivas del agua en el Valle de México: propuestas hacia la seguridad hídrica" – (González et al. 2024), la principal fuente de abastecimiento de agua para la Megalópolis de México, así como para la región donde se encuentra localizada la ciudad, es el agua proveniente de los seis acuíferos que se identifican en la zona (Figura 1), el cual representa el 67% del total de suministro. Seguido por los sistemas Lerma y Cutzamala, que proporcionan el 28%, mientras que el resto, corresponde a los ríos y manantiales de la zona, el cual representan el 5%.

En la Figura 3, se muestra como es el sistema de abastecimiento de agua potable en la Megalópolis de México. Este servicio es brindado por parte de los organismos operadores: la Secretaría del Agua del Estado de México (CAEM), y el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), los cuales cuenta con alrededor de 900 pozos profundos, manantiales y un sistema de presas, para el abastecimiento de la población de la ZM CDMX (Brambila et al., 2020).

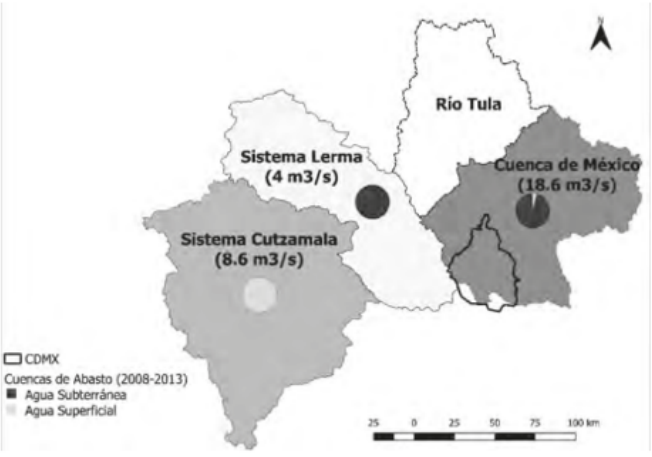


Figura 3. Sistema Regional de Abasto de Agua para la ZM CDMX. Tomada de (Brambila et al., 2020).

Uno de los efectos de la sobreexplotación del agua subterránea, es la relacionada con los hundimientos. De acuerdo con (Cigna & Tapete, 2021), hay zonas dentro de la gran metrópoli donde la subsidencia del terreno, alcanzan tasas de hasta -39.1 centímetros al año. Con la continua escasez del agua, la ZM CDMX sigue perforando en busca de más recurso para abastecer todos los servicios, lo que ha debilitado los antiguos lechos de arcilla de los lagos que los antiguos pobladores usaron para construir la ciudad, provocando que se hunda aún más.

En complemento al fenómeno de la subsidencia, se encuentran las inundaciones. Según González et al. (2022), las inundaciones y/o encharcamientos que se vienen presentando frecuentemente en la Megalópolis de México se deben a hundimientos, obstrucciones y escurrimientos superficiales que sobrepasan la capacidad de diseño de la infraestructura hidráulica encargada de desalojar las aguas pluviales de las calles y avenidas. De acuerdo con este estudio algunas de las zonas con más recurrencia y riesgo de inundaciones son, los municipios de Tlalnepantla (Valle Dorado), Chalco, Valle de Chalco, Nezahualcóyotl y Ecatepec en el Estado de México, así como las alcaldías de Tláhuac, Xochimilco, Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Venustiano Carranza y Cuauhtémoc por la Ciudad de México.

Aunado a las inundaciones, está el tema del cambio climático, ya que uno de los efectos más notorios es que las lluvias sean más intensas en periodos cortos. Esto provoca que, en distintos casos, se rebasa la capacidad de la infraestructura para el desalojo de las aguas pluviales, provocando inundaciones severas. Un ejemplo de esto fue lo ocurrido recientemente en agosto del 2024, cuando el municipio de Chalco, Estado de México estuvo inundado durante más de un mes (Figura 4). Afectando a más de 2,600 habitantes y alrededor de 3,867 viviendas. Como resultado, en el pasado mes de septiembre se emitió una declaratoria de emergencia por inundación pluvial derivado de lluvias severas, esto de acuerdo con El Economista (2024).



Figura 4. Vecinos de la colonia Culturas de México son transportados por policías tras las inundaciones en Chalco, Estado de México. Tomada de (González, 2024).

Soluciones Basadas en la Naturaleza como alternativa para hacer frente a la crisis hídrica.

Con el objetivo de mitigar la sobreexplotación del agua subterránea y enfrentar las inundaciones y otros fenómenos naturales que afecta la Megalópolis de México, los gobiernos y universidades en conjunto con la comunidad local, han desarrollado en conjunto, una serie de proyectos a partir de Soluciones Basadas en la Naturaleza. Es importante resaltar que las SbN cobran un gran valor, debido a que estas infraestructuras potencializan los elementos naturales que les rodea y que pueden trascender de una acción colectiva a políticas públicas. Además, contribuyen a cumplir con algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015 - 2030, como el objetivo 2 (Hambre cero), 13 (Acción por el clima), 15 (Vida de ecosistemas terrestres) y, sobre todo el objetivo 6 (Agua y Saneamiento) (ONU, 2024). Así como con el Marco de Sendai para la reducción de los riesgos de desastres, establecidos por las Naciones Unidas en 2015.

En este sentido, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y la ONU a través de sus informes, han trabajado e impulsado desde los años 90's la implementación y desarrollo de las SbN. En América Latina y México, la implementación de las SbN como estrategia para mejorar la gestión de los recursos hídricos es relativamente reciente.

En complemento con lo anterior, una de las principales ventajas de las SbN, es que representan infraestructuras de bajo costo en comparación con las infraestructuras grises, que son construcciones de soluciones de ingeniería, como los sistemas de drenaje, redes de agua, vasos reguladores, diques entre otros. Además, es importante señalar que las infraestructuras grises juegan un papel crucial en la mitigación y adaptación ante el cambio climático y riesgos, siempre que se diseñan y gestionan de manera sostenible (Libertun & Peciña, 2024). Igualmente, contribuyen al valor paisajístico de los sitios donde se implementan. Las SbN por su parte, son un excelente complemento de las infraestructuras grises ya existentes.

Por lo que, en México las SbN representan una alternativa sostenible como respuesta a los desafíos socio ambientales que aquejan al país, como son; el cambio climático, pérdida de biodiversidad, las inundaciones, la degradación de suelos, las islas de calor urbana y las sequías. Por lo que, a través de la implementación de las SbN se busca restaurar, conservar y gestionar los recursos naturales de manera efectiva, permitiendo así la regulación del clima, mitigar la sobreexplotación de los recursos hídricos, así como la protección y prevención a desastres.

Herramientas de planificación y gestión para la implementación de las SbN

México cuenta con distintas leyes y normativas para la conservación y el aprovechamiento sostenible de sus recursos naturales, que incluyen medidas de mitigación y adaptación con SbN, como son la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 2024), en donde se enfatiza las atribuciones federales, estatales y municipales en la formulación y ejecución de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC, 2024), es otro de los instrumentos a nivel nacional que integra e impulsan la implementación de las SbN, desde promover la transición de sistemas convencionales en la agricultura a soluciones basadas en la naturaleza, así como aquellas para el uso sustentable y eficiente del agua superficial y subterránea. Por su parte en la ZM CDMX cuenta con el (Aparicio, 2022) la cual está alineada con la ENCC.
En este sentido, las ciudades como Mérida Yucatán y Hermosillo, Sonora, se han convertido en

unas de las primeras ciudades en México en incorporar acciones con SbN en sus políticas públicas, integrándose como parte de su estrategia de sostenibilidad ambiental.

Incentivos y financiamientos para la implementación de SbN.

A nivel global, la inversión en proyectos de SbN no sólo es limitada, sino que existe una brecha de financiamiento importante para el cuidado de la naturaleza. La financiación pública por sí sola no será suficiente (Gomez et al., 2023), en México diferentes instituciones internacionales como World Resources Institute (WRI), el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco de Desarrollo de América Latina (CAF) y la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), vienen participando activamente en distintos proyectos y así lograr desencadenar el potencial de las SbN en nuestro país, algunos de estos proyectos son; "Instrumento de Mitigación de Riesgos para la Restauración de Tierras" o "Hacia una ciudad de México sensible al agua".

Por su parte el Gobierno de México (2022), a través del Pago por Servicios Ambientales (PSA), busca incentivar a los propietarios de tierras a conservar o restaurar ecosistemas clave.

Así mismo, mediante el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN), se canalizan recursos financieros hacia proyectos de SbN, la cual permita proteger y restaurar los ecosistemas, además de generar fortalecimiento de capacidades locales.

Casos de éxito de la implementación de SbN en México

Existen diversos tipos de SbN aplicables a diferentes enfoques y problemas a solucionar, desde usar un ecosistema natural, modificado o restaurado, hasta la creación de un nuevo ecosistema (Cousins, 2024).

En la Ciudad de Mérida, Yucatán, debido a la preocupación por reducir la contaminación de los acuíferos que abastecen a esta ciudad y mitigar las inundaciones que les afectan, desarrollaron un proyecto a través de la implementación de SbN, escogiendo los Sistemas Urbanos de Drenaje Pluvial Sostenible (SUDS), los SUDS, además de mitigar el riesgo de inundaciones, reducen la infiltración de contaminantes que son transportados por los escurrimientos pluviales, mejorando además los espacios públicos y el paisaje urbano presente (Bolio & Chuc, 2021).



Figura 5. Jardín de lluvia en la Ciudad de Mérida, Yucatán. Tomado de (Bolio & Chuc, 2021).

En la Ciudad de México, a través del "Programa Especial de la Red de Infraestructura Verde de la Ciudad de México", se establecieron una serie de estrategias y directrices para el desarrollo de las SbN o también conocidas como infraestructuras verdes, en gran parte del territorio de la ciudad. Este programa se fundamenta en cuatro principios: conectividad, accesibilidad, funcionalidad y resiliencia, con el objetivo de promover la adaptación al cambio climático, el incremento a la resiliencia y la mitigación de los peligros.

Con base en este programa, se establecieron desde el 2019 hasta 2023, de acuerdo con información del gobierno de la Ciudad de México, se han desarrollado alrededor de 300 proyectos integrales con las SbN. Algunos de estos proyectos incluyen la creación de nuevas áreas naturales protegidas como el del Cerro de la Estrella; el Parque Ecológico de la Ciudad de México; el Parque Ecológico de Xochimilco; la Sierra de Guadalupe y la Sierra de Santa Catarina. También, la ampliación o creación de nuevos bosques como el de Tláhuac; Chapultepec y San Juan de Aragón; así como la renovación y restauración del canal Nacional (Figura 5) y la creación de distintos parques (Secretaría del Medio Ambiente, 2023a).

En tanto, para el estado de México, mediante proyectos barriales en donde participan universidades como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), se han visto involucrados en rediseñar espacios donde eran antes basureros o el aprovechamiento de espacios públicos existentes,

creándose en sitios captadores de escurrimientos pluviales para su posterior infiltración del agua hacia los acuíferos, como ejemplo se cuenta con el parque Bicentenario (Figura 6), con respecto a este proyecto consistió en la creación de terrazas en una pendiente colocando roca volcánica como tezontle e incorporación de vegetación local que necesitan poca agua y ayudan a captar el agua de lluvia. Por lo que, si bien se ha estado desarrollando y establecido estrategias para el aprovechamiento y conservación de los recursos hídricos subterráneos en la megalópolis de México, es necesario que estas infraestructuras continúen desarrollándose, pero sobre todo que exista una correlación entre las comunidades y los gobiernos, para que estos puedan tener éxito en su implementación.



Figura 6. Rehabilitación y saneamiento del Canal Nacional. Tomada de (Secretaría del Medio Ambiente, 2023b).



Figura 7. Parque Bicentenario, municipio de Ecatepec, estado de México. Tomada de (Valencia et al., 2024).

Establecer por medio de los instrumentos de planeación urbana, las zonas de conservación y protección hidrológica, estableciendo criterios que evite la proliferación de asentamientos humanos o de industrias que pudieran comprometer la conservación de los acuíferos, una vez establecidas estas zonas, es necesario implementar SbN que ayude a proteger tanto las fuentes de agua superficiales como subterráneas.

En complemento con lo anterior, en obras que impliquen renovación urbana, como calles, avenidas o infraestructuras de gran magnitud, es necesario que éstas vengan acompañadas con SbN, que permita la disminución de los escurrimientos pluviales, permitiendo su infiltración con técnicas de fitorremediación, mejorando a la par las condiciones climatológicas y paisajísticas de la zona de donde se implementen.

Proyecciones de impacto positivo a largo plazo de las SbN en la conservación de los acuíferos

La reforestación y conservación de las partes altas de las cuencas, permite mantener la recarga natural de los acuíferos, lo cual ayuda además a contar con una mejor calidad del agua subterránea. Por lo que de realizar estas prácticas a largo plazo generará un impacto positivo en la conservación de los acuíferos.

C

onclusiones

La incertidumbre sobre la disponibilidad del recurso hídrico en el futuro es evidente. Los cambios en las variaciones climáticas son cada vez más notorios y afectan la disponibilidad de este vital líquido, no solo en nuestro país, sino a nivel mundial. Por lo tanto, hacer frente a estas condiciones es urgente. Es fundamental que todos los actores (gobiernos, academia y población general) participen en las distintas estrategias que ayuden a gestionar de manera efectiva los recursos disponibles. En este sentido, la educación ambiental en todos los niveles es primordial.

De igual manera, es crucial que el gobierno involucre a la sociedad y la haga partícipe de los proyectos que se desarrollen a corto, mediano y largo plazo. Ya que el éxito de estas iniciativas dependerá en gran medida de la participación de las distintas comunidades donde se implementarán estas infraestructuras. Además, es necesaria una coordinación efectiva entre los gobiernos metropolitanos, para que las acciones no sean esfuerzos aislados, sino que se integren de manera coherente.

Problemáticas y oportunidades

A través de la Tabla 1, se resumen los principales problemas encontrados, así como las diferentes alternativas de solución que se plantean para hacer frente y mitigar los problemas del agua en la Megalópolis de México.

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la mitigación de la sobreexplotación del agua subterránea en la Megalópolis de México

Problemáticas	Oportunidades
Crecimiento urbano informal en zonas con alta capacidad de recarga hídrica, que son además susceptibles a diversos riesgos naturales, como inundaciones, inestabilidad de laderas y hundimientos.	Desarrollar instrumentos de planeación urbana a nivel metropolitano, que integren anillos de crecimiento urbano, y establezcan zonas de conservación y áreas naturales protegidas, con el objetivo de promover la recarga de los acuíferos.
Infraestructura hidráulica que ha rebasado su vida útil y resulta insuficiente.	Se requiere la renovación de la infraestructura hidráulica existente, acompañándola con soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en áreas de alto riesgo y recurrencia de inundaciones, así como en zonas con elevada vulnerabilidad hídrica.
Esfuerzos aislados en la implementación de proyectos estratégicos para mejorar la gestión hídrica en todos los niveles.	Se requiere la creación de una coordinación metropolitana, que gestione y coordine a nivel intermunicipal la participación, la toma de decisiones y el seguimiento de los proyectos.
Información dispersa y desactualizada sobre la disponibilidad de agua subterránea.	Es necesario el desarrollar un sistema metropolitano que integre información homologada, estandarizada y actualizada sobre la infraestructura estratégica para el abastecimiento de agua potable.

Referencias bibliográficas

Aparicio, A. T. (2022). Sequías en la Ciudad de México. Prevención y mitigación.

Bianciardi, A., Becattini, N., & Cascini, G. (2023). How would nature design and implement nature-based solutions?

Bolio, E. A., & Chuc, S. A. (2021). Infraestructura verde. https://anpr.org.mx/articulos/infraestructura-verde/

Brambila, M. G., Colín, J. A., & Núñez, H. P. (2020). El tratamiento de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua.

Calderón, M., & Trujano, M. A. (2024). Escasez de agua en México en 2024: las presas están en el nivel más bajo desde 2008.

Cigna, F., & Tapete, D. (2021). Present-day land subsidence rates, surface faulting hazard and risk in Mexico City with 2014–2020 Sentinel-1 IW InSAR.

CONAGUA. (2020). Disponibilidad media anual por acuíferos CONAGUA. https://sigaims.conagua.gob.mx/dma/acuiferos.html

CONAGUA. (2021). Límites de los acuíferos de la República Mexicana. https://sigaims.conagua.gob.mx/dma/acuiferos.html

CONAGUA. (2023). Sistema Nacional de Información del Agua. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=repda

Cousins, J. J. (2024). Just nature-based solutions and the pursuit of climate resilient urban development.

Diario Oficial de la Federación. (2024a). Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Diario Oficial de la Federación. (2024b). Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente.

El Economista. (2024). Declaran emergencia en Chalco, un mes después de inundaciones que afectaron a más de 3,800 viviendas.

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial. (2017). Instrumento de mitigación de riesgos para la restauración de tierras.

Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza. (2024). Sustentar nuestro tesoro natural.

Gobierno de México. (2022). Pago por Servicios Ambientales: Incentivos económicos para la conservación de los ecosistemas.

Gomez, S. B., López, V. P., & Eunice, S. R. (2023). Rutas para desbloquear el financiamiento privado de las SbN.

González, F. J., Vázquez, E. H., Aguilar, E. A., & Arriaga, J. A. M. (2022). Perspectivas del agua en México propuestas hacia la seguridad hídrica.

González, F. J., Vázquez, E. H., & Arriaga, J. A. (2024). Perspectivas del agua en el Valle de México. Propuestas hacia la seguridad hídrica.

González, M. I. (2024). Vecinos de la colonia Culturas de México son transportados por policías tras las inundaciones en Chalco, Estado de México. El País.

Huerta, L. (2024). Consecuencias de la sequía en México. UNAM-Global Revista.

Imeplan. (2023). Estudio de Hidrología Subterránea en el Área Metropolitana de Guadalajara. https://drive.google.com/drive/u/0/folders/14l-9gR1a_K_qJGfiA_awWwfonUdHQC2Tg

INEGI. (2020). Principales resultados por localidad (ITER) 2020. https://www.inegi.org.mx/app/scitel/Default?ev=9

Libertun, N., & Peciña, D. L. (2024). ¿Cómo pueden las ciudades mitigar los impactos del cambio climático? infraestructura verde y gris.

Mohar, A. E. (2016). Tendencias territoriales determinantes del futuro de la Ciudad de México.

Murmu, P., Kumar, M., Lal, D., Sonker, I., & Singh, S. K. (2019). Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques and analytical hierarchy process in Dumka district, Jharkhand, India. Groundwater for Sustainable Development, Volume 9.

ONU. (2018). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua [. UNESCO. https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210045940/read

ONU. (2024). Los Objetivos de Desarrollo Sostenibles. https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals

Secretaría de Desarrollo Agrario, T. y U. (2020). Metrópolis de México 2020. https://www.gob.mx/cms/uploads/sedatu/MM2020_06022024.pdf

Secretaría del Medio Ambiente. (2023a). Infraestructura Verde. https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/infraestructura-verde#:~:text=Desde%202019%20se%20trabaj%C3%B3%20en%20diversos%20proyectos%20integrales

Secretaría del Medio Ambiente. (2023b). Programa Especial de la Red de Infraestructura Verde de la Ciudad de México. https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGSANPAVA/ProgramaEspecialdeInfraestructuraVerde_CDMX.pdf

Sosa, F. S., & Constantino, R. M. (2023). Sequía en México.

UNESCO. (2022). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022: Aguas subterráneas: Hacer visible el recurso invisible. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382894

Urbanisten, D., & Deltares. (2018). Hacia una Ciudad de México Sensible al Agua. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/01/Hacia-una-Ciudad-de-M%C3%A9xico-sensible-al-agua.pdf

USGS. (2018). Almacenamiento de aguas subterráneas y ciclo del agua. USGS. https://www.usgs.gov/special-topics/water-science-school/science/groundwater-storage-and-water-cycle

Valencia, I., Hubbard, E., & Herrera, N. (2024). Convertir parques en cisternas barriales: agua para el futuro.

6 Colectividad alrededor del agua en las chinampas y el papel del gobierno en Xochimilco

Libertad Castro-Colina[1]

[1]Coordinación de Asignaturas Sociohumanísticas, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México
(*autor de correspondencia: castrocolinalibertad@gmail.com)

Resumen

En México, el agua es considerada un bien público. Sin embargo, para los agricultores chinamperos de la alcaldía Xochimilco, en la Ciudad de México, el agua es un elemento natural común del cual dependen. Esta relación lleva a la población de la región mencionada a colectivizar el agua de manera coordinada y con prácticas enfocadas a la preservación. El objetivo de esta investigación es discutir si el ámbito gubernamental inhibe o incrementa la gestión y el manejo óptimo del agua. Así, se analizó cierto instrumento actual de políticas públicas relacionadas con el agua y la agricultura en la zona, para determinar la sinergia o la obstaculización. De este modo, se encontraron colaboraciones entre los chinamperos y el gobierno, pero también se hallaron aspectos pendientes a ser atendidos como: 1) espacios de discusión entre los agricultores, así como entre los agricultores y el gobierno; 2) calidad y cantidad de agua, así como aguas residuales; 3) vivienda irregular; 4) leyes que no se cumplen o vigilan; 5) cambio climático; 6) derecho a alimentos sanos y limpios; 7) relación con el Área Natural Protegida y planes de ordenamiento territorial; y 8) priorización del área turística y olvido de la zona chinampera.

Introducción

En el país, el agua es considerada un bien público de propiedad federal. Así, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es la encargada de otorgar las concesiones para la utilización del agua con fines industriales, agrícolas, urbanos y de servicios. En una búsqueda en la página de Internet de la CONAGUA se encontró que en la alcaldía Xochimilco hay 12 concesiones de agua (con fecha de corte de 30 de junio de 2024). Aunque algunas de las concesiones marcan en cero, ya que tal vez estén inactivas o no existan registros, la más abundante fue para el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) con 1,089,568,800.00 m3/año que se utilizan con fines públicos urbanos. Sin embargo, también se encontraron concesiones para fines industriales, pero en mucho menor proporción (CONAGUA, 2024). Esta agua destinada al SACMEX es la que se utiliza en la chinampería en Xochimilco (Tabla 1).

Tabla 1. Concesiones de agua en Xochimilco (hasta 15 de agosto del 2024)

Titular	Uso	Fecha de registro	Volumen de extracción de aguas nacionales (m3/año)	Volumen de descarga (m3/día)	Superficie (m2)
MBM IMPRESORA, S.A. DE C.V.	Industrial	27/09/2021	0	0	0
INMOBILIARIA WOLA S.A. DE C.V.	Servicios	09/09/2020	0	0	2,041.75
SCHERING-PLOUGH, S.A. DE C.V.	Industrial	02/09/2013	0	97.26	0
ROBERTO QUEZADA BATALLA	Servicios	17/12/2008	0	0	77.2

BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO, S.A. DE C.V.	Industrial	12/09/2008	148,760.00	0	0
COMERCIALIZADORA METROGAS, S.A. DE C.V.	Servicios	30/01/2008	0	0	81.25
BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO S.A. DE C.V.	Industrial	13/03/2007	0	0	0
INMOBILIARIA WOLA, S.A. DE C.V.	Servicios	20/10/2004	0	0	938.88
MBM IMPRESORA, S.A. DE C.V.	Industrial	26/07/1999	0	7	0
INSTITUTO MEXICANO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL	Servicios	31/05/1999	0	0	2,225.94
SISTEMA DE AGUAS DE LA CIUDAD DE MEXICO	Público urbano	28/06/1996	1,089,568,800.00	2,039,040.00	0
ROVILAN, S.A. DE C.V.	Industrial	06/05/1996	320,207.00	0	0

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA, 2024.

Por otro lado, el hecho de que el agua sea propiedad federal no significa que los habitantes no puedan visualizar a este elemento natural como un común en torno al cual giran sus actividades, especialmente la agricultura chinampera. Así, con base en el agua es que se presentan sus organizaciones, marcha su economía, se ha moldeado su historia y, en síntesis, depende en gran medida su vida (Pérez-Belmont et al., 2021). De este modo, que el gobierno tenga un papel esencial en la gestión del agua no elimina la posibilidad de que los ciudadanos formen relaciones entre ellos y con el vital líquido para mejorar su uso y preservar su estado.

En este contexto, el agua y la organización entorno a ella pueden considerarse comunes. Lo que define el significado de comunes depende de las distintas perspectivas de cada corriente de pensamiento. Así, los comunes pueden entenderse como un recurso natural que se utiliza para satisfacer las necesidades humanas (Ostrom, 2011) o pueden percibirse como una relación entre lo humano y lo no humano cuya finalidad es preservar la vida en y por la comunidad (Esteva, 2014).

De la mano de la definición de los comunes, hay implicaciones no sólo acerca de cómo se entiende y percibe a la naturaleza sino también del papel del gobierno y su influencia en la continuidad de los comunes, en este caso el agua. Así, algunas perspectivas y definiciones de los comunes desdeñan el papel del gobierno, mientras que otras lo entienden como un aliado en la persistencia del común. De este modo, el objetivo de esta investigación es analizar si el gobierno apoya u obstaculiza el manejo y gestión colectiva del agua en la chinampería de la alcaldía Xochimilco, de la Ciudad de México.

La historia de la intervención del gobierno en la gestión del agua en Xochimilco es desastrosa. En Xochimilco, el agua se empieza a extraer desde 1900. En 1910, se instala la primera planta de bombeo en Tulyehaulco y posteriormente se siguen instalando plantas de bombeo para abastecer a la Cuidad de México. Para 1930, ya los canales estaban secos. Entonces como ya no había agua en canales, se hace una movilización en 1930. Toda la población de la región Xochimilco-Tláhuac, con toda la gente originaria, de los pueblos, incluyendo ejidatarios, chinamperos, campesinos exigían que se devolviera el agua. Y, en respuesta, se les envía agua de drenaje de toda la Cuidad de México. Entre 1930 y 1960, el agua de drenaje llegaba cruda, sin tratar, con desechos químicos, de baño, de la industria, de los hospitales, de todos lados llegó el agua de drenaje y obviamente ya no era posible bajar a la chinampa porque tan sólo acercarse era una cuestión de hedor insoportable. Entonces, eso era obviamente fuente de enfermedades y la contaminación fue absoluta. Se acabaron las ranas, pescados y ajolotes. Después, en 1960, se instala la primera planta de tratamiento de aguas residuales en el Cerro de la Estrella, pero esa planta de tratamiento sólo le da tres pasos para establecer que el agua ya es útil. El primer paso es el retiro de todo lo sólido, ese es el primer tratamiento, retirar llantas, animales muertos, pañales desechables, todo lo sólido, eso es el primer tratamiento. El segundo tratamiento es la licuadora, para propiciar que todo el jabón, se desparrame de la tina y entonces tenemos ya agua sin jabón. Y, el tercer paso es el almacenamiento en reposo, le ponen el lirio acuático, según para oxigenarla y el lirio biorremedia, pero no es eficiente. Entonces desde esa época del 60 entra en funciones esa planta de tratamiento, pero el drenaje no lo retiraron de los canales, se dejan los sedimentos y se envía el agua tratada a nivel terciario, pero los sedimentos de la contaminación primera que se causó no se retiraron. Luego de varias décadas entre 1990 y1992, se instala la segunda planta de tratamiento que es la de San Luis Tlalxialtemanco y con esa se completa un poquito más el tratamiento de agua. Además, se promulga una norma que establece los límites de contaminación en los canales, y esa regula las concentraciones que se supone que se tiene en los canales, pero no hay monitoreo. Asimismo, existe un fenómeno que se viene desarrollando desde los 90, que es autorizarle a la gente que viva en la chinampa, al autorizarle que viva en la chinampa a pesar de que no sean los dueños, se les dan permisos de residencia, ya con el permiso de residencia acuden al INE y obtienen su credencial para poder ir a votar y a los partidos les es muy útil, para ganar votos, eso genero también un poblamiento muy fuerte de la zona chinampera. No le ponen servicios por lo mismo que es chinampa, no hay drenaje, para el agua si les permiten meter tubería, si se hace un recorrido en canales hay una verdadera telaraña de mangueras, pero de drenaje, todos los drenajes están abiertos hacia el canal, la gente como no es de aquí, vinieron a ocupar toda esa zona, están muy necesitados de abrir caminos, entonces todos sus desechos de basura va a los canales, para ir tapando y hacer caminos, entonces así tenemos los canales, los que se pudieran recuperar están con tambores de cama, sillones, todo lo de las fiestas, plásticos, pero esto es diario, esto va avanzando con una velocidad tremenda, no hay forma de detener eso, son servicios que la gente va necesitando un vez que vive ahí y si es un avance muy fuerte y gravísimo. El problema es muy fuerte porque no se puede certificar orgánico, porque desde el momento que está en la chinampa, toda el agua alrededor está contaminada a pesar de la norma, entonces habría que hacer un tratamiento de agua (Entrevista con agricultora A, 31 de mayo de 2022; Entrevista con agricultor An, 31 de mayo de 2022).

En este contexto histórico,para alcanzar los objetivos, se analizó un programa actual, el Programa Altépetl Bienestar, y se determinó si este instrumento de política pública es o no una sinergia para la conservación, gestión y manejo colectivo del agua chinampera en Xochimilco. También se evaluó si el Programa continua con las políticas de extracción y contaminación en el sitio. Asimismo, para determinar tal influencia, se realizaron entrevistas a algunos campesinos chinamperos de la zona.

Este artículo cuenta con la presente introducción. Además, posee con una sección de marco teórico que se titula: Comunes, gestión colectiva y gobierno, así como una metodología. Más adelante, incluye una descripción del Programa Altépetl. Adicionalmente, se establece una descripción del sitio y de las características de la chinampería, así como de la colectivización del agua en Xochimilco. Asimismo, se presentan las problemáticas y las oportunidades. Y, finalmente, se cierra con las conclusiones.

Comunes, gestión colectiva y gobierno

La relación entre los comunes, la colectivización del agua y el gobierno depende en gran medida de la perspectiva desde la cual entendamos qué es un común. Así, en la literatura se reportan varias propuestas para entender y definir a los comunes desde la perspectiva de cómo se entiende la propiedad, se establece el acceso, tienen lugar las prácticas y se relacionan con el gobierno (Tabla 2).

Tabla 2. Definiciones de los comunes

Autor	Perspectiva
Linebaugh 2014	La privatización destruye a los comunes. La expropiación (o privatización) intensifica la explotación del ser humano. Todo puede ser compartido sobre todo en circunstancias de reciprocidad. Los comunes son un verbo porque el trabajo es una parte indisoluble de estos. Los comunes son una relación. El trabajo y los recursos deben de traer beneficios a todos. El Estado debe supervisar la equidad en los comunes.
Bollier 2014	La privatización de los recursos es un tipo de robo que atrae poca atención, en parte porque el gobierno juega un papel central en legitimarlo. Si los mercados toman el cargo en la producción y el Estado en la gobernanza, se pierde el acceso a los comunes. Los comunes combinan una comunidad distinguible con un conjunto de prácticas sociales, valores y normas. La política liberal tiene problemas en reconocer los intereses colectivos porque el Estado liberal es un sistema formal manejado por el gobierno que se centra en derechos individuales.
Ostrom 2011	Ni la propiedad privada ni el Estado son totalmente adecuados para el manejo de los comunes. La otra opción es la propiedad comunal. Los comuneros tienen acceso autoregulado al común. Hay reglas de uso y mantenimiento de los comunes para poder interaccionar con los comuneros. Existe un rol facilitador (secundario) del gobierno por el enfoque marcado por el individualismo metodológico y el modelo de actor racional.
Esteva 2014	Los comunes no se definen por títulos de propiedad. Cada comunalidad (formas similares de ser, ver y pensar) comparte de manera diferente y por lo tanto el acceso es local. Los comunes son sociales porque comparten reglas y valores. Los gobiernos incrementalmente operan como administradores de corporaciones privadas, pero esa perspectiva debería de desaparecer
Helfrich y Bollier 2021	Los comunes no son recursos no son propiedad de un individuo o colectivo son una relación social. Los comuneros con relación social tienen acceso. Cooperación y ayuda mutua, alinear intereses individuales y colectivos como prácticas principales. El procomún se basa en vida social, sustento y gobernanza. La alianza gobierno- comunes es de menor costo que la gobierno-privada por poseer una lógica institucional más flexible y una participación social más distribuida.

Fuente: elaboración propia con información de Linebaugh, 2014; Bollier, 2014; Ostrom 2011; Esteva 2014; Helfrich y Bollier, 2021.

Así, la propuesta de Ostrom, 2011 establece que el gobierno tiene un papel muy tangencial y se basa en el individualismo metodológico y en la perspectiva del actor racional, según la cual el individuo maximiza su ganancia, que en el sentido de Ostrom es el bien común. Es decir, conservar el recurso es lo que les conviene a todos y es en esa línea es que se entiende maximizar la ganancia. Esta corriente de pensamiento no concibe que el gobierno debe de intervenir en los procesos de los comunes, sino que ellos mismos son los que deben de establecer y diseñar sus reglas para gestionar, manejar, hacer uso y preservar sus recursos.

Sin embargo, en este trabajo se considerarán las propuestas de Linebaugh, 2014, Helfrich y Bollier, 2021 así como Esteva, 2014 que establecen que el gobierno puede tener una injerencia positiva y apoyar a los comunes. Es decir, el punto no es si el gobierno tiene un papel en los comunes sino en qué grado y bajo qué términos (Bollier, 2014). De eso se trata esta investigación, de entender cómo el gobierno reconoce a un grupo de comuneros como un interlocutor legítimo. Es decir, cómo se forman alianzas público (gobierno) - comunes que tienen como objetivo ofrecer vías estables y seguras para que las personas colaboren, a menudo en el ámbito local, para ofrecer beneficios los unos a los otros, así como al gran público (Helfrich y Bollier, 2021). En este caso, se hablará de cómo los agricultores chinamperos de Xochimilco se organizan para mantener el nivel del agua en los canales chinamperos orientados a la producción agrícola.

Metodología

Con base en las Reglas de Operación y en la Evaluación del Programa Altépetl Bienestar 2021 publicadas en la Gaceta Oficial de la Ciudad de México, así como con la aplicación de algunas entrevistas semi-estructuradas a agricultores chinamperos, es que se determinó la sinergia o la obstaculización del Programa Altépetl en la colectivización alrededor del agua en Xochimilco.

Programa Altépetl Bienestar

El Programa Altépetl Bienestar es una política pública de la Ciudad de México, que se encuentra en operación desde 2019 y es implementada por la Dirección General de la Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR). Adicionalmente, el Programa cuenta para su operatividad con un Comité Técnico de Asignación de Recursos (CTAR).

Según las Reglas de Operación: “El problema público que atiende el Programa Altépetl corresponde a la pérdida y deterioro del suelo de conservación, asociado a los cambios de uso de suelo sobre los bosques, terrenos agrícolas y humedales, el crecimiento de la mancha urbana, el desarrollo de asentamientos humanos irregulares, la degradación de los ecosistemas forestales, la expansión de la frontera agrícola. Ello ha empobrecido y afecta de diversas maneras y grados a todos los habitantes de la Ciudad de México y su zona metropolitana” (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020).

La población potencial del Programa Altépetl son las nueve alcaldías con suelo de conservación (Cuajimalpa de Morelos, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Tláhuac, Milpa Alta, Xochimilco, Iztapalapa y Gustavo A. Madero).

Asimismo, según las reglas de operación: “La intervención del gobierno a través del presente Programa se justifica en el desarrollo de acciones sociales tendientes a atender, mitigar y/o disminuir una serie de factores críticos, tales como: a) la pérdida de la biodiversidad; b) la disminución de la masa forestal; c) las condiciones adversas que en el sector primario enfrentan como: el uso de tecnologías inapropiadas y obsoletas, la pérdida de los saberes productivos tradicionales, la desarticulación de los mercados y la baja productividad; d) prevalencia de Índices de pobreza y marginación en la población que habita el suelo de conservación.

En el caso de la Zona Patrimonio Mundial, Natural y Cultural de la Humanidad en Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta, que resguarda la herencia y el paisaje chinampero y las montañas donde se recarga el manto acuífero del sistema lacustre, el crecimiento de la mancha urbana, el aumento de la población en asentamientos irregulares, el turismo, el cambio de uso de suelo, el aporte de aguas residuales y el uso de fertilizantes, han generado serios problemas de perturbación y deterioro ambiental que se deben atender” (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2020).

Además, el Programa Altépetl cuenta con cinco componentes: 1 Bienestar para el bosque (para zonas forestales con recarga de acuíferos, fomento de conservación de suelo y agua. Tiene como

fin conservar, proteger, preservar y monitorear las zonas forestales, pastizal natural, matorral xerófilo, barrancas, ríos, canales y cuerpos de agua del suelo de conservación, de acuerdo con sus distintas clasificaciones o decretos, de los ecosistemas conservados, a través del fomento y adopción de prácticas de conservación para el manejo de los bienes naturales y la implementación de proyectos de desarrollo comunitario); 2 Sembrando Vida (producción agrícola en humedales entre otras zonas. Enfocado a incrementar la productividad bajo un enfoque de sustentabilidad y con una visión de desarrollo regional, mediante el otorgamiento de ayudas económicas y en especie, asistencia técnica y capacitación que aseguren a los propietarios o poseedores de las unidades de producción, ingresos superiores a la línea de bienestar en el suelo de conservación, mediante el establecimiento de sistemas productivos agroecológicos, agroforestales, cultivos tradicionales y producción apícola.); 3 Bienestar para el campo (desarrollo agroproductivo comunitario en el suelo de conservación de la Ciudad de México, agroturismo. Dirigido al fomento de la producción agroecológica, la ganadería sustentable, el manejo y aprovechamiento de la vida silvestre, la transformación y acopio de la producción primaria, la comercialización de productos; la promoción y el fortalecimiento de la organización rural comunitaria; así como el impulso a la cooperación para lograr la generación de bienes y diversificación de ingresos de las actividades agropecuarias, fomentando el desarrollo y la diversidad de formas de turismo en el suelo de conservación de la Ciudad de México); 4 Facilitadores del Cambio (asistencia técnica. Dirigido a mujeres y hombres que proporcionarán acompañamiento técnico, social y productivo para el desarrollo comunitario a personas beneficiarias del programa Altépetl Bienestar en los componentes Sembrando Vida Ciudad de México, Bienestar para el Campo y Bienestar para el Bosque. La asistencia técnica proporcionada por las personas Facilitadores del Cambio fortalecerá el aprovechamiento productivo, la restauración y conectividad de los ecosistemas y agroecosistemas mediante el establecimiento de sistemas agroforestales, y el fomento de la agroecología en la superficie del suelo de conservación.

Se coadyuvará en la sanidad animal y vegetal, la conservación -in situ y ex situ- de semillas y cultivos nativos, el manejo y aprovechamiento de la vida silvestre, el turismo rural, la transformación y comercialización, así como el desarrollo de las Comunidades de Aprendizaje Campesino (CAC), mediante el diálogo de saberes basado en el intercambio de conocimientos y experiencias. El apoyo y seguimiento de las actividades operativas y administrativas del Programa, estará a cargo de mujeres y hombres que integran la Unidad Técnica Operativa (UTO)); y 5 Desarrollo de Capacidades y Bienestar Rural (profesionalizar a los beneficiarios. Enfocado a profesionalizar a las y los Facilitadores de Servicios en aspectos técnicos, operativos y administrativos del Programa, así como para desarrollar capacidades técnicas, organizativas y productivas de personas beneficiarias del programa, en temas estratégicos relacionados con los objetivos del programa Altépetl Bienestar.) (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México [SEDEMA], 2024) En el orden en el que están mencionados los componentes tienen el presupuesto de mayor a menor.La población objetivo son personas mayores de edad que realicen actividades de conservación, forestales, agropecuarias, de comercialización de productos del campo y de conservación del patrimonio cultural en ejidos, comunidades y pequeña propiedad privada dentro del suelo de conservación en la Ciudad de México, que habiten en localidades rurales con niveles de pobreza alta y muy alta y que preferentemente se encuentren por debajo de la línea de bienestar rural.

Además, el Programa Altépetl trabaja en manera conjunta con CONAGUA en acciones de rehabilitación de infraestructura hidroagrícola.

La evaluación del Programa Altépetl 2021, parte de encuestas a beneficiarios que corresponden a 12,437 ayudas otorgadas a través de los distintos componentes del programa (son 13,000 beneficiarios en total, de los cuales 41% son mujeres). Este programa cuenta con un presupuesto de 1, 000, 000, 000.00 de pesos de los cuales la mayor parte (435, 000, 000.00 pesos) está destinada para el componente de Bienestar para el Bosque, pero la mayor parte de beneficiarios son del componente Bienestar para el Campo. En el año 2021, 33% de los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios del suelo de conservación tuvieron acceso al Programa. Para el ciclo 2021, el primer lugar por número de beneficiarios fue Xochimilco, el segundo Milpa Alta, el tercero Tláhuac y el cuarto Tlalpan. La mayor parte de los beneficiarios tiene entre 30 y 39 años. La propiedad de la tierra del programa es

51.4% propietario, 22.1% arrendatario, 13.3% usufructuario y 13.2% en comodato (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2022).

En la evaluación cualitativa se indica que “En las áreas de conservación y preservación de los recursos naturales, con la presencia del Programa Altépetl Bienestar, se ha fortalecido la participación de las comunidades con acciones de Conservación Comunitaria… han adquirido una manera distinta de organizarse y reconocen la importancia de compartir experiencias y del trabajo en conjunto para obtener mejores resultados en sus Unidades Productivas. Así, hay problemas que no pueden ser resueltos de manera aislada si no que requieren de acuerdos a través del fortalecimiento de un tejido básico de actividades que pueden ser reforzadas por otras áreas, así como por los recursos y medios de que dispone la Dirección General de CORENADR, y para las cuales el programa es un nodo de gran relevancia.” (Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 2022). El Programa Altepetl Bienestar, a diferencia de otras políticas publicas pasadas, orienta la problemática del agua con un enfoque más integral. Así, a través de sus componentes se intenta no sólo conservar el agua de manera aislada, sino redoblar los esfuerzos para reforestar, impulsar el agroturismo e incentivar la asistencia técnica.

Xochimilco, chinampería y colectivización del agua

En Xochimilco, las chinampas son parte de ejidos (instituciones para manejar la tierra de manera comunitaria), pero también hay chinampas de pequeña propiedad privada. En el caso de la propiedad privada, lo que es considerado un común es la colectivización alrededor del sistema de irrigación compuesto por canales en torno de las chinampas. Así, el área de los canales es manejada colectivamente, aunque el gobierno influye en algunas decisiones también.

Aunque las chinampas no son exclusivas del sistema lacustre de Xochimilco, encontrándose en otras áreas, las de esta zona datan de 200 años antes de la llegada de los españoles (Toledo y Barrera-Bassols, 2008). Las chinampas se han co-adaptado con el hombre, han sobrevivido muchos siglos, son muy eficientes productivamente porque permiten varias cosechas al año (debido en parte al reciclaje de nutrientes), dan lugar a que la humedad permanezca debido a la estrechez de su diseño, recargan acuíferos, ponen un freno al crecimiento urbano, implican un conocimiento etnobotánico y de organización, proveen de trabajo, así como fomentan la cultura del lugar (Altieri, 1999; Robles et al. 2019).



Imagen 1. Canales chinamperos en Xochimilco agrícola. 2022. Crédito: Libertad Castro Colina.

A pesar de que el Programa Altépetl Bienestar trata los problemas hídricos de una manera más integral que las políticas públicas pasadas, ya que se enfoca en la restauración ecológica, en la asistencia técnica, en trabajar junto con CONAGUA, y en atender problemas sociales como la pobreza, existen retos que los habitantes identifican para mejorar la agricultura chinampera y la cantidad y calidad del agua en Xochimilco. Así, en esta área existe una organización entre los productores para interactuar con el gobierno y poder transmitir demandas colectivas y comunes: “Nos dedicamos a ver la problemática, detectarla y después ir a las dependencias como CORENA, como Alcaldía, como Sistemas de Agua, a quien le competa, ir a exponer la problemática y buscar una posible solución entre autoridades y nosotros como productores, hay trabajos que realizamos…” “veía yo que habían obras que programaba el gobierno, vamos a hacer esto, una excusa, para pasar de un nivel a otro por el agua, qué pasaba, que ya cuando venía la obra, el dueño de ese espacio, bueno de la chinampa, porque no hay dueños de los canales, decía sabes qué, aquí no la haces, entonces ahora ya no, ya nos estamos poniendo de acuerdo entre los productores, gobierno e instituciones para poder hacer esto. Entonces también es muy importante la organización entre productores” (Entrevista a agricultor S, 1 junio 2022). Así, los chinamperos en colectivo organizado transmiten sus ideas y peticiones de manera más eficaz.

Por otro lado, los productores también indican que existe una relación entre la mejora de la cantidad

y calidad del agua y sus organizaciones comunitarias: “No es por nada, pero de Atenco hacia Puente de Urrutia, tenemos la mejor cantidad de agua, por qué, porque nos organizamos. Nosotros somos un grupo organizado de seis parajes, y nos ha dado resultado eso, primero porque es difícil en San Gregorio… ha habido muchos grupitos, que son como llamarada de petate, nada más se encienden, pero asimismo se apagan, pero nosotros poco a poco… Va a ver la diferencia de cantidad y calidad del agua que tenemos y no es por obra de Dios, es porque nos hemos sabido organizar, tenemos un fin y luchamos por eso.” (Entrevista a agricultor S, 1 junio 2022). Así, afirman que “A veces existe el estigma, que Xochimilco se está regando sus hortalizas con aguas negras, con agua sucias, se pelea, siempre se ha peleado para que no sea así, el agua que ocupamos nosotros es agua tratada a nivel terciario, viene normada por SACMEX, que es el que nos dota de agua, es la institución que se encarga de todo esto. Y, nosotros de este lado, de lo que nos estamos encargando es que no haya descargas de los vecinos, ya salió bien de allá que aquí no pase mal.” (Entrevista con agricultor Se, 13 junio 2022). El común hídrico se cuida con la organización comunal que también interfiere con la manera en la que se relacionan con el gobierno.

También se hace mención del vínculo entre agua, agricultura y trabajo comunitario: “para nosotros producir necesitamos agua, para tener agua tenemos que hacer obras, a veces nosotros, cuando son pequeñas e inmediatas las hacemos nosotros, a veces pedimos apoyo [del gobierno]… tenemos que ver la calidad del agua, por qué, porque de eso depende de que haya menos plagas…” (Entrevista a agricultor S, 1 junio 2022).

Asimismo, existe la preocupación acerca de la vivienda: “Pero, qué otra cosa nos afecta el medio ambiente, la vivienda, que alcaldía [Xochimilco] no tiene un programa de regularización, de planeación de la zona urbana.” (Entrevista a agricultor S, 1 junio 2022). Así, se denota que el gobierno no controla de manera adecuada las cuestiones de vivienda. “Nosotros no estamos en contra de la vivienda bajo ciertos parámetros, reglas.” (Entrevista con agricultor H, 1 junio 2022). “Se pueden implementar unas ecotecnias, compañeros que viven en la zona chinampera y que tienen baños secos, que tienen unas cositas que aminoran el impacto, pero hay otros compañeros que tienen su casa enorme completamente de concreto, que aparte es susceptible a cualquier problemática por la zona, por el tipo de suelo, pero ahí están y ahí los dejaron estar” (Entrevista con agricultor Se, 1 junio 2022). ¿Quiénes los dejan estar?: el gobierno.

Además, se expresa que hay desinterés y mal entendimiento por parte del gobierno: “porque si nosotros no le metemos trabajo que requiere para ir a ejercer la gestión, pues lo demás, al gobierno no le interesa, le interesa porque nosotros vamos y estamos friegue y friegue, pero él por sí mismo, no, entonces esto se va abandonar y se va a perder, y se perderían muchos años de historia, porque estas chinampas son únicas en el mundo, se perderían, y nosotros nos quedaríamos sin empleo, porque la verdad no sabemos hacer otra cosa más que producir alimentos”. (Entrevista con agricultor S, 1 junio 2022). “Llegamos con propuestas, esto es lo que se necesitaría, en lugar de que ellos lleguen y nos pongan algo sobre la mesa, pero cuál es el ejemplo que nos dan, es que nos den unos zapatos, pero yo ocupo un pantalón…“ (Entrevista con agricultor Se, 1 junio 2022). Es decir, los chinamperos hacen ciertas demandas concretas, colectivas y consensuadas, pero el gobierno no siempre las atiende de manera correcta y efectiva ni en el sentido que ellos proponen.

Para los agricultores el común es el agua: “el común era el agua, los canales que estaban conectados desde la zona norte hasta la zona sur todo, ahorita pues desgraciadamente se han perdido justamente por lo que decían los compañeros, por una omisión de en su momento poder frenar algunas causas, lo estamos intentando combatir un poquito, frenar ya no hay, lo vemos muy complicado el hecho de rehabilitarlo, de volverlo a los tiempos… pero por lo menos que no siga deteriorando, hablamos nosotros ya de conservación en este momento” (Entrevista con agricultor Se, 1 junio 2022). Además, los chinamperos se organizan entorno a los hundimientos: “Ahora lo que nos toca es la administración del agua, que derivado de todo este hundimiento provocado por la explotación de los mantos, toda el agua se está yendo por la parte baja, necesitamos administrarla desde aquí e ir dosificando y que todos tengamos agua, vamos a sacrificar esta navegación, ya no podemos navegar desde acá hasta allá abajo como antes se hacía pero por lo menos tenemos agua, que es el elemento base de la estructura, de la composición chinampera, entonces

con esto podemos regar y cumplir con esto que se llama la producción intensiva, aquí no tenemos el problema de no ha llovido, el temporal no pasó, se pierden cosechas, tenemos la fortuna de tenerlo a un lado". (Entrevista con agricultor Se, 13 junio 2022). Lo anterior, denota una organización en la colectivización del agua.

Adicionalmente, se dice que las leyes existen, pero el cumplimiento puede quedar suelto: "para qué queremos tanto diputado haciendo tantas leyes si no hay quien las cumpla" (Entrevista con agricultor S, 1 junio 2022). "El plan de manejo del Área Natural Protegida (ANP) es detallado. Sin embargo, como muchas de las normativas, en su elaboración tuvieron algunas fugas y no todo ha sido aplicado y el problema es el marco regulatorio, igual el programa de ordenamiento, igual tú puedes decir no puedes hacer esto, pero al fin y al cabo quién lo regula, dónde está el presupuesto para la instancia que debería regularlo." (Entrevista con agricultora Sel, 13 de junio 2022). Así, el gobierno pone en papel regulaciones que no se cumplen, al menos no de una manera adecuada.

Los chinamperos también están preocupados por la concientización con respecto al cambio climático: "lo que queremos es que el comprador no venga nada más por una lechuga, sino que genere una lealtad o algo que diga que al mismo tiempo que estoy comprando esta lechuga también estoy conservando el área verde de la Ciudad de México, como habitante de la ciudad le debe de interesar que esto exista, porque hablamos de dos grados de temperatura si esto se pierde". (Entrevista con agricultora Sel, 13 de junio 2022). De este modo, se valora la zona como un elemento de amortiguamiento ante el cambio climático.

Finalmente, el acceso al agua de calidad y a la incorporación al esquema de soberanía alimentaria debe de ser para todos. Así, expresan: "¿Quién puede pagar un producto agroecológico? El acceso al agua, a los alimentos de calidad, ya es apostar a un proceso como de seguridad alimentaria, quienes realmente podrían, si todos como ciudadanos tenemos derecho a la alimentación de calidad, de cantidad. Igual el mercado orgánico, ahorita está cooptado por quien puede pagar un certificado, en eso se va a convertir la agroecología, para quien pueda pagar un certificado, cuando el productor como el consumidor merece ese alimento, sano, limpio, tenemos que promoverlo con más compañeros, no vamos a caer en el mismo juego del sistema económico que nos está invitando, a veces sólo invitamos a ferias a los que están certificados. Un alimento sano tendría que ser para todos. La alimentación es una necesidad básica, así como el agua. La importancia de unirnos y tratar de que más compañeros vean las ventajas de trabajar en equipo que es bien difícil. " (Entrevista con agricultora Sel, 13 junio 2022).



Imagen 2. Agricultora chinampera de Xochimilco. 2022. Crédito: Brenda Reyes Olivares.

Problemáticas y oportunidades

La zona de los canales chinamperos en Xochimilco presenta problemáticas que podrían aminorarse con el refuerzo de programas gubernamentales que estén enfocados en los siguientes aspectos: 1) espacios de discusión entre los agricultores, así como entre los agricultores y el gobierno; 2) calidad y cantidad de agua, así como aguas residuales; 3) vivienda irregular; 4) leyes que no se cumplen o vigilan; 5) cambio climático; 6) derecho a alimentos sanos y limpios; 7) relación con el Área Natural Protegida y planes de ordenamiento territorial; 8) priorización del área turística y olvido de la zona chinampera (Tabla 3).

Tabla 3 Problemáticas y oportunidades para mantener la colectividad del agua alrededor de los canales chinamperos en Xochimilco, Ciudad de México.

Problemáticas	Oportunidades
Espacios de discusión entre los agricultores y entre los agricultores y el gobierno.	Calendarización de reuniones formales entre la mayoría de los agricultores organizados por parajes y entre ellos e instancias gubernamentales como CORENADR.
Calidad y cantidad de agua, así como tratamiento de aguas residuales.	Hacer talleres de educación popular para realizar monitoreo ciudadano y ciencia participativa.
Vivienda irregular.	Generar un plan de vivienda con normas de desechos y localización alejada de la agricultura chinampera.
Leyes que no se cumplen o vigilan.	Establecer comités de vigilancia comunitarios que impongan sanciones consensuadas y conforme a la ley.
Cambio climático.	Concientización de la población local y regional de la importancia de la zona como área de amortiguamiento para el cambio climático.
Derecho a alimentos sanos y limpios.	Programas para distribuir alimentos locales producidos bajo esquemas sustentables.
Relación con el Área Natural Protegida y planes de ordenamiento territorial.	Clarificar límites territoriales y de actividades.
Priorización del área turística y olvido de la zona chinampera.	Propuestas de eventos agroturísticos que revaloricen la zona.

Fuente: elaboración propia con información de entrevistas.

Para poder acceder a todas las oportunidades es necesaria una mayor sinergia entre el gobierno y los agricultores chinamperos de Xochimilco. Esta sinergia se podría establecer en acercamientos continuos y diálogos honestos con información precisa y adecuada.

Conclusiones

El Programa Altépetl Bienestar ha favorecido en cierta medida la organización comunitaria en torno al agua. Así, el componente Bienestar para el Bosque y las colaboraciones entre el Programa y la CONAGUA están dirigidos directamente al mantenimiento hídrico del humedal en Xochimilco. Además, los otros cuatro componentes (Sembrando Vida; Bienestar para el Campo; Facilitadores del Cambio; Desarrollo de Capacidades y Bienestar Rural) también impactan porque, aunque de manera indirecta con respecto al agua, tienen el objetivo de conservar el área mediante reforestación y asistencia técnica. Asimismo, los objetivos del Programa Altepetl Bienestar ya no están enfocados en extraer agua ni en verter contaminantes.

En la evaluación cualitativa del Programa se menciona que se ha favorecido la organización entre los habitantes de la zona, llevando a una consolidación de la organización. Esto está en concordancia con la visión y la perspectiva de los comunes según la cual el gobierno debe de apoyar a los comunes y establecer nexos para potenciar sinergias que magnifiquen resultados.

Por parte de los agricultores chinamperos, parece que una vez organizados, se acercan a instancias gubernamentales en busca de apoyo y en algunas ocasiones son escuchados. Ellos atribuyen esta escucha a su organización.

A pesar de que la organización comunitaria ha llevado a preservar la calidad y la cantidad de agua en las chinampas, existen vacíos que dejan problemáticas al descubierto. Entre las problemáticas más emblemáticas se encuentra la falta los espacios de discusión más formales, sobre todo entre los habitantes y el gobierno; vivienda irregular; y leyes que no se cumplen.

De este modo, todavía quedan espacios por trabajar alrededor del manejo del agua en los humedales históricos chinamperos de Xochimilco, que a su vez son una zona importante desde punto de vista ambiental y social, que es también necesario preservar por su cultura ancestral.

Así, tal vez, la solución radique en fortalecer al común que es el agua y la organización alrededor de ésta en una colaboración entre los habitantes locales, los de la Ciudad de México y las diferentes instancias del gobierno.

Agradecimientos

Agradezco a todos agricultores chinamperos de San Gregorio Atlapulco y Caltongo entrevistados con quienes se trabajó e interaccionó.
También me gustaría agradecer a la CORENADR, en especial al Ingeniero Juan Abel Vera Martínez, al Ingeniero Rubén Espinoza Manzano y al Ingeniero Héctor Carlón Carrizosa de la Coordinación del Centro de Innovación e Integración Comunitaria No. 4 (Xochimilco), encargados del programa Altepetl, por haberme facilitado el espacio y la logística de algunas entrevistas.
Además, las reflexiones de las sesiones grupales del Ostrom Workshop 2022 Summer Academy y las pláticas individuales con el Doctor Gustavo Torrens de Indiana University fueron de gran ayuda para robustecer mi marco teórico.

Referencias bibliográficas

Altieri, M. (1999). Applying agroecology to enhance the productivity of peasant farming system in Latin America. Environment, Development and Sustainability 1: 197–217.

Comisión Nacional del Agua [CONAGUA].(2024). Consulta a la Base del Datos del REDPA. https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx.

Bollier, D. (2014). Think Like a Commoner. A Short Introduction to the Life of the Commons. New Society Publishers. Gabriola Island. 224 pp.

Esteva, G. (2014). Commoning in the new society. Community Development Journal 49(no. Suppl 1):
i144-i159.

Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2020, 30 de diciembre). Aviso por el que se dan a conocer las Reglas de Operación del programa, Altépetl, para el ejercicio fiscal 2021. No. 504. 34-78 pp. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/482095dff950532190c7c353432874e8.pdf.

Gaceta Oficial de la Ciudad de México (2022, 5 de julio). Aviso por el cual se da a conocer el informe final de la Evaluación Interna del Programa "Altépetl Bienestar, para el Ejercicio Fiscal 2021. No. 887. 42-93 pp. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/e7a8ec38d1a5d64ae606844df58efa2b.pdf.

Helfrich, S. y Bollier, D. 2021. Libres, dignos y vivos. Icaria Editorial, Bajo tierra Ediciones. Ciudad de México: 463 pp.

Linebaugh, P. (2014). En Stop, Thief! The Commons, Enclosures, and Resistance. Michigan. 304 pp.

Ostrom, E. (2011). El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva. Universidad Nacional Autónoma de México / Fondo de Cultura Económica. México. 402 pp.

Pérez-Belmont, P., Lerner, A. M., Mazari-Hiriart, M., y Valiente, E. (2021). The survival of agriculture on the edge: Perceptions of push and pull factors for the persistence of the ancient chinampas of Xochimilco, Mexico City. Journal of Rural Studies 86 452-462.

Robles, B., Flores, J., Martínez, J. L. y Herrera, P. (2019). The Chinampa: an ancient Mexican sub-irrigation system. Irrigation and Drainage 68(1):115-122.

Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, (SEDEMA). (2024). Altépetl Bienestar. https://sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/altepetl.

Toledo, V. y Barrera-Bassols, N. (2008). La memoria biocultural. La importancia ecológica de las sabidurías tradicionales. Barcelona: Icaria Editorial.

Entrevistas

Entrevista con agricultora A. 31 de mayo 2022. Caltongo, Xochimilco, Ciudad de México.

Entrevista con agricultor An. 31 de mayo 2022. Caltongo, Xochimilco, Ciudad de México.

Entrevista a agricultor H. 1 junio 2022. San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, Ciudad de México.

Entrevista a agricultor S. 1 junio 2022. San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, Ciudad de México.

Entrevista a agricultor Se. 1 junio 2022. San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, Ciudad de México.

Entrevista a agricultor Se. 13 junio 2022. San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, Ciudad de México.

Entrevista a agricultora Sel. 13 junio 2022. San Gregorio Atlapulco, Xochimilco, Ciudad de México.

7 La logística de última milla, parques y zonas industriales: un riesgo para la gestión integrada del agua en la Megalópolis de México

Marta García-Galván[1]*, Francisco Herrera Tapia[1]

[1]Universidad Autónoma del Estado de México (*autor de correspondencia: margalvan@yahoo.com).

Resumen

Este texto tiene como objetivo analizar la gestión integrada del agua en la zona megalopolitana de México a partir de un análisis histórico de la evolución industrial que se encuentra en la región central del país, ya que dicha gestión se ha puesto en riesgo por la logística de última milla, parques y zonas industriales porque se han instalado muchas zonas industriales que demandan grandes cantidades de agua que han obtenido gracias al tráfico de influencias y a la corrupción que hay en el país en detrimento del acceso del vital líquido para los habitantes de este territorio que por derecho humano les corresponde, ya que esta región es la más densamente poblada del país. Es por ello, que se requiere evaluar y hacer un análisis de la problemática que están trayendo consigo las empresas y que además, están contaminando los cuerpos de agua y mantos acuíferos sin que la justicia les castigue y regule, por lo que los actores políticos, sociales, académicos y de la iniciativa privada tenemos que cooperar para generar políticas públicas comprometidas de rescate ambiental que favorezcan la vida de todos los seres vivos que habitamos en la megalópolis y en el mundo.

Introducción

En este capítulo se hace un recorrido histórico de la industrialización de la Megalópolis de México, que está integrada, principalmente, por la Ciudad de México, el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala, estados que son los más densamente poblados por múltiples razones. Por lo que en nuestro primer apartado hacemos un recorrido histórico de la industrialización de la Megalópolis desde la transformación de materias primas de las culturas que poblaron el territorio desde los tiempos prehispánicos hasta nuestros días.
En el segundo apartado hacemos un análisis de la problemática de la gestión integrada del agua en la Megalópolis de México por la industrialización y los asentamientos humanos, donde encontramos que hoy en día la logística de última milla, parques y zonas industriales están generando grandes problemas de gestión integrada del agua en la Megalópolis, como son los siguientes: La Cuenca Alta del Río Lerma; La región norte del Estado de México por el Parque Industrial Arco 57; La Cuenca Hidrológica Río Alto Atoyac; El Valle del Mezquital, La desecación de los lagos de la cuenca del Valle de México y el Sistema Cutzamala, por enumerar algunos.

En el apartado tres, se presentan algunas problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México derivadas de la elaboración de este capítulo.

En el apartado cuatro, se mencionan las conclusiones donde hacemos un llamado para que los actores políticos, sociales, académicos y de la iniciativa privada tomen cartas en el asunto para generar políticas públicas viables de saneamiento, ya que la gestión integrada del agua y el desarrollo de los habitantes de esta región del país está en riesgo debido a que México está estratégicamente posicionado en el mundo y a que la Megalópolis se ha convertido en una zona de fácil acceso por las grandes autopistas que se han construido en esta región como la Carretera Federal 57 (ruta Ciudad de México-Querétaro, también conocida como NAFTA) que conecta con Estados Unidos y la autopista Arco Norte que conecta con los puertos del Golfo y del Pacífico se han instalado muchas zonas industriales que demandan grandes cantidades de agua que han obtenido gracias al tráfico de influencias y a la corrupción que hay en el país en detrimento del acceso del vital líquido para los habitantes de esta región

Es por ello, que ahora que se pretenden instalar 100 parques industriales en este sexenio de gobierno en México, cabe hacerse la pregunta: ¿Sí se tiene considerada la demanda de agua y el saneamiento de estas empresas y dónde se van a ubicar? porque de lo contrario, sólo vendrán a complicar más la gestión integrada del agua en la Megalópolis de México.

Finalmente, se mencionan las referencias bibliográficas que fueron utilizadas para la realización de este capítulo.

Historia industrial en la Megalópolis de México

La historia industrial en México se origina con la primera transformación de materias primas entre las culturas que poblaron el territorio desde los tiempos prehispánicos. Disciplinas como la artesanía, construcción, orfebrería, cerámica, tejido, y la elaboración de alimentos y bebidas, dieron lugar a los orígenes del sector industrial en México. Fue con la llegada de los españoles, alrededor del año 1519, cuando la industrialización comenzó a configurarse de manera más profunda. En esta parte se empezaron a desarrollar industrias que tenían la finalidad de explotar los recursos mineros, principalmente, con una serie de actividades correlacionadas.

Así, en la etapa de la Conquista (1521 a 1525), industrias como la minera, textil, tabaco, del jabón y la pólvora, entre otras, se desarrollaron. También comenzó una fuerte inmigración, mayoritariamente de españoles, que crearon los incipientes mercados de consumo, lo que tuvo como consecuencia la catalización de la industria de la transformación como nunca antes (González, 2003).

Posteriormente, el porfiriato fue la época en que se instaló gran parte de la capacidad industrial de México. En los textiles de algodón, para citar un ejemplo, la mayor parte de la maquinaria en funcionamiento a finales de los años cuarenta fue instalada antes de 1910.
Esto también sucedió en otros sectores de manufactura. En la industria de la cerveza, del cemento, del acero, del papel, de los textiles de lana, del jabón y del vidrio, las compañías dominantes en los años treinta fueron fundadas de 1890 a 1910" (Haber, 1993).

También en este periodo de gobierno de Porfirio Díaz (alrededor de 1890), se generó la energía eléctrica en el país y se dio una de las etapas más importantes con el impulso a la actividad económica que lanzó a México sin precedentes al ámbito internacional. La agricultura se orientó a la exportación y producción de henequén, café, cacao, hule y chicle. Las condiciones para la llegada de capital extranjero se dieron mediante facilidades y concesiones otorgadas a diferentes empresarios de Estados Unidos, Francia, Inglaterra y Alemania. Se pagaron salarios bajos, lo que evitaba la llegada de inmigrantes, y se favorecía el empleo de mano de obra nacional con alta rentabilidad.

En esta etapa también se realiza la construcción y expansión de la red de ferrocarriles concedidos a las compañías extranjeras y el desarrollo de la minería de plata. Se privilegió un sistema económico capitalista que impulsó la llegada de empresas extranjeras que venían a México a beneficiarse de la mano de obra barata, y que además, contaba con una gran variedad de recursos naturales, tanto agrícolas como mineros y petrolíferos.

En esta época se potencializó la creación de la industria del transporte, privilegiando el comercio y las comunicaciones, con la implementación del telégrafo y posteriormente, el teléfono, con la instalación de diversas compañías privadas, lo que dio inicio al servicio telefónico de larga distancia.

Estos y otros acontecimientos económicos y políticos, dieron pauta para que el país entrara en una etapa de industrialización, lo que le facilitó en gran medida su entrada a la arena del comercio internacional.

El comercio, durante la etapa central del Porfiriato, tuvo un notable crecimiento, ya que estuvo orientado de manera fundamental a satisfacer las demandas de productos mineros y agropecuarios requeridos por el mercado internacional. Metales preciosos como la plata y el oro, cobre, plomo; fibras derivadas del henequén; materias primas como el caucho, pieles, maderas finas, maderas para construcción; alimentos como garbanzo, chile, café, frijol, vainilla y azúcar; y una serie de animales de registro, fueron parte de ese intercambio comercial.

A principios de 1895, las inversiones eran mayormente de capital privado extranjero y parte de capital privado mexicano. Los rubros que tuvieron mayor auge en este sentido fueron papelería, textiles, calzado, alimentos, cigarros, loza y vidrio, productos químicos; cemento y siderurgia. Éste último fue fundamental para el desarrollo del país (González, 2003 y Escamilla, 2020).

A raíz de la Revolución Mexicana y con el fin de la etapa del Porfiriato, el país sufrió un estancamiento importante en materia industrial, la mayor parte de las políticas públicas estuvieron orientadas al cam-

po y en cómo redistribuir la tierra con fines agrarios. Durante el gobierno del General Plutarco Elías Calles, la política agraria sufrió transformaciones más profundas, y se decreta la Ley sobre Repartición de Tierras Ejidales. En este periodo la industria no experimentó un crecimiento importante por las políticas populistas.

Hacia finales del periodo del presidente Lázaro Cárdenas (1940), se crearon las bases para tener la infraestructura necesaria, lo que dio viabilidad a las zonas de producción agrícola con infraestructura carretera y dando mayor conectividad hacia los centros de consumo.

El régimen cardenista se distinguió también por el apoyo otorgado a la actividad industrial del país estimulando la participación activa de los inversionistas mexicanos, aprovechando la crisis económica mundial de 1930, que provocó la retirada de los estadounidenses, cuyos capitales ya no se invertirían en nuestro país, así como la irrupción de la Segunda Guerra Mundial.

A fines del sexenio, el gobierno reglamentó la exportación de materias primas, con el objetivo que dichas materias fuesen utilizadas en México bajo condiciones preferenciales. Asimismo, en este periodo se modificó la Ley Hacendaria para fomentar la aparición de nuevas industrias.

A raíz de la Segunda Guerra Mundial, se sustituyen las importaciones para dar paso a la producción de bienes manufacturados nacionalmente. Este es el detonante histórico para la creación de las zonas industriales. Estas se establecieron principalmente en ciudades densamente pobladas, dado que la producción que generaban estaba íntimamente ligada con el consumo interno, y, en consecuencia, cerca de los propios mercados.

El proceso de industrialización se consolida a fines de la década de 1950 y principios de 1960; pero fue durante el periodo de años 1958 a 1964, que se brinda un impulso importante al sector industrial. Las fábricas instaladas se incrementaron en niveles de hasta 52%, lo que trajo como consecuencia la primera planeación urbanística para el asentamiento de los primeros polos de desarrollo industrial.

Si bien estos distan mucho de lo que conocemos actualmente como parques industriales, sí tenían la infraestructura que la industria contemporánea demandaba. El ordenamiento implicó cambios en el uso de suelo de la tierra, con lo que se legislaron las primeras reglamentaciones para la construcción de naves industriales.

Los sectores que tuvieron más auge en esta época fueron el automotriz, petroquímica, industria metalmecánica y de papel.

Durante el periodo de 1964 a 1970, el gobierno dio un impulso especial a la industrialización rural, las obras de irrigación y el desarrollo de la electrificación a gran escala. En este periodo cobran más relevancia las zonas industriales dentro de las ciudades que, sin ser los parques industriales como los que existen actualmente, sí tienen un fin bien definido y específico.

También empiezan las agrupaciones de condóminos industriales y diversas agrupaciones que buscan el bienestar común para las empresas establecidas en dichas zonas.

La minería también tiene un resurgimiento. Se les da asistencia técnica a 13 entidades para localizar futuras zonas industriales y promover productos que eran factibles de elaborar en país con condiciones remunerativas; también se concedieron diversos estímulos fiscales.

El proceso de desarrollo industrial trajo consigo el crecimiento de las ciudades, y, por ende, la multiplicación de los trabajos urbanos en la industria y los servicios. Es a finales de la década de 1980 cuando se podría decir que surgen los parques industriales bajo la definición que prevalece hasta el día de hoy. La consolidación de estos parques se incrementa partir de los años posteriores a 1990, y continúa creciendo de forma vertiginosa en el territorio nacional con la creciente demanda de productos para el consumo interno, así como por la globalización.
Nuestro país ha suscrito tratados de libre comercio con más de 45 países, lo que, sumado a nuestra privilegiada posición geográfica, ha hecho que la industria nacional e internacional nos vea como un lugar único para la manufactura y distribución de diversos productos.

La integración en las cadenas de suministro globales ha experimentado en México una profesionalización en la mano de obra, procesos de desarrollo

de tecnología y optimización de costos que repercuten en ventajas competitivas en los productos terminados, lo que ha traído como consecuencia una importante inversión local y extranjera por parte de desarrolladores industriales inmobiliarios, a fin de albergar diversas industrias que encuentran en México su campo idóneo para el desarrollo (González, 2003).

Posteriormente, la pandemia de COVID-19 expuso vulnerabilidades significativas en las cadenas de suministro globales, llevando a un replanteamiento de las estrategias de producción y distribución. También, durante esa época, las tensiones comerciales entre Estados Unidos y China se escalaron, impulsando a las empresas chinas a buscar alternativas como México para mantener su cercanía con el mercado estadounidense.

Actualmente, el término "nearshoring" ha cobrado gran relevancia en el ámbito internacional, especialmente en el contexto de las relaciones económicas entre México y Estados Unidos. Esta estrategia, que implica la reubicación o creación de empresas cercanas a los mercados de destino, encuentra en México un terreno fértil debido a su ubicación geográfica, mano de obra calificada y costos competitivos.

En 2023, se reportaron más de 100 proyectos de nearshoring en México, con una proyección de aportar 30,000 millones de dólares y generar 1.1 millones de empleos. Se espera que para 2030, este fenómeno impulse significativamente la economía mexicana, aumentando las exportaciones y la inversión extranjera (Keo News, 2024).

América del Norte es uno de los principales destinos del nearshoring, ya que México comparte 3,152 kilómetros de frontera terrestre con Estados Unidos. Una vecindad que vuelve a México un candidato ideal y atractivo para el nearshoring. Los tratados de libre comercio entre México, Estados Unidos y Canadá pueden aligerar los aranceles. Alrededor de 80% de la producción industrial de México tiene como destino Estados Unidos (Lázaro, 2022).

Problemática de la gestión integrada del agua en la Megalópolis de México por la industrialización

Derivado del proceso de industrialización que se ha llevado a cabo en nuestro país y que abordamos en nuestro anterior apartado, hoy la Megalópolis de México, que está integrada principalmente por la Ciudad de México, el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala tiene graves problemas de gestión integrada del agua, ya que sus principales cuerpos de agua han sido contaminados por los desechos industriales, humanos y agrícolas, al mismo tiempo que las zonas y parques industriales demandan grandes cantidades de agua para su producción. Agua que se requiere para la población de dicha zona, ya que a consecuencia de la industrialización y la concentración de servicios públicos es la más densamente poblada de México y se ha dado prioridad a concesiones otorgadas por la Comisión Nacional del Agua para el uso indiscriminado de ésta para la producción industrial en detrimento del derecho humano al agua que corresponde a la población que vive en dicha región.

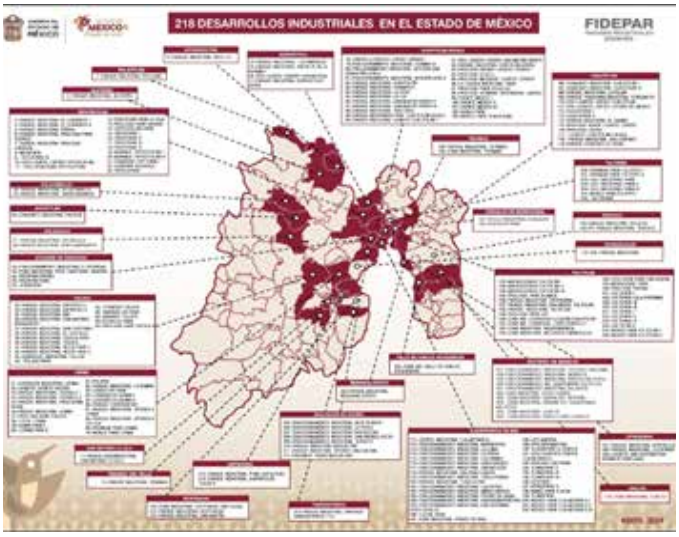
La Cuenca Alta del Río Lerma

Basta señalar que en esta zona se encuentra el río Lerma que nace en Almoloya de los escurrimientos y viaja por diferentes estados hasta desembocar en la laguna de Chapala, en Jalisco. Este cuerpo de agua atraviesa el Estado de México, Querétaro, Guanajuato y Michoacán, hasta llegar a Jalisco, y de ahí corre a través, de Nayarit hasta llegar al Océano Pacífico. Tristemente, una de las características más grandes de este afluente es que puede ser considerado como el río más contaminado de todo el país. A lo largo del río hay zonas industriales, zonas ganaderas y de asentamientos humanos que complican la gestión integrada del agua.

Todo empieza como lo narró Eduardo Quezada, vecino de Lerma: "Yo me encontraba pescando aquí en el arco y vi que empezaban a bajar hilos de color verde y amarillos, no sabía qué estaba pasando; luego me di cuenta que era la empresa 'Química Sol', que fue la primera planta que empezó a contaminar. Posteriormente, se instaló Tupperware y echó sus desechos a una zanja que había y empezaron a morirse los árboles. Estas fueron las dos primeras empresas que contaminaron el río".

Tupperware se instaló en Lerma en 1966. En sus inicios contaba con seis máquinas de inyección de plástico para fabricar los productos, de acuerdo con el sitio oficial de la empresa. Después la planta de Lerma era la más grande del mundo: tenía ya una extensión de 10 hectáreas y 57 máquinas que elaboraban 30 millones de productos anuales (Pérez, 2013).

Actualmente, el Fideicomiso para el Desarrollo de Parques y Zonas Industriales en el Estado de México (Fidepar), señala que el Estado de México cuenta con 218 desarrollos industriales. Los municipios que concentran el mayor número de parques industriales son Tlalnepantla de Baz, Cuautitlán Izcalli, Tultitlán, Tepotzotlán, Lerma y Toluca. Los parques industriales mexiquenses albergan más de 3,888 empresas, destacándose las del ramo automotriz, alimenticio, químico y plástico. De los 218 parques industriales, 34% son municipalizados; 65% privados y 1% es administrado por el Fideicomiso para el Desarrollo de Parques y Zonas Industriales en el Estado de México (Fidepar, 2024).



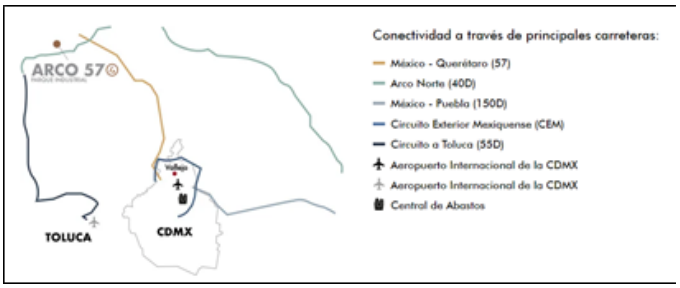
Mapa 1. Parques Industriales en el Estado de México (218).
Fuente: Fidepar, 2024.

Es por ello, que, en los más de 70 años del proceso de industrialización en la Megalópolis, la contaminación de los ríos se debe a la actividad industrial y al desmedido crecimiento urbano. Debido a sus grandes concentraciones de contaminantes, las aguas del Río Lerma suelen teñirse de negro, y expiden fuertes olores a hidrocarburos.
Además, la población de las zonas que atraviesa tampoco lo cuidan tanto: continuamente son arrojados al cauce residuos de todo tipo, además de animales muertos, escombros, etc., sin contar las descargas de aguas residuales que se hacen sin miramientos.

Se estima que para sanear el río Lerma son necesarios alrededor de 14 mil millones de pesos, cantidad que ninguno de los últimos tres gobiernos federales ha invertido, según el Consejo de la Cuenca Lerma Chapala (Carrasco, 2024), pero más que dinero se requiere voluntad política y social de los actores involucrados.

El Parque Industrial Arco 57

Otro problema detectado en el Estado de México es el reciente Parque Industrial Arco 57. Ubicado en el corazón del centro de México, justo en el cruce de 2 de las principales carreteras del país: Carretera 57 (NAFTA) y Arco Norte. Actualmente se encuentran asentadas empresas de gran importancia en la industria de alimentos y retail, que confirman al parque industrial Arco 57 como la mejor opción en la región por su ubicación, ya que tienen conectividad con las principales carreteras (ver mapa 2).



Mapa 2. Conectividad del Parque Industrial Arco 57.
Fuente: Frontier. Industrial & Logistics Real Estate (2024).

El Parque Industrial Arco 57 está ubicado en Soyaniquilpan - Jilotepec, Estado de México y es considerado el desarrollo inmobiliario industrial de mayor flexibilidad dentro del corredor logístico más importante del país.

Surgido como idea desde 2008, Arco 57 materializa un ambicioso proyecto con una inversión de 466 millones de dólares a través del fondo diversificado de capital privado Artha Capital y la misión de atraer más empresas a la región norte del Edomex. Una vez concluidas sus 2 fases de desarrollo, abarcará 635 hectáreas (ver figura 1).

Al participar como socio de este complejo industrial –aportando una parte del terreno– el gobierno mexiquense proyecta la creación de 10 mil empleos directos y 15 mil indirectos en la región de cara al 2025.

Durante la inauguración de la planta de Niagara Bottling en abril 2019, el gobernador Alfredo Del Mazo dio a conocer que, luego de un recorrido por varios estados del centro del país, los directivos de esta compañía (una de las embotelladoras de agua más grandes del mundo) eligieron Arco 57 para destinar su inversión al considerar factores como:

- Acceso a mercados de alta densidad poblacional.
- Infraestructura y servicios de calidad mundial.
- Fuerza laboral calificada y cercana.
- Acompañamiento de las autoridades.
- Amplia conectividad carretera, ferroviaria y aeroportuaria eficiente y segura (Frontier. Industrial & Logistics Real Estate,2024).

Pero lo que no dijo el gobernador de ese entonces, Alfredo Del Mazo, fue que la empresa Niagara Bottling fue instalada en terrenos ejidales que fueron comprados a campesinos de la zona Norte del Estado de México con engaños a muy bajo costo y regularizados en componenda con actos de corrupción con autoridades municipales, estatales y federales para poder vender las tierras ahora en dólares. Además a la empresa Niagara Bottling fueron entregadas concesiones de agua por parte de la Conagua por muchos años que le permitieron a la empresa perforar pozos artesianos en una cuenca vedada por la sobreexplotación de los recursos hídricos, pero a los campesinos que necesitan el agua para producir alimentos agrícolas, forrajes, leche y lácteos, porque cabe recordar que en esta zona está la cuenca lechera más grande del Estado de México, no les otorgaron ninguna concesión para perforar pozos. Entonces la pregunta es: ¿Por qué a la empresa Niagara Bottling sí le otorgaron concesiones para estar extrayendo el vital líquido y a los campesinos no?

Actualmente, Somos industria (2024), señala que se estima que la producción de dicha empresa sea alrededor de 465 millones de botellas al año. Por lo que, el vicepresidente y country manager de Niagara Bottling, Miguel Ángel Flores Moreno, reconoció el trabajo en equipo de las autoridades federales, estatales y municipales que permitieron la apertura de esta nueva planta, la cual, dará empleo a 125 personas en una etapa inicial, y una vez que inicie la distribución de su producto se lograrán crear mil plazas laborales.

Lo cual es otro engaño para su población porque prometieron crear fuentes de empleo y sólo generará 1125 plazas laborales, ya que es una empresa robotizada que no requiere de mucha mano de obra y que los empleos que genera son empleos precarios para la población que no tiene los conocimientos para manejar los robots, por lo que se tienen que descontar las plazas de los ingenieros que tuvieron que emigrar para manejar dichos robots. Entonces no es verdad que se genera desarrollo con estos parques industriales porque sólo vienen a sobrexplotar y contaminar nuestros recursos naturales que, sí generan desarrollo en nuestras comunidades y ponen en riesgo la gestión del agua comunitaria, así como el ciclo hidrológico y el saneamiento del agua residual, generando contaminación de matos acuíferos y cuerpos de agua superficial en la Megalópolis de México.

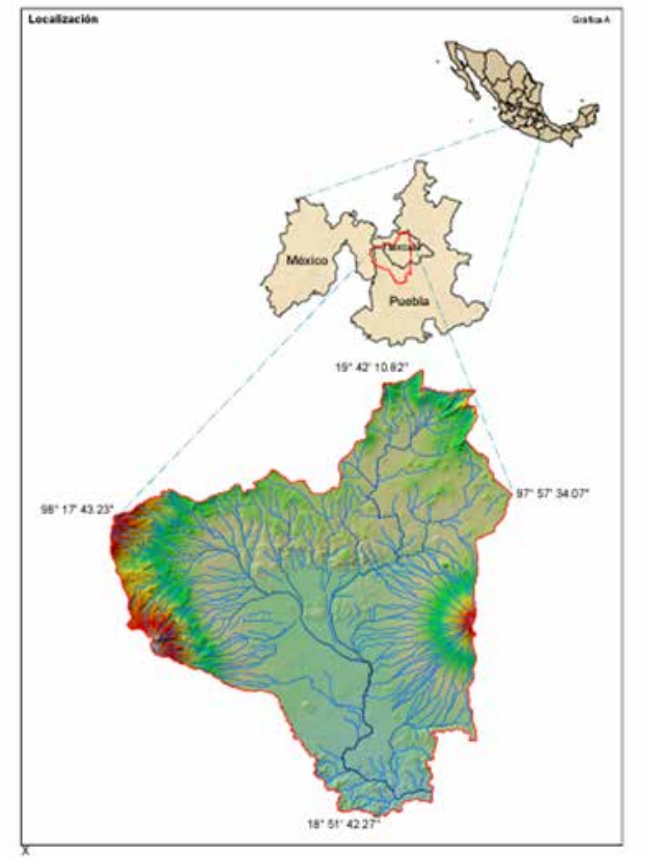


Figura 1. Parque Industrial Arco 57.

Fuente: Frontier. Industrial & Logistics Real Estate (2024).

La Cuenca Hidrológica Río Alto Atoyac

Por si fuera poco, la cuenca hidrológica Río Alto Atoyac, es otro claro ejemplo del grado de contaminación que ha originado la industrialización en sus alrededores. Abarca parcialmente los estados de Tlaxcala, Puebla y México (ver mapa 3), está constituida por 84 municipios. Forma parte de la cuenca hidrográfica Río Balsas, en la región hidrológica y administrativa RH18 y IV respectivamente, ambas conocidas como Balsas.



Mapa 3. Localización de la cuenca hidrológica Río Alto Atoyac.
Fuente: INEGI, 2019.

Dicha cuenca limita con las cuencas hidrológicas: Tochac-Tecocomulco y Río Tecolutla al norte; al sur con Río Bajo Atoyac y Río Nexapa; al oeste con Río La Compañía y Texcoco; finalmente al este con Río Libres Oriental (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2019).

En el municipio de Tlahuapan, el río Atoyac tiene un primer encuentro con aguas provenientes de actividades humanas e industriales, la siguiente parada es en San Martín Texmelucan donde aprovechan esta corriente en actividades agrícolas, domésticas e industriales. Ahí la refinería de Pemex y empresas del corredor industrial Quetzalcóatl, que incluye textilerías, metalúrgicas, industrias metalmecánicas, descargan en el río aguas residuales. La contaminación del río Atoyac afecta a más de 2 millones 300 mil pobladores de Puebla, por donde corre el caudal. El río Atoyac es considerado uno de los afluentes más contaminados del país, y se calcula que diariamente se lanzan 146 toneladas de materia orgánica, 62.8 toneladas de sólidos suspendidos y 14 kilogramos de metales pesados a sus 400 kilómetros de longitud aproximadamente (Conahcyt, 2024).

El Plan de Desarrollo Estatal de Puebla establece en sus Enfoques Transversales en la línea de acción 17 Atender de manera integral el saneamiento y la recuperación del Río Atoyac. Por lo que la recomendación 10/2017 hecha por la CNDH se atiende, por lo que, de manera conjunta con CONAGUA, CEAS el Sistema Operador de San Martin Texmelucan, Huejotzingo y Tlaxcala trabajan de la mano para mejorar la calidad del Medio Ambiente y buscan la manera de sanear el Rio Atoyac (SOSAPATEX, 2022).

El Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt), mediante los Programas Nacionales Estratégicos: Agentes Tóxicos y Procesos Contaminantes (Pronaces ATPC), Agua (Pronaces Agua) y Salud (Pronaces Salud), en concurrencia con organizaciones de base social, iniciaron el webinario “Primer Informe Estratégico Cuenca del Alto Atoyac: análisis de recomendaciones y nuevos aportes”.

Este encuentro virtual, que reúne a personas especialistas, analiza avances y recomendaciones del Primer Informe Estratégico Cuenca del Alto Atoyac (Tlaxcala y Puebla): región de emergencia sanitaria y ambiental; problemática socioambiental y recomendaciones para su atención integral, concluido en octubre de 2023.

Una región de emergencia sanitaria y ambiental (RESA), explicaron las y los expertos, es un espacio que presenta fuentes y procesos contaminantes concatenados que han provocado consecuencias graves en la salud de los habitantes. Conahcyt ha identificado 30 RESA en México, siete de ellas son prioritarias, entre las que se encuentra la Cuenca del Alto Atoyac (CAA).

Esta cuenca, integrada por varios municipios de los estados de Puebla y Tlaxcala, concentra 79.5 por ciento de la población de Tlaxcala y 42 por ciento de Puebla, lo que resalta la urgencia de impulsar acciones de incidencia y recomendaciones para avanzar y consolidar el saneamiento de la región (Conahcyt, 2024).

En las RESA, incluida la CAA, las comunidades han demandado durante décadas justicia socioambiental, mediante la atención adecuada y suficiente a las problemáticas asociadas a daños ambientales y sanitarios. Estas demandas han escalado hasta llegar a los tribunales éticos y comisiones internacionales sobre derechos humanos.

Uno de los argumentos usados en el pasado para invisibilizar las justas demandas de las comunidades afectadas en estas RESA, ha sido la falta de evidencia científica del efecto que tienen los procesos contaminantes sobre el deterioro de la salud. El primer informe responde a este argumento con abundante evidencia objetiva y rigurosa sobre el vínculo contaminación-salud, suficiente para justificar su inmediata atención.

En la primera sesión del webinario, cuatro especialistas coincidieron en que el informe brinda sustento científico riguroso a los programas gubernamentales que proporcionan atención desde las instancias federal y estatales, así como a las acciones y demandas que las comunidades de la cuenca tengan a bien llevar a cabo.

Por ello, a lo largo de cinco sesiones, expertas y expertos provenientes de la academia, gobierno y organizaciones de base comunitaria (OBC) brindarán nuevos aportes a este documento para seguir promoviendo soluciones a las problemáticas ambiental y de salud en la RESA.

La primera sesión, realizada este 3 de abril, elaboró una semblanza general del primer informe de la CAA, enfatizando en los hallazgos para la comprensión y atención de la situación de salud y ambiente en la cuenca. Se señaló que el aparente desarrollo económico y prosperidad en la región ha provocado que se presenten tasas de incidencia, prevalencia y mortalidad de enfermedades prevenibles mucho mayores a los promedios nacionales.

La evidencia científica presentada en este primer informe demuestra que estas altas tasas son causadas por la exposición a tóxicos y procesos contaminantes de las industrias asentadas en la zona, especialmente del ramo automotriz, eléctrico, químico y textil.

De acuerdo con el informe, entre los tóxicos más importantes se encuentran: metales pesados, metaloides, compuestos orgánico-sintéticos, plaguicidas, entre otros que se vierten al agua, al aire y al suelo.

El primer informe está centrado en los estudios de dos de las afecciones con mayor carga asociada a la exposición de tóxicos y procesos contaminantes imperantes: las enfermedades renales crónicas (ERC), que pueden llegar a ser letales en los pacientes más jóvenes, y las leucemias infantiles y juveniles (Conahcyt, 2024).

El Valle del Mezquital

El Valle del Mezquital es otro grave problema que ha sido identificado como uno de los 30 “infiernos industriales” en el país, donde se registran altos niveles de contaminación que tienen graves consecuencias para la salud de las personas que viven en la zona (Ameth, 2024).

La investigadora del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático y fundadora del laboratorio de Aerobiología de esa entidad, Irma Aurora Rosas Pérez. Ella y su equipo tomaron muestras del suelo y agua de Tlahuelilpan, Hidalgo, donde se recibe parte de los 1.2 millones de metros cúbicos diarios de aguas residuales provenientes de la Ciudad de México. Los universitarios detectaron la bacteria E.coli y la caracterizaron fenotípica y genotípicamente. También efectuaron análisis moleculares y confirmaron su resistencia a 22 de 23 antibióticos que probaron, entre ellos los Carbapenémicos, antibióticos de última generación.

La doctora en Ciencias Biológicas y pionera en México del área de la aerobiología añadió que hasta hace poco se pensaba que las plantas de tratamiento eran lo más adecuado para reducir la carga bacteriana del agua y mejorar su calidad, pero se ha detectado que, en el tratamiento secundario, en los “lodos activados” se generan cultivos de bacterias donde éstas se transmiten genes y se transforman.

Además, se incrementan los genes de resistencia. “Al pasar por la desinfección, la biomasa disminuye, pero aumentan los genes de resistencias” y debido a la escasez de agua en Hidalgo, que es un área semidesértica, se decidió utilizar aguas residuales -tratadas y no tratadas o “crudas”- para impulsar las actividades agrícolas del estado (ver foto 1).



Foto 1. Aguas residuales del Valle del Mezquital. Fuente: Rosas (2023). Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM.

La desecación de los lagos de la cuenca del Valle de México

La ciudad de México y la Zona Conurbada del Estado de México están situadas en lo que eran los grandes e importantes lagos de Texcoco, Zumpango, Xaltocan, Xochimilco y Chalco (Ver mapas 4 y 5); todos con un gran almacenamiento de agua debido a la gran cantidad de sus afluentes e importantes para la alimentación lacustre de sus pobladores y el desarrollo de sus pueblos, pero Gallardo (2017), señala que a partir del siglo XVI y a causa de la poca adaptabilidad de las técnicas hidráulicas provenientes de la Península Ibérica, han protagonizado una carrera en apariencia irrefrenable hacia su propia desecación.

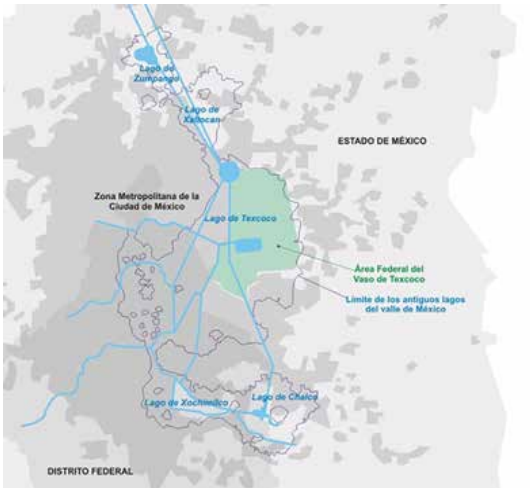
Es altamente probable que la poca adaptabilidad aludida se haya debido a las desemejanzas geográficas entre los paisajes americano y peninsular: mientras la Nueva España se hallaba en una cuenca, Castilla se encontraba en una llanura, y sus necesidades de desecación y abastecimiento de aguas eran, en consecuencia, profundamente diferentes.
Posteriormente, en el umbral del siglo XX, el ex presidente Porfirio Díaz incluyó en su agenda política, en el apartado de infraestructura, un estímulo especial para el desagüe efectivo del Valle de México. Más tarde, la modernización posrevolucionaria hizo que la mancha urbana creciera paso a paso en franco detrimento de los lagos de Xochimilco y de Chalco.

Por ello, Gómez (2023), menciona que, desde el establecimiento del hombre en la Tierra, éste se ha beneficiado de los servicios y recursos ambientales para su subsistencia, además de alcanzar mediante la explotación de éstos, beneficios y anhelos materiales y económicos. Esta práctica de explotación masiva de recursos carente de cuidado, protección al ambiente y preocupación por el agotamiento de éstos ha generado con el paso del tiempo que el ambiente y sus recursos mermen. Los recursos naturales como elementos invaluables para el desarrollo de la vida humana, han ido disminuyendo su renovación y declinando su formación de origen por las condiciones actuales del mundo globalizado, el crecimiento industrial, urbano y el desarrollo económico.

Hoy estas ciudades que han sido construidas en los lagos de la cuenca del Valle de México se inundan en temporada de lluvias año tras año porque las afluentes buscan sus lagos donde se depositaban y aunque la lluvia proporciona grandes cantidades de agua, éstas no han sido gestionadas de forma adecuada, ya que se contaminan, no hay saneamiento y no se captan para darles un uso adecuado, lo que provoca que tengan un gran desabasto de agua y tengan que recurrir al trasvase de cuenca a través del sistema Cutzamala que trataremos en el siguiente apartado.



Mapa 4. Lagos de la Cuenca del Valle de México en 1519. Fuente: Wikipedia, 2007.



Mapa 5. Situación actual de los lagos.
Fuente: Wikipedia, 2024.

El Sistema Cutzamala

El Sistema Cutzamala está integrado por seis subcuencas de captación, siete presas derivadoras y de almacenamiento , seis estaciones de bombeo y una planta potabilizadora. Es una compleja obra de captación, almacenamiento, conducción, purificación, trasvase desde los estados de Michoacán y México (en la cuenca del Balsas) y distribución de agua dulce, que funciona las 24 horas de los 365 días del año. Fue concluida a principios de los años ochenta del siglo pasado, para abastecer un servicio indispensable para la población y las actividades económicas, principalmente a la Zona Metropolitana del Valle de México (cuenca del Valle de México) -beneficiando a un 24% de su población y que en el período de estiaje esta proporción llega a ser de hasta 35%, y la Ciudad de Toluca (cuenca del Río Lerma).

"El Cutzamala" es un sistema de presas que ha cambiado su función original (dotar de agua para generar electricidad y riego para la agricultura) para abastecer del vital líquido a la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Mediante este sistema en su porción más lejana, el agua baja por gravedad de la presa de Tuxpan a la del Bosque en el estado de Michoacán y la presa Colorines en el estado de México; después se sube por bombeo a la presa de Valle de Bravo y hasta la planta de Berros (en el municipio de Villa de Allende Estado de México), donde se potabiliza (mezclando el agua que baja por gravedad de Villa Victoria) bombeando toda el agua y tener impulso para descender hacia la Ciudad de México por gravedad.

Es la infraestructura más grande del país para abastecimiento de agua potable y considerada una de las 10 obras más importantes del mundo en su tipo, ya que debe bombearse entre 14 y 15 metros cúbicos por segundo (14 y 15 tinacos de mil litros por segundo) de agua, desde una altura de 1,600 metros sobre el nivel del mar en su punto más bajo, hasta los 2,702 metros sobre el nivel del mar en su punto más alto (lo equivalente a 12 veces la altura de la Torre Mayor de la Ciudad de México), a través de seis plantas de bombeo que emplean 2 mil 280 millones de kilowatt (la misma energía eléctrica que consume toda la ciudad de Puebla cada hora) y conduciéndolo a través de 334.4 kilómetros de canalizaciones primarias, compuestas por acueductos de tubería metálica o de concreto, túneles y canales abiertos (Plata, 2019).

El Sistema Cutzamala es una obra que en su tiempo figuró entre las proezas de la ingeniería hidráulica mundial (aunque hoy en día no deja de sorprender), el cual es un reflejo de la política del manejo del agua "de singular visión", como respuesta a las necesidades de dos grandes zonas metropolitanas cuya población y actividades no cesan de crecer.

Los antecedentes para crear este complejo sistema se remontan a la problemática presentada en el Valle de México, la cual es una de las regiones del planeta que ha sufrido las más profundas transformaciones ambientales. Desde principios de los años cuarenta las autoridades reconocieron la magnitud y la complejidad de los problemas de la gestión de los recursos hídricos en el Valle de México, planteándose desde entonces la posibilidad de efectuar un trasvase desde otra cuenca hidrológica.

En las décadas de los 50's y 60's la extracción del agua subterránea se magnificó, el crecimiento natural y social de la población rompió el equilibrio hidrológico de la cuenca del Valle de México. La concentración demográfica, aunada al proceso histórico de desecación y al nulo aprovechamiento de las aguas pluviales, requirió la búsqueda de alternativas de abastecimiento para la ciudad. La explotación de los recursos hídricos del valle se inició con una serie de obras para captar las aguas de los manantiales que se encontraban al sur poniente de la ZMVM y los que alimentaban las ciénegas del Alto Lerma, este último con la construcción de un acueducto de 60 kilómetros desde Almoloya del Río en el Estado de México hasta los tanques de Dolores

en Chapultepec en el Distrito Federal (hoy Ciudad de México), con lo que inicia el proyecto Lerma. (El Sistema Lerma, aunque distante, ofrecía una alternativa para los problemas de desabasto en el Valle de México). Para los años setenta en una segunda etapa, se construyó una red de 230 pozos profundos ubicados en el valle de Toluca y en las zonas de Ixtlahuaca y Jocotitlán para aumentar la disponibilidad de agua en la ZMVM. Con el sistema Lerma se sustentaría décadas después el Sistema Cutzamala, iniciando con ello la importación de agua de otras cuencas (primero la Cuenca de Lerma y posteriormente la Cuenca del Balsas).

Sin embargo, la expansión urbano-industrial en el Valle de Toluca y Lerma generó cambios importantes, en particular en la transformación del paisaje rural y ambiental de su territorio. De tal forma que la nueva configuración territorial, a nivel urbano se expresó desde los años sesenta en un proceso de metropolización del valle de Toluca, y el efecto fue doble, generando una mayor presión sobre los recursos naturales de los municipios mexiquenses. Esto conllevó a formas diferentes de apropiación del agua, suelo y bosques, que contrastaron e incluso nulificaron las formas tradicionales que existían en las sociedades rurales involucradas (Plata, 2019).

Hoy en día, a través del sistema de bombeo y potabilización de agua Lerma Cutzamala, ingresa el 25% del líquido que consumen en la CDMX, el cual traen desde Michoacán y el Estado de México. Dicho sistema bombea en promedio 16m3 de agua por segundo, es decir, 16 tinacos de 1,000 litros cada que avanza el segundero en el reloj.

El Sistema Cutzamala abastece el 23,7% del agua potable que consume la zona metropolitana de la Ciudad de México perteneciente al Estado de México; además de fortalecer los caudales de los municipios de Toluca, Lerma y Ocoyoacac (Vera, 2022).

Y así sucesivamente, podríamos seguir enumerando una serie de problemas de gestión integrada del agua en la Megalópolis, sin embargo, debemos tomar conciencia de que el territorio y los recursos naturales del centro del país nos están pidiendo a gritos que cambiemos la estrategia de desarrollo porque la industrialización sólo está terminando con la vida de todos los seres vivos, incluidos nosotros como seres humanos porque la contaminación del agua está enfermando principalmente a niños y jóvenes que son el relevo generacional y nos está dejando sin agua para producir los alimentos y para el consumo humano, además de que se están contaminando nuestros mantos acuíferos y los cuerpos de agua superficiales, por lo que no nos resta más que decir que toca a todos los actores tanto políticos, sociales, académicos y de la iniciativa privada realizar acciones a favor de revertir dicha problemática a través de políticas públicas comprometidas con el medio ambiente y nuestro planeta que compartimos todos.

Tabla 1. Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
La sequía y la escasez del agua son dos problemas sensibles por atender en la Megalópolis.	Debemos realizar acciones que favorezcan el ciclo hidrológico del agua como plantar y cuidar árboles, cosechar lluvia y sanear el agua que usamos.
Es un error seguir creyendo que la industrialización masiva genera desarrollo en la Megalópolis.	Desarrollar nuestra ventaja comparativa en las regiones de la Megalópolis para optimizar el uso de nuestros recursos naturales que sí generan desarrollo en nuestras comunidades.
Falta de coordinación entre universidades e institutos de investigación para hacer estudios fácticos que resuelvan el problema de gestión del agua de la Megalópolis.	Las universidades e institutos de investigación deben coordinarse para proponer soluciones fácticas a los problemas de gestión del agua en la Megalópolis.
Existe mucha corrupción en la asignación de concesiones de agua para uso industrial.	Se debe dar prioridad a la población que vive en la Megalópolis, ya que es un derecho humano que tiene.

Falta de aplicación de las leyes ambientales para sanear el agua de las industrias y casas habitación, principalmente.	Se requiere que las leyes ambientales que existen sean aplicadas con rigor para sancionar a quien incurra en su incumplimiento.
Falta de coordinación entre los actores sociopolíticos de la Megalópolis.	Los actores sociopolíticos de la Megalópolis deben tomar conciencia de la gran problemática que se tiene para generar políticas públicas de rescate.
Se otorgan permisos por parte de los Ayuntamientos para el cambio de uso de suelo sin hacer un estudio de impacto ambiental en la región y si lo hacen, muchas veces, no se respeta.	Es necesario que los Ayuntamientos hagan estudios de impacto ambiental para otorgar cambios de uso de suelo y no permitir la corrupción a base de sobornos.
Falta de evidencia científica del efecto que tienen los procesos contaminantes sobre el deterioro de la salud.	Evidencias objetivas y rigurosas sobre el vínculo contaminación-salud, suficiente para justificar su inmediata atención.

Conclusiones

Hoy la gestión integrada del agua de la megalópolis está en riesgo porque las zonas industriales, los parques y la logística de última milla complican el uso y saneamiento del agua porque hay muchos intereses políticos, económicos y sociales, por lo que, los actores políticos, sociales, académicos y de la iniciativa privada debemos tomar cartas en el asunto para generar políticas públicas viables de saneamiento.

La industrialización en la zona megalopolitana que se encuentra en la región central del país que está integrada principalmente por la Ciudad de México, el Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala ha puesto en riesgo la gestión integrada del agua y el desarrollo de los habitantes de esta región del país, ya que debido a que México está estratégicamente posicionado en el mundo y a que la Megalópolis se ha convertido en una zona de fácil acceso por las grandes autopistas que se han construido en esta región como la Carretera Federal 57 (ruta Ciudad de México-Querétaro, también conocida como NAFTA) que conecta con Estados Unidos y la autopista Arco Norte que conecta con los puertos del Golfo y del Pacífico se han instalado muchas zonas industriales que demandan grandes cantidades de agua que han obtenido gracias al tráfico de influencias y a la corrupción que hay en el país en detrimento del acceso del vital líquido para los habitantes de esta región que por derecho humano les corresponde, es por ello que se requiere evaluar y hacer un análisis de la problemática que están trayendo consigo estas empresas para la población de la Megalópolis porque están terminando con los recursos naturales, como el agua, que sí generan desarrollo y subempleando a los pobladores en condiciones inhumanas.

Y dado que las Naciones Unidas contaban tres megaciudades en 1970, 10 en 1990 y 28 megaciudades en 2014. Ahora las proyecciones señalan que habrá 41 en 2030, todas localizadas en los países menos desarrollados.

Es por ello, que ahora que se pretenden instalar 100 parques industriales en este sexenio de gobierno en México, de la presidenta Claudia Sheinbaum Pardo, cabe hacerse la pregunta: ¿Sí se tiene considerada la demanda de agua y el saneamiento de estas empresas y dónde se van a ubicar? porque de lo contrario, sólo vendrán a complicar más la gestión integrada del agua en la Megalópolis de México.

En consecuencia, la Megalópolis de México debe tomar como ejemplo casos exitosos de otros países en donde la problemática del agua en las grandes ciudades incluía demasiados aspectos concentrados en un pequeño número de manos, por lo que para lograr una visión global se requirió de la cooperación entre los expertos de múltiples disciplinas.

Donde el campo de estudio es ya bastante amplio, ya que incluye la gestión de las redes y los riesgos, las relaciones entre el agua y la planificación urbana, y los aspectos económicos y la gobernanza. Al mismo tiempo, se reconocen los límites de la interpretación, como la definición de una “megaciudad” que varía necesariamente de una monografía a otra.

Como es el caso de Nueva York y París, donde se ha estado aplicando una política de inversión progre-

siva desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX para que las plantas de tratamiento de aguas residuales pudieran procesar todos los flujos del período seco. En la actualidad, las megaciudades que se encuentran en los países más ricos, como Tokio, tienen el objetivo de mejorar el rendimiento de los sistemas de purificación. En Lagos, la nueva legislación exige construir sistemas de tratamiento de aguas residuales en las nuevas zonas residenciales de la megaciudad. Sin embargo, el tratamiento individual continuará siendo el principal sistema por un largo tiempo. Es por ello que se difunde con regularidad a través de canales de radio y televisión una política activa de concienciación de los sistemas in situ y sobre los tanques sépticos que mejor se adapten a diversos terrenos. En Beijing, la mayoría de los ríos urbanos son alimentados principalmente con agua tratada procedente de las plantas de tratamiento con una capacidad de procesamiento limitada. Durante los últimos 20 años, los niveles de contaminación vertida por Estambul en el Mar de Mármara se han reducido gracias al plan de ÌSKÌ (Ìstanbul Su ve Kanalizasyon Ìdaresi – Administración de Agua y Alcantarillado de Estambul) para la inversión en plantas de tratamiento de aguas residuales a gran escala que aplican el tratamiento biológico de alto rendimiento para el nitrógeno y el fósforo (Unesco, 2016).

Referencias bibliográficas

Ameth, E. (2024). Valle del Mezquital, uno de los 30 infiernos industriales en el país que traen enfermedades y muerte. https://emmanuelameth.com.mx/valle-del-mezquital-uno-de-los-30-infiernos-industriales-en-el-pais-que-traen-enfermedades-y-muerte-e3TY3NzgxOQ.html#:~:text=El%20Valle%20del%20Mezquital%20ha,que%20viven%20en%20la%20zona&text=Octubre%2009%2C%202023%2010%3A56%20hrs.

Carrasco, C. (2024). Este es el río más contaminado de México. Infobae. https://www.infobae.com/mexico/2024/09/24/este-es-el-rio-mas-contaminado-de-mexico/.

Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) (2024). Conahcyt profundiza en atención a Cuenca del Alto Atoyac. https://conahcyt.mx/conahcyt-profundiza-en-atencion-a-cuenca-del-alto-atoyac/.

desde Tenochtitlan hasta el nuevo aeropuerto internacional, Revista Nexos. https://labrujula.nexos.com.mx/breve-historia-de-la-desecacion-de-los-lagos-del-valle-de-mexico-desde-tenochtitlan-hasta-el-nuevo-aeropuerto-internacional/

Escamilla, A. (2020). La política industrial del Porfiriato a la Revolución. Aproximación historiográfica y análisis. Economía UNAM, 17(49), 165-203.

Fideicomiso para el Desarrollo de Parques y Zonas Industriales en el Estado de México (Fidepar) (2024). Desarrollos Industriales. https://fidepar.edomex.gob.mx/desarrollos_industriales.

Frontier. Industrial & Logistics Real Estate (2024). Parque Industrial Arco 57. https://www.frontierindustrial.mx/parque-industrial-arco-57-estado-de-mexico.

Gallardo, F. (2017). Breve historia de la desecación de los lagos del Valle de México:
Gómez, B. (2023). Lago de Texcoco: Consecuencias de impacto ambiental, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/article/view/372/4867#:~:text=El%20lago%20de%20Texcoco%20fue,Metropolitana%20del%20Valle%20de%20M%C3%A9xico).

González, J. F. (2003). Introducción a la historia industrial de México. https://www.realestatemarket.com.mx/articulos/mercadoinmobiliario/22082-introduccion-a-la-historia-industrial-de-mexico.
Haber, S. H. (1993). La industrialización de México: historiografía y análisis. Historia mexicana, 42(3), 649-688.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2019). Cuenca hidrológica Alto Atoyac. https://www.inegi.org.mx/contenido/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825189884.pdf.
Keo News (2024). Nearshoring en México - Una oportunidad de crecimiento

económico. https://www.linkedin.com/pulse/nearshoring-en-m%C3%A9xico-una-oportunidad-de-crecimiento-econ%C3%B3mico-b8kue/

Lázaro, E. (2022). ¿Qué es el nearshoring? El Economista. https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Que-es-el-nearshoring-20221108-0093.html.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) (2016). Agua, megalópolis y cambio climático: retrato de 15 ciudades emblemáticas del mundo, París, Francia. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245989

Pérez, C. (2013). Así comenzó la contaminación del río Lerma, AD Noticias. https://adnoticias.mx/asi-comenzo-la-contaminacion-del-rio-lerma/.
Plata (2019). El Sistema Cutzamala, una experiencia en la gestión del agua, Red Mexicana de Cuencas. https://remexcu.org/index.php/blog/174-el-sistema-cutzamala-una-experiencia-en-la-gestion-del-agua-i

Rosas, I. A. (2023). Advierten de contaminación del suelo y agua del Valle del Mezquital a causa de aguas residuales. Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, UNAM.

Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de San Martín Texmelucan (SOSAPATEX) (2022). Cuenca hidrológica Río Alto Atoyac. https://sosapatex.gob.mx/cuenca-hidrologica-rio-alto-atoyac/#:~:text=La%20cuenca%20hidrol%C3%B3gica%20R%C3%ADo%20Alto,respectivamente%2C%20ambas%20conocidas%20como%20Balsas.

Somos industria (2024). Se instala Niagara Bottling en Edomex. https://www.somosindustria.com/articulo/se-instala-niagara-bottling-en-edomex/#:~:text=En%20cuanto%20a%20las%20instalaciones,millones%20de%20botellas%20al%20a%C3%B1o.

Vera, N (2022). El insostenible gigante Sistema Lerma Cutzamala. https://oxfammexico.org/el-insostenible-gigante-sistema-lerma-cutzamala/

Wikipedia (2007). Archivo: Basin of Mexico 1519 map-es.svg. https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Basin_of_Mexico_1519_map-es.svg#/media/File:Basin_of_Mexico_1519_map-es.svg

Wikipedia (2024). Lago de Texcoco. https://es.wikipedia.org/wiki/Lago_de_Texcoco

8 El acceso al agua entubada en la Megalópolis de México: desigualdades socioeconómicas y retos para la política pública

Daniel A. Revollo-Fernández[1]*, Carolina M. Medina-Rivas[2] Lilia Rodríguez-Tapia3, Jorge Morales-Novelo[4]

[1]CONAHCYT-UAM, Área Crecimiento y Medio Ambiente, Departamento de Economía, Unidad Azcapotzalco. (*autor de correspon-dencia: darf@azc.uam.mx); [2]CONAHCYT-UAM, Área de Crecimiento y Medio Ambiente, Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, [3]Especialización en Economía y Gestión del Agua, Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco; [4]Especialización en Economía y Gestión del Agua, Departamento de Economía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

Resumen

La Megalópolis de México es una zona socioeconómicamente importante en el país, debido a su alta concentración de población y generación de riqueza; pero al mismo tiempo de alta demanda de agua. A través de un análisis estadístico se evidencia que ese acceso a agua en los hogares, si bien ha ido aumentando en el tiempo, también presenta problemas de inequidad, principalmente afectando a los hogares más vulnerables. En ese sentido, se debe pensar en desarrollar y poner en práctica políticas de acceso a agua enfocadas en primera medida en los sectores más vulnerables.

Introducción

El agua como recurso natural presenta un problema de escasez relativa, ocasionado por un conjunto de factores medioambientales, naturales, socioeconómicos y culturales. El derecho humano al agua potable y al saneamiento se reconoció explícitamente mediante la resolución Nº 64/292 de la Asamblea General de las Naciones Unidas en julio de 2010 (Kooy et al., 2018). El contenido normativo de los derechos del agua y el saneamiento se debe determinar en función de los criterios de disponibilidad, calidad, accesibilidad y asequibilidad (Cook et.al., 2016). Estos criterios son clave para ampliar los servicios de agua y saneamiento, y asegurar que todos puedan beneficiarse, independientemente de sus ingresos, edad, género o raza entre otros (Mack et.al., 2017). De hecho, la asequibilidad ha sido reconocida durante los últimos años en varias declaraciones mundiales y regionales sobre el agua, y se consideró su adopción en la formulación de la meta seis de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) relativa al acceso al agua y el saneamiento (García-Valiñas et al., 2010a & 2010b). No solo es suficiente poder contar con la conexión a agua entubada, sino debe considerar una frecuencia diaria con calidad y que el costo de hacerlo no debe ser desproporcionadamente alto en comparación con los ingresos que un hogar puede llegar a tener (Kessides et al., 2009). Así mismo, es importante indicar que el ODS 6 está estrechamente ligado, de manera directa o indirecta, con otros ODS, como son el ODS 3 relacionado con salud y bienestar, ODS 11 relacionado con ciudad y comunidades sostenibles y el ODS 13 relacionado con acción por el clima.

Por lo general en países emergentes o en desarrollo grandes problemas y retos se presentan actualmente, y uno que particularmente no se puede omitir es lo relacionado con el agua, problemática que abarca la distribución desigual y el indebido saneamiento del recurso vital, la pobre innovación en el sistema hídrico y su precario mantenimiento, la sobreexplotación y contaminación de los recursos hídricos, los altos subsidios al agua, el despilfarro y fugas cotidianas, entre otros (Kooy et al., 2018). Entre los servicios de mayor importancia por su fuerte relación con la salud y el crecimiento de la población, se encuentra la dotación de agua potable y saneamiento, que comúnmente se hace referencia a estos como servicios públicos porque en la mayoría de los casos son abastecidos por la administración pública (Revollo-Fernández, 2019).

Por otro lado, la Megalópolis de México, conformada por 16 alcaldías de la CDMX, 29 municipios del Estado de Hidalgo, 79 municipios del Estado de México, 60 municipios del Estado de Tlaxcala, 33 municipios del Estado de Morelos, 22 municipios del Estado de Puebla y 17 municipios del Estado de Querétaro, es una de las zonas más importantes en el país desde un punto de vista de la concentración de habitantes y producción que se genera (Tabla 1).

El Producto Interno Bruto (PIB), promedio entre los años 2000 a 2020, que se genera en dicha Megápolis representa casi un 30.0% de lo que se produce en todo el país. Así mismo, respecto a la cantidad de habitantes, en la Megalópolis se concentra casi un 28.0% de la cantidad de habitantes que se tiene en todo el país para el año 2020. Y finalmente, la densidad poblacional demuestra la alta concentración de habitantes; donde para el año 2020, por ejemplo, la densidad alcanza un valor de 1,135 personas por km2, comparado con 64 personas por km2 a nivel nacional.

Tabla 1. Variables económicas y socioeconómicas de la Megalópolis de México

Variable		Megalópolis de México	Estados Unidos Mexicanos	Relación
Producto Interno Bruto (PIB) (millones de MXN)	2000	$ 5,358,551	$ 17,899,317	29.9%
	2010	$ 6,049,917	$ 20,107,450	30.1%
	2020	$ 7,257,457	$ 24,268,261	29.9%
Población (Nº habitantes)	2000	27,869,810	97,483,412	28.6%
	2010	31,393,094	112,336,538	27.9%
	2020	34,899,173	126,014,024	27.7%
Densidad (Nº habitantes / km2)	2000	997	50	2001.5%
	2010	1,069	57	1865.0%
	2020	1,135	64	1765.5%

Fuente: Elaboración propia en base a INEGI: Sistema de Cuentas Nacionales de México, 2010-2020.

Toda esa concentración de habitantes, como la alta generación del PIB, origina que en la zona se presente una alta demanda de agua, tanto para el consumo de los hogares, como de las empresas. Para la Megalópolis de México, para el año 2022, la cobertura de agua entubada es de casi el 94.8%. En zonas urbanas la cobertura es del 96.4%, mientras que en zonas rurales (localidades menores a 2,500 habitantes) la cobertura es del 81.9% debido a la dispersión de la población, y la dificultad técnica y financiera de desarrollar sistemas de agua entubada. Si bien oficialmente el 94.8% de la población tiene acceso al servicio público de agua entubada, dicho porcentaje podría disminuir cuando se considera la frecuencia con la cual llega a la vivienda, situación que afectan drásticamente y en primera medida a hogares con menores ingresos económicos o mayores carencias sociales (Revollo-Fernández, 2019).

En este contexto, el objetivo de este capítulo es analizar el acceso a agua entubada y los gastos en los que incurren los hogares en la Megalópolis de México a nivel de deciles de ingresos. Todo esto con la finalidad de proponer recomendaciones de política pública en beneficio de la sociedad, y principalmente para aquellos sectores más vulnerables.

Materiales y método

Situación del acceso al agua en México y en la Megalópolis de México

En México, la actividad de aprovechamiento, suministro y tratamiento de agua se rige de acuerdo con la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, específicamente en el Artículo Nº 27 se establece que “las aguas nacionales son propiedad de la nación”, en el Artículo Nº 115 se “adjudica la responsabilidad de los gobiernos municipales para prestar los servicios de agua entubada, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de las aguas residuales”; adicionalmente, existe normatividad estatal y municipal de agua. Este conjunto de instrumentos jurídicos establece los lineamientos para el aprovechamiento y conservación de este recurso, así como los derechos y obligaciones que asume el organismo operador de agua (OOA). En México el nivel de cobertura y el número de habitantes que tienen acceso al servicio de agua entubada ha ido en aumento en las últimas décadas. Según el Censo de Hogares, para el año 1990 se registraba una cobertura total de agua a nivel nacional del 75.4%, donde un 87.0% se registra para población urbana y un 46.5% para población rural; para el año 2020, dicha cobertura a nivel nacional alcanzó el 93.3%, siendo un 97.2% la cobertura a nivel urbano y un 85% a nivel rural. Para el caso de la Megalópolis de México la cobertura de agua entubada es de casi el 94.8%; alcanzando en zonas urbanas un valor de 96.4%; mientras que en zonas rurales de 81.9%. Si bien se evidencia un considerable aumento en el nivel de cobertura del servicio con el paso de los años, este dato encubre problemas respecto a la continuidad del servicio y calidad del agua entregada en las viviendas que es empleada por los hogares.

Para el tema de continuidad, según la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) (INEGI, 2022), en el año 2022 aproximadamente un 66.5% de los hogares que tienen acceso a agua entubada a nivel nacional reciben agua a dia-

rio; mientras que, para el caso de la Megalópolis de México, dicho valor asciende a 54.9%, el resto solo reciben agua una, dos o tres veces por semana. Este problema de no acceso al agua entubada y falta de continuidad se incrementa principalmente en aquellos municipios donde se tiene mayor cantidad de hogares en pobreza y marginación. Ya sea por no acceder al servicio de agua, discontinuidad o baja calidad, los hogares en México buscan otras fuentes de acceso a agua entubada, como puede ser captadores de agua de lluvia, agua proveniente de pozos, ríos o arroyos, agua de cisternas, agua embotellada o refrescos. En varias localidades o municipios los habitantes dependen del agua de cisternas o embotellada para beber debido a las preocupaciones sobre el acceso y la calidad, lo que puede agregar una considerable carga financiera adicional para quienes viven a menudo en las áreas más pobres y con los ingresos más bajos.

Datos

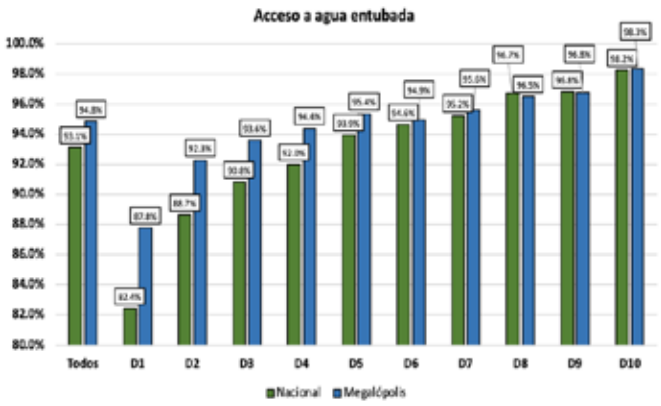
Los datos de obtuvieron de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) del año 2022 que genera el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Dicha encuesta tiene como objetivo proporcionar un panorama estadístico del comportamiento de los ingresos y gastos de los hogares en México en cuanto a su monto, procedencia y distribución; adicionalmente, ofrece información sobre las características ocupacionales, sociodemográficas y acceso a alimentación de los integrantes del hogar, así como las características de la vivienda y el equipamiento del hogar, teniendo una cobertura nacional y a nivel de entidad federativa. Específicamente para esta investigación se consideró los datos sobre fuentes de acceso a agua de los hogares, gastos en que incurren y nivel de ingresos económicos.

Método

La investigación recurre a dos metodologías cuantitativas, donde combina un análisis comparativo, entre dos o más grupos de resultados, y un análisis estadístico. Específicamente, con la variable ingresos económicos que se obtiene de la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) del año 2022 se construye la variable deciles de ingresos para clasificar a los diferentes hogares de México y de la Megalópolis de México en diez deciles (D1 al D10), donde el D1 tiene los ingresos más bajos, y el D10 los ingresos más bajos. Con base en esta variable, se realiza el cálculo del indicador de acceso a agua entubada de los hogares, donde se identifica las diferentes fuentes de acceso a agua de los hogares y se estima el gasto promedio que realizan por las diferentes fuentes. Finalmente, se realiza una prueba de medias (ANOVA) para dichas variables para determinar si existe o no diferencias estadísticamente significativas. Es importante mencionar que se eligió dichas metodologías ya que se pretende realizar un análisis cualitativo de comparación del acceso a agua entre diferentes grupos, o deciles, de hogares con diferentes características.

Resultados

El acceso a agua entubada en los hogares a nivel nacional y en la Megalópolis es del 93.1% y del 94.8%, respectivamente, para el año 2022; sin embargo, cuando se analiza dicho acceso por nivel de deciles se evidencia una gran diferencia entre los deciles más altos y los más bajos. Por ejemplo, para el caso de la Megalópolis en el decil 10, mayores ingresos, un 98.3% de los hogares tienen acceso a agua entubada (1,5 millones de hogares) (similar al caso de México); mientras que solo un 87.8% de los hogares del primer decil, menores ingresos, tiene acceso (874 mil hogares) (mayo caso en 5% con respecto al nacional) (Figura 1a). Es decir, una diferencia estadísticamente significativa del 10.6% ($p<0.1$). Al analizar dicha diferencia si el acceso a agua entubada se realiza dentro o fuera de la vivienda, tanto a nivel nacional como en la Megalópolis, un 95.0% de hogares con mayores ingresos tienen acceso dentro; mientras que solo un 45.1% de los del decil más bajo ($p<0.05$) (Figura 1b).



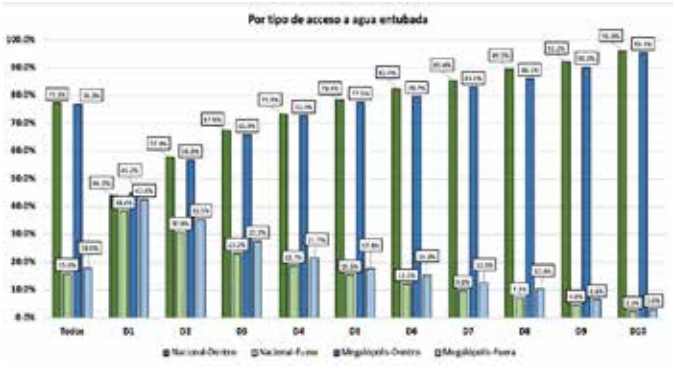


Figura 1 Hogares de Megalópolis con acceso a agua entubada por deciles para el año 2022 (A, B)
Fuente Elaboración propia en base a ENIGH-2022, 2024.

El impacto de no tener acceso a agua entubada genera que los hogares busquen otros medios de acceso (ver Tabla 2). La segunda y tercera fuente de acceso, luego de acceso a agua entubada (ya sea dentro o fuera de la vivienda), son el agua de pipa y el agua de un pozo, río, lago, arroyo u otra. En el primer caso, un 2.2% de los hogares de la Megalópolis recurren a esta fuente; mientras que para el segundo caso un 2.0%. Si se analiza por tipo decil de ingreso, se observa que un 2.7% y un 5.9% de los hogares del D1 recurren a estas dos fuentes, respectivamente; mientras que, solo un 0.8% ($p<0.1$) y un 0.6% ($p<0.01$), respectivamente, para el caso del D10.

Tabla 2. Acceso a agua por otros tipos de fuentes – Megalópolis (%)

Disponibilidad de agua	Todos	Decil									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Agua entubada en la vivienda	94.8	87.8	92.3	93.6	94.4	95.4	94.9	95.6	96.5	96.8	98.3
Agua de pipa	2.2	2.7	2.4	2.5	2.3	2.7	2.4	2.5	2.4	1.9	0.8
Agua de un pozo, río, lago, arroyo u otra	2.0	5.9	4.0	2.6	2.1	1.6	2.0	1.6	0.8	0.8	0.6
Agua entubada que acarrean de otra vivienda	0.5	1.8	0.7	0.9	0.9	0.2	0.3	0.3	0.1	0.3	0.0
Agua entubada de llave pública (hidrante)	0.2	1.1	0.3	0.1	0.2	0.0	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1
Captadores de agua de lluvia	0.2	0.8	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.0	0.1	0.2	0.1

Fuente: Elaboración propia en base a ENIGH-2022, 2024

Esta desigualdad en el acceso a agua entubada va de la mano en que un 72.1% de los hogares del décimo decil de la Megalópolis tienen acceso diario al agua (78.4% para el caso Nacional); mientras que, en el caso del primer decil, solo un 41.4% de los hogares (56.8% para el caso Nacional). Es decir, el décimo decil, en comparación con el primer decil, tiene un 30.7% más de hogares con acceso a agua entubada diaria, siendo una diferencia estadísticamente significativa ($p<0.01$) (Figura 2a). Así mismo, si se analiza a los hogares de la Megalópolis que tienen acceso a agua entubada, pero no de manera diaria, un 25.8% del D1 tiene acceso cada tercer día, comparado contra el 12.3% del D10; un 13.9% del D1 tiene acceso dos veces por semana, comparado contra el 7.1% del D10; y un 12.1% del D1 tiene acceso una vez por semana, comparado contra el 4.5% del D10 ($p<0.05$) (Figura 2b). En todos los casos, la diferencia es significativa, y siempre afectando en mayor medida a los hogares de los deciles más bajos.

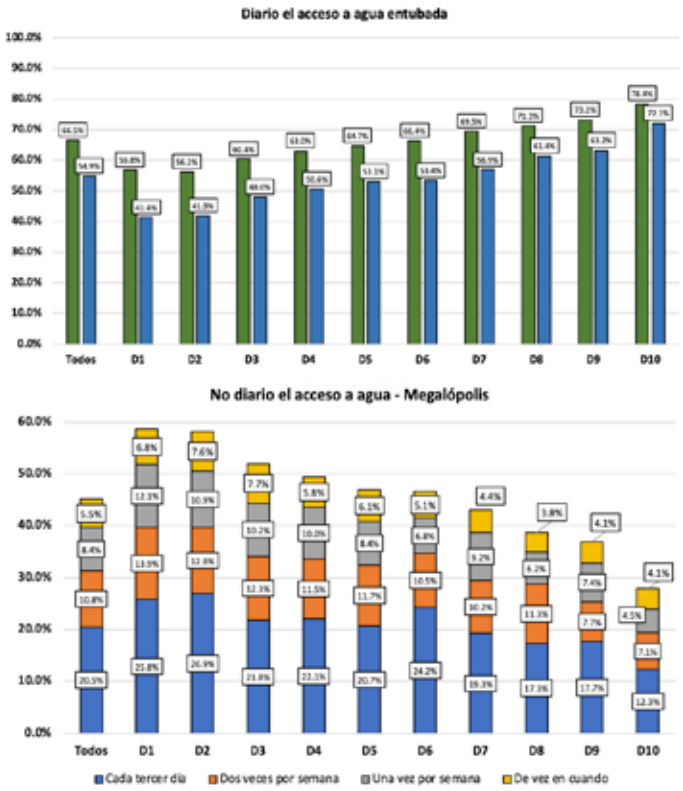
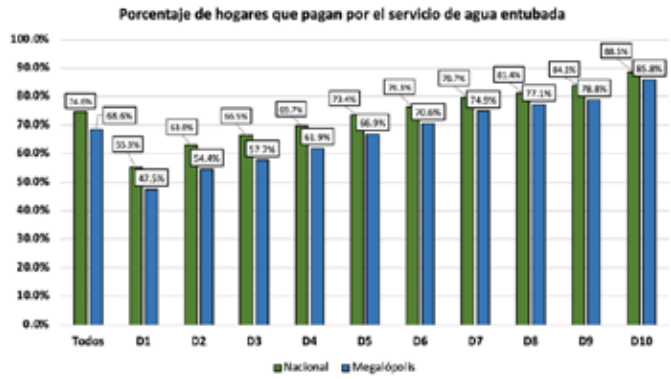
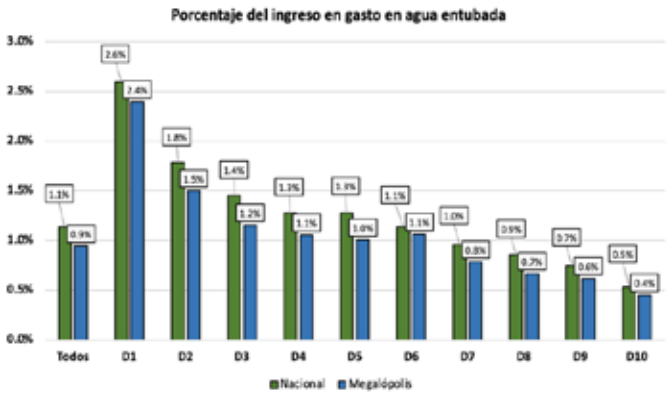


Figura 2 Frecuencia de acceso a agua entubada en hogares de la Megalópolis por deciles para el año 2022
Fuente Elaboración propia en base a ENIGH-2022, 2024.

Esta situación origina que los hogares, de los diferentes deciles, y principalmente del primer decil, decidan no pagar por el servicio de agua entubada y/o presenten diferentes porcentajes de gasto de acceso a dicha agua con respecto al ingreso que reciben al mes. Para el primer caso, se evidencia que, para el año 2022, un 68.6% de los hogares de la Megalópolis pagan por el servicio de agua entubada que reciben (para el caso de México es del 74.6%); si se analiza por deciles, del D1 solo pagan un 47.5% de los hogares (55.3% para el caso Nacional) y un 85.8% en el caso del D10 (88.5% para el caso Nacional) ($p<0.01$) (Figura 3a). Para el segundo caso, un hogar ubicado en la Megalópolis destina 0.9% de su ingreso al mes como gasto por consumir agua entubada (para el caso de México asciende a 1.1%) (Figura 3b). Sin embargo, cuando se analiza dicha información por decil de ingreso de los hogares, la situación también cambia de manera radical. Por ejemplo, en promedio, un hogar del primer decil que se ubica en la Megalópolis destina 2.4% de su ingreso como gasto por consumir agua entubada (2.6% para el caso Nacional); mientras que un hogar del décimo decil destina solo 0.4% ($p<0.1$) (0.5% para el caso Nacional). Estas diferencias entre los deciles, tanto en los niveles de acceso a agua entubada, como por el gasto que destinan los hogares por consumo de dicha agua son estadísticamente significativas, principalmente, entre los extremos de los deciles.

Figura 3 Hogares de la Megalópolis que pagan por el servicio de ague entubada y gasto que destinan al mes por deciles para el año 2022**.**





Fuente Elaboración propia en base a ENIGH-2022, 2024.

Conclusiones y discusión

El análisis permite medir la diferencia significativa que existe entre los hogares de la Megalópolis que presentan ingresos bajos comparados con los hogares de altos ingresos con respecto al acceso a agua entubada, y de la misma manera el impacto que puede tener en que estos primeros destinan una mayor cantidad de ingresos económicos al mes para tener acceso a dicha agua. Por lo tanto, es importante evidenciar qué, si bien a nivel general en México y en la Megalópolis se tiene un aumento importante en el porcentaje de acceso a agua entubada en el sector doméstico, este encubre en cierta medida el problema al cual los hogares con menores ingresos tienen por acceder a dicho recurso vital.

Una implicación de esta situación, diferentes niveles de acceso a agua entubada, percepción de los hogares por no tener una adecuada calidad del agua y/o variabilidad de frecuencia en el servicio, o el hecho de que el agua debe ser gratuita tiene impacto sobre la decisión de los hogares de no pagar por su consumo de agua entubada. Para el caso de la Megalópolis de México, se evidenció que casi un 32.0% de los hogares no pagan por su consumo. Esta decisión origina una pérdida social de aproximadamente $4,173 millones de MXN al año, que representa un 30.9% del total que se pierde por el no pago de los hogares a nivel nacional (Ver Tabla 3).

Tabla 3. Valor económico que se genera por la prestación del servicio de acceso a agua entubada en la Megalópolis de México

Millones de MXN	Megalópolis de México	Estados Unidos Mexicanos	Relación
Los que pagan servicio	$ 14,025	$ 61,716	22.7%
Los que no pagan el servicio	$ 4,173	$ 13,527	30.9%
TOTAL	$ 18,199	$ 75,244	24.2%

Fuente Elaboración propia en base a CONAGUA, 2023.

Para dimensionar la magnitud de esta pérdida por el no pago del servicio, debido a diferentes motivos, la inversión en agua potable que se realiza en la Megalópolis, ya sea federal, estatal, municipal u otro, asciende a $10,535 millones de MXN al año; es decir, un 39.6% (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Montos de inversiones que se realizan en el sector hídrico en la Megalópolis de México

Millones de MXN	Megalópolis de México	Estados Unidos Mexicanos	Relación
Sector de origen			
Federal	$ 10,571	$ 22,314	47.4%
Estatal	$279	$ 1,423	19.7%
Municipal	$ 65	$ 4,817	1.4%
Otros	$ 1,680	$ 881	190.6%
TOTAL	$ 12,597	$ 29,436	42.8%
Por rubro de aplicación			
Agua potable	$ 10,535	$ 22,934	45.9%
Alcantarillado	$ 579	$ 2,943	19.7%
Saneamiento	$ 1,436	$ 3,224	44.6%
Mejoramiento eficiencia	$ 20	$ 131	15.5%
Otros	$ 25	$ 203	12.5%
TOTAL	$ 12,596	$ 29,436	42.8%

Fuente Elaboración propia en base a CONAGUA, 2023

En ese sentido, la política hídrica en el país y en la Megalópolis de México, debe procurar mejorar las condiciones de acceso a los hogares más vulnerables. Donde estas condiciones no solo deben estar enfocado a tener el acceso; sino, un acceso diario, con agua de calidad y asequible. Actualmente en México la regulación de la calidad del agua entubada está enmarcada mediante la Norma Oficial Mexicana “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización” que data del año 1994 y reformada en el año 2000 (NOM-127 SSA1-1994/2000) y la normatividad que regula la distribución y control de dicho recurso es a través de la Ley de Aguas Nacionales que se promulgó en 1992 y reformada en marzo de 2016; sin embargo, dichas legislaciones están desactualizada y en el primer caso casi sin ningún cumplimiento. En ese sentido, la necesidad de generar nueva legislación, federal, estatal o municipal en temas hídricos, actual y moderna, que trate de reducir o eliminar las problemáticas que actualmente se tiene para el beneficio de toda la sociedad, pero en mayor medida para aquellos grupos más vulnerables que por lo general son invisibles cuando se analiza la información a nivel macro. Finalmente, esta situación que se evidencia de desigualdad en el acceso a agua entubada entre grupos de hogares con diferentes características sociales, permite la formulación de una serie de propuestas de política pública. Por ejemplo, se podría pensar en un esquema más eficiente de subsidios en los consumos de los hogares, donde se destine dicho apoyo en mayor medida a los hogares con mayores niveles de vulnerabilidad, y siempre considerando un esquema de focalización para que el subsidio sea recibido por el hogar que realmente lo necesita.

Así mismo, se puede pensar en destinar un mayor nivel de inversión financiera o hacer un mejor uso de las inversiones en el sector, en buscar la expansión de infraestructura del servicio y/o mejorar la infraestructura actual. Esta expansión de infraestructura debe ir de la mano con mejoras en la calidad del agua suministrada y en garantizar un suministro continuo, especialmente en áreas de bajos ingresos.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 5. Problemáticas y oportunidades para la desigualdad socioeconómica en el acceso a agua entubada en la Megalópolis de México.

Problemáticas	Oportunidades
Existe una desigualdad en el acceso a agua entubada por parte de los hogares en la Megalópolis; así como a nivel nacional, donde los sectores más vulnerables son los de menores ingresos.	La Megalópolis de México, es una de zonas metropolitanas a nivel nacional donde se destina una importante cantidad de recursos monetarios para inversiones en el sector hídrico. En ese sentido, se debe buscar hacer más eficiente la administración de dichos recursos, dando prioridad a los sectores más vulnerables.
Esa desigualdad en el acceso, sumado a una percepción de la calidad de agua, irregularidad en la frecuencia del servicio, origina una reducción en el número de hogares que no pagan por su consumo de agua entubada.	Para dismimuir o eliminar este círculo vicio, se debe mejorar las condiciones y calidad del servicio de agua entubada, demostrando el real valor del agua a los consumidores; y por ende tener mayores argumentos para el pago de los consumos de agua.
Así mismo, el no pago por el consumo de agua entubada por parte de los hogares origina una reducción en los ingresos de los organismos operadores de agua (OOA), y por ende afecta en la administración y ejecución de tareas que realizan dichos OOA.	La Megalópolis de México concentra una alta cantidad de habitantes y de empresas donde se puede buscar alternativas de consumo y uso sostenible del agua, originando un alto impacto en la conservación de dicho recurso.
	Finalmente, tanto el sector de hogares, como empresarial, y otros, deben estar conscientes de la importancia de que también se debe buscar inversiones para la conservación de zonas importantes de recarga hídrica.

Agradecimientos

El artículo fue elaborado con el apoyo técnico y financiero del Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) a través del Programa Investigadores por México (IxM) Nº 1812 – “Modelo Hídrico y Económico de la Cuenca del Valle de México”.

Referencias bibliográficas

Cook, J., Kimuyu, P. & Whittington, D. (2016). The cost of coping with poo water supply in rural Kenya. Water Resources Research 52: 841-859.

García-Valiñas, M., Martínez-Espiñeira, R., González-Gómez, F. (2010a). Affordability of residential water tariffs: Alternative measurement and explanatory factors in southern Spain. Journal Environmental Management 91(12): 2696-2706.

García-Valiñas, M., Martínez-Espiñeira, R., González-Gómez, F. (2010b). Measuring Water Affordability: A Proposal for Urban Centres in Developed Countries. International Journal of Water Resources Development 26(3): 441-458.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) - 2022. México.

Kessides, I., Miniaci, C. & Valbonesi, P. (2009). Toward defining and measuring the affordability of public utility services. Policy Research Working Paper 4915, The World Bank, Development Research Group, Environment and Energy Team.

Kooy, M., Tina, C. & Prabaharyaka, I. (2018). Inclusive development of urban water services in Jakarta: The role of groundwater. Habitat International 73: 109-118.

Mack, E.A. & Wrase, S. (2017). A Burgeoning Crisis? A Nationwide Assessment of the Geografy of Water Affordability in the United States. PLoS ONE12(1): e0169488.

Revollo-Fernández, D.A., Rodríguez-Tapia, L. & Morales-Novelo, J.A. (2019). Impactos de los subsidios al agua en los hogares pobres de la Ciudad de México. Revista Gestión y Política Pública 28(1): 39-67.

9 Gobernanza y gestión hídrica en la cuenca del alto río Lerma, Estado de México

Cesar H. Anchante Saravia[1*], Benjamín Zamudio González[2], Alondra N. Narcizo Rico3 y Eduardo Salazar Madero[4]

[1]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – CONAHCYT Estancia Posdoctoral (*autor de correspondencia: canchantes@gmail.com); [2]Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; [3]Facultad de Geografía, Universidad Autónoma del Estado de México; [4]Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México.

Resumen

Los estudios para caracterizar los riesgos ambientales aumentan constantemente en diversas partes del mundo, sobre todo con mayor énfasis en la cantidad y calidad del agua. Esto se debe, principalmente, a descargas residuales que reciben los cuerpos de agua por parte de los sectores: poblacional, agrícola e industrial. Por ello, la presente investigación toma a la Cuenca del Alto Río Lerma, Estado de México; con el propósito de constatar la calidad y cantidad según parámetros permisibles respecto a NOM001-SEMARNAT-2021. Los resultados contribuyen a la eficiencia de la gestión del recurso hídrico lo que repercutirá en la sociedad y coadyuvará a disminuir los problemas ambientales, daños ecológicos y económicos; así como, habilitar procesos continuos y sostenidos de mejora, corrección y reflexión para fortalecer la gobernanza ambiental a partir de las interacciones naturaleza-sociedad.

Introducción

La Cuenca del Alto Río Lerma en el Estado de México, abastece el recurso hídrico a las diferentes actividades antropogénicas, las que destacan: poblacional, agrícola e industrial. El aprovechamiento indiscriminado de estos sectores enfrenta diversos conflictos medio ambientales, destacando su disponibilidad y calidad. Aunado a ello, la deficiente gestión (uso, manejo, control, distribución y almacenamiento) del recurso hídrico (Anchante, 2021).
En esta zona de estudio, dichos sectores utilizan como captadores de sus desechos al Río Lerma. De esta manera, según Ateia y Yoshimura (2015) la calidad del agua superficial se va degradando. Además, el de afectar el desarrollo social y el equilibrio de los diversos ecosistemas.

Una de las diversas soluciones implementadas para tratar la contaminación, provocada por las grandes cantidades de agua residual vertidas al cauce del río Lerma, son las PTAR´s. Sin embargo, la mayoría de estas no están en funcionamiento por motivos económicos, de personal no capacitado o clausurados por incumplimiento de la NOM001-SEMARNAT-2021. Esta norma regula los límites permisibles de contaminantes para descargas de aguas residuales; tales como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), presencia de metales y no metales y comparados con estudios obtenidos a partir de una exhaustiva revisión en la literatura se evidencia que los diversos sectores no cumplen, en su mayoría.

En tal contexto, las afectaciones en la disponibilidad y calidad del agua afectan a la gobernanza y justicia ambiental, cada vez en mayor proporción. Por ello, es de suma importancia revisar las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR´s) para adicionar tecnología o cambiar equipos obsoletos; participación ciudadana y cultura hídrica. De esta manera se establecerá una mejor gobernanza del agua dentro de los organismos operadores.

Antecedentes

Las Cuencas son de suma importancia para las actividades antropogénicas, según Barajas y Hernández (2024), por tal motivo es de gran interés el realizar investigaciones debido a los factores ecológicos, procesos políticos, administrativos y socioeconómicos los cuales se ven afectados por fenómenos climatológicos y el ser humano.

México, por su geografía, tiene diferentes tipos de Cuencas las cuales fueron determinadas por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), organismo encargado desde el año 1992 según la Ley de Aguas Nacionales (LAN) quien otorga el derecho público en materia de gestión de aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes. Asimismo, dicha Comisión es la encargada de establecer normas mexicanas en temas hídricos y proporcionar concesiones, así como regularlas; en ambos casos si se incumpliera, debe proceder a su sanción (Diario Oficial de la Federación, 2023).

Con relación al recurso hídrico, a nivel nacional, en términos políticos administrativos, se destaca la Cuenca Lerma Chapala (57 580 km2) localizada en el centro de la república mexicana; afluente de suma importancia (Barajas y Hernández, 2024).
Esta investigación se centra en la Cuenca del Alto del Río Lerma en el Estado de México, cuya dimensión es de 5 354 km2 (ver Figura 1), ubicada en la zona de valles altos con altitudes que van desde los 2420 hasta los 4480 msnm; precipitación de 903 mm/año, evapotranspiración de 1630 mm/año (Orozco et al, 2017). El clima es templado con lluvias en verano, temperatura media anual de 13°C y un 81% de la superficie sembrada es por agricultura de temporal (SIAP, 2018). En la zona existen grupos de cultivos de maíz que siembran en altitudes hasta 2900 msnm tales como palomero toluqueño, cacahuacintle, chalqueño y arrocillo amarillo (Zamudio et al., 2023); las que destacan en preferencia de cultivo y gastronomía (Romero et al, 2023).

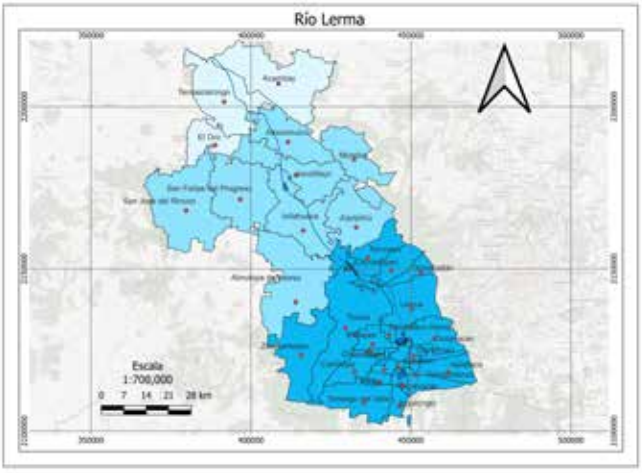


Figura 1 Cuenca del Alto Río Lerma, Estado de México.

En carácter internacional, México integrante de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), entidad internacional que tiene por objetivo principal mantener la paz y la seguridad internacional a partir de relaciones amistosas entre países promoviendo la cooperación internacional para resolver problemas a nivel mundial (ONU, 2024); reconoce el acceso seguro a un agua potable, salubre y al saneamiento como Derecho Humano fundamental para el completo disfrute de la vida y de todos los demás derechos humanos (ONU, 2010).

Sin embargo, México genera un millón de litros de aguas residuales por cada cuatro segundos aproximadamente, donde solo el 57% de estas aguas son tratadas con un 25% de PTAR´s que funcionan adecuadamente (Mazari y Noyola, 2018). Por tal motivo, es de suma importancia la integración y desarrollo de tecnologías para el adecuado y óptimo tratamiento para su saneamiento (García et al., 2022). Cabe resaltar, alrededor de cinco millones de personas no tienen acceso al recurso hídrico (Wilder et al, 2020).

Desde la década de los setenta, la Cuenca del Alto Río Lerma en el Estado de México ha enfrentado crecientes presiones ambientales, tales como la sobrexplotación superficial y subterránea del recurso hídrico (Anchante, 2021) así como su contaminación por descargas industriales y urbanas sin tratamiento adecuado (Ortega y Farvolden, 2000); incumpliendo la NOM001-SEMARNAT-2021. Según el Gobierno de México (2021) las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones técnicas obligatorias emitidas por el gobierno mexicano con el propósito de establecer requisitos y procedimientos para determinar, en este caso, la calidad del agua.

La NOM001 pertenece al control de la calidad del agua la cual establece los límites permisibles de contaminantes en aguas residuales descargables en cuerpos receptores. Dentro de estos contaminantes, los más regulados principalmente son la DBO, DQO y metales pesados (ver Tabla 1); los cuales representan graves riesgos para la salud pública y el medio ambiente. Concentraciones altas de DBO es indicativo de mayor contaminación; por otra parte, la DQO, representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica.

Tabla 1 Límites permisibles para descargas en ríos, arroyos, canales y drenes (Diario Oficial de la Federación, 2022).

Parámetros (mg/L)	NOM001-SEMARNAT-2021
pH (unidades)	6-9
Grasas (mg/L)	<15
SST (mg/L)	<60
DQO (mg/L)	<150
DBO (mg/L)	<38
Enterococos (NPM/100ml)	<250
Nitrógeno (mg/L)	<25
Fósforo (mg/L)	<15
Cadmio (mg/L)	<0.2
Cobre (mg/L)	<4
Plomo (mg/L)	<0.2
Cromo (mg/L)	<1
Níquel (mg/L)	<0.01
Zinc (mg/L)	<10

La situación de la Cuenca del Alto Río Lerma se refleja en diversos estudios para caracterizar la calidad y disponibilidad del agua; las cuales se centran en saneamiento, recuperación y desarrollo sustentable; además, de encontrar soluciones adecuadas integrando avances tecnológicos y científicos (Lara, 2018).

La problemática de la polución de los cuerpos de agua en el Estado de México, se aborda desde el concepto de Gobernanza Hídrica y se enfatiza la responsabilidad de los actores vinculados en el proceso de la toma de decisiones. Así, con el análisis de las interacciones del recurso agua, es posible cuestionar, proponer soluciones y centrar una mayor atención de ciertos actores en las tomas de decisiones (Brenner, 2010). Es decir, la Gobernanza Hídrica o Gobernanza del Agua, se centra cómo los sistemas sociales, económicos y políticos que influyen en la gestión del agua y saneamiento; creando políticas públicas y generar la participación social (Martínez et al., 2018; Anchante, 2021).

Ngene et al. (2021), indican que la gestión de recursos hídricos se enfoca principalmente en la disponibilidad, uso y control del agua en una determinada región atendiendo problemas relacionados a la calidad y cantidad con el fin de garantizar el acceso al agua a la población.

Por su parte, Venancio (2016), manifiesta que la gestión hídrica está dispersa e impera una acción desintegrada entre actores ocasionando una confusión en su coordinación, que por el contrario tiene que trascender la participación de actores sociales y privados. Este último, ocasionalmente está compuesto por el sector empresarial o industrial; bajo el manejo del Estado. Nuestra justipreciación a los conceptos anteriores, se suman los intereses económicos que representa el valor del agua y con frecuencia la falta de voluntad por adoptar medidas de uso eficiente, ahorro de fugas y rehabilitación del agua utilizada.

En consecuencia, las instituciones y/o organismos operadores del recurso hídrico, así como los comités independientes, son asociaciones encargadas de gestionar el agua en comunidades (ver Tabla 2); son fundamentales para establecer la gobernanza articulando alternativas de solución a las problemáticas en temas hídricos. Aunado a ello, incluir a la participación ciudadana y académica en las tomas de decisiones. Es por ello, de suma importancia y relevante garantizar el derecho al acceso a la información de las instituciones públicas encargadas en la gestión del agua.

Tabla 2 Dependencias encargadas en la gestión del agua en el México.

Federal	**Estatal**	**Municipal**
Comisión Nacional de Agua (CONAGUA)	Comisión del Agua del Estado de México	Organismos de Agua y Saneamiento
Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales		Comités Independientes de Agua

Actualmente, las dependencias en sus tres niveles, no cuentan con las herramientas suficientes para gestionar y ejecutar acciones para el restablecimiento en cuestión de calidad y cantidad del recurso hídrico en la Cuenca del Río Lerma. Ante esta evidencia, es necesario aplicar acciones legales, las cuales ya están establecidas por la NOM001. Solo es cuestión de hacerlas cumplir, ejecutarlas y con ello comenzar a obtener una gestión óptima que beneficie a todos los sectores.

Metodología

La presente investigación se centra en la obtención de información por parte de una revisión de la literatura a partir de artículos de divulgación científica, tesis de maestría y doctorado, y datos relevantes de dependencias respecto al Río Lerma. Aunado a ello, se tomó en cuenta algunas investigaciones respecto a las afectaciones de la salud humana.

Debido a la relevancia y complejidad respecto a la problemática del recurso hídrico, la zona de estudio abarca la parte alta de la Cuenca del Río Lerma, ubicados entre los municipios de Texcalyacac y Almoloya del Río; donde se ubica la Laguna de Chignahuapan, inicio del Río Lerma. Esta ubicación permite evidenciar como la disponibilidad y la calidad del agua, desde las afluentes en las partes altas ya contiene metales pesados y contaminantes diversos; los cuales no solamente son desechos industriales, también existen contaminantes agrícolas y poblacional.

Es por ello, se realizó esta investigación a través de un enfoque cuantitativo y cualitativo aplicando técnicas de muestreo, análisis de laboratorio, foros y reuniones con actores claves. Además, se realizó una revisión exhaustiva a la literatura con el propósito de reunir estudios científicos y normativos respecto a la Cuenca del Alto Río Lerma.

Resultados

La concentración de parámetros fisicoquímicos obtenidos a partir de la recolección de muestras es comparada con estudios anteriores; además, si estos cumplen con la NOM001 indicando su grado de afectación al Río Lerma, las cuales se muestran a continuación:

Tabla 3 Comparativo de Resultados del análisis de calidad del agua en la Cuenca del Alto Río Lerma, Estado de México.

Parámetros (mg/L)	Guzmán (2017)	Lara (2018)	Anchante y Zamudio (2024)	NOM001
pH	6.89	7.1	7.4	Aceptable
Grasas	459.78	1041.9	1908	Muy Alto
SST	216.7	135	390	Alto
DQO	396.4	329.6	286.06*	Muy Alto
DBO	184.95	184.2	651.19*	Muy Alto
Enterococos	2183	2400	≥2400	Muy Alto
Nitrógeno	30.6	43	44	Alto
Fósforo	4.64	6.7	4.95	Aceptable
Cadmio	ND	0.005	ND	Aceptable
Cobre	3.78	0.013	ND	Aceptable
Plomo	0.18	ND	ND	Aceptable
Cromo	0.008	0.015	ND	Aceptable
Níquel	0.56	0.016	<0.3	Aceptable
Zinc	10.9	0.004	0.05	Aceptable

ND= No Detectado; *Grasa = 75mg/L y DQO = 550 mg/L, su relación aproximada es de 6.67; y para DBO = 220 mg/L su relación aproximada es de 2.93.

De este comparativo, y a través de la revisión bibliográfica, se pudo evidenciar, en un primer momento, que los estudios para caracterizar la calidad del agua en la Cuenca del Río Lerma, con parámetros establecidos (ver **Tabla 3**) son pocos y contados. Es por ello la necesidad de seguir analizando a partir de muestras in situ y además de contar con un equipo correspondiente tanto en campo y laboratorio.

En segundo lugar, se evidencian parámetros de alta contaminación como son las grasas, DBO y DQO. A partir de ellos se puede establecer las condiciones del agua del Río Lerma. Dichos parámetros se calificaron como Muy Altos respecto a lo que establece la NOM001. En tal sentido, se juzga por deducción que las PTAR´s que operan en la parte Alta del Río Lerma, no están llevando a cabo una eficiente remoción de estos contaminantes.

Dichas aguas, pasan por humedales y pastizales que son aprovechados por los ganados y además beben dicha agua; asimismo, los agricultores extraen el agua del río para el riego de sus sembradíos. Esto se repite en diversos municipios cercanos al cauce del Río Lerma.

Las cosechas de cultivos y los productos provenientes de estas actividades que son de consumo humano dentro de la zona de estudio, presentan cantidades significativas de algunos metales pesados que, al ingerir por el ser humano, estas se manifiestan intoxicaciones, dolor abdominal, vómitos, pancreatitis, cáncer de próstata o disfunción inmune (Pedreño et al, 2024) por mencionar algunos padecimientos.

Cabe resaltar, las PTAR´s existentes dentro del Estado de México, en su mayoría, no trabajan a su máxima capacidad. Esto sucede, principalmente, por las situaciones: equipos o maquinaria obsoleta y/o personal no capacitado (Lara, 2018).

La gobernanza hídrica va más allá de identificar a los diferentes actores respecto a la gestión del agua y establecer vínculos con distribuidores y usuarios del recurso hídrico, también trae consigo propuestas de solución innovadoras tecnológicamente y autosuficientes. Tales como el fortalecimiento en los organismos operadores, uso eficiente del recurso hídrico, educación ambiental, adicionar tecnología, garantizar el saneamiento a partir de las PTAR´s y control de descargas de contaminantes de los diferentes sectores identificados.

Conclusiones

La Gobernanza del Agua en la Cuenca del Ato Río Lerma tiene grandes oportunidades de mejora. Las propuestas de solución son: modernizar las macro y micro PTAR´s con la opción de tecnologías con bajo consumo de energía iniciando con humedales naturales o artificiales aprovechando la energía potencial del agua por gravedad, Reactores Anaerobios de Primera, Segunda y Tercera Generación (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente), uso de microorganismos benéficos con generación de biogás para electricidad; entre otros.

La concentración de metales pesados y los parámetros analizados en cuestión en la Cuenca del Alto Río Lerma, en algunos casos rebasa lo permisible según lo establecido por la NOM001, por lo que se está generando un problema de contaminación sobre un cuerpo de agua principal y de suma importancia a nivel nacional.

En consecuencia, para mitigar esta problemática en zonas afectadas se debe contar con la participación activa para resolver o dar alternativas de solución con el propósito de reducir el impacto. Esta sería una estrategia óptima para eficientar tanto la Gobernanza como la Gestión Hídrica desde reuniones comunitarias, monitoreos a los sectores que contaminan con frecuencia y denunciar, capacitación técnica, educación ambiental, actividades culturales referente al agua, canales de comunicación directas con gestores del agua y reconocimiento social.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 4 Problemáticas y oportunidades para la gobernanza y gestión del agua en la Cuenca del Alto río Lerma en el Estado de México.

Problemáticas	Oportunidades
No existe control para el cumplimiento de la NOM001 por parte de la CONAGUA hacia los sectores contaminantes.	Se requiere aumentar tanto el personal técnico, legal y administrativo para regular la calidad del agua en el río.
PTARS ineficientes y obsoletas en el Estado de México bajo gestión de CONAGUA	Con la integración tecnológica e innovación en cuestión de tratamiento se puede eficientar la remoción de contaminantes.
Concentración de metales pesados en el Río Lerma utilizado para riego agrícola.	Con la adición de la tecnología en las plantas de tratamiento, el agua tratada tendrá concentraciones por debajo de los límites permisibles según NOM001, con ello mejorar la calidad de los productos agrícolas
Interés mínimo a la academia por parte de dependencias encargadas de la gestión del líquido	Existen diversos estudios indicando, proponiendo, contribuyendo e ideando propuestas de solución al nivel de la problemática con proyectos con tecnologías modernas e innovadoras.
Gestión del recurso hídrico no es eficiente por parte de organismos operadores	Incluir la Gobernanza Hídrica en esta problemática permite coadyuvar con la creación de nuevas políticas públicas, además de permitir la participación de todos los sectores en las tomas de decisiones.
Participación nula por parte de la sociedad	Se requiere información transparente y accesible a la población por parte de las dependencias en sus tres ámbitos de gobierno.
Datos confidenciales por parte CONAGUA respecto a calidad y cantidad de agua en el Alto Río Lerma, Estado de México	Es de suma importancia conocer el diagnóstico actual del agua en el río para establecer propuestas de solución desde la academia, sector privado, poblacional y sector público. De esta manera, eficientar la Gobernanza.

Referencias bibliográficas

Anchante Saravia, C. H. (2021). La sobreexplotación del Acuífero del Valle de Toluca y su gestión. Análisis desde el enfoque de redes de política pública. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales, Facultad de Química, UAEMéx, 229 pp.

Ateia, M. y Yoshimura, C. (2015). In-situ biological water treatment technologies for environmental remediation: a review. Eighteenth International Water Technology Conference. Sharm, ElSheikh, 12-14 marzo 2015. https://pdfs.semanticscholar.org/1e55/0da339c858b88273d7e5fe786d70c2bee1ec.pdf

Barajas Valadez, C. A. y Hernández García, A. (2024). De las inundaciones a la crisis hídrica en la Cuenca Baja del Río Lerma en México: Una mirada desde la Agenda 2030. Revista de la Ciénega, 3(7). 9-32pp. http://revistaestudiosdelacienega.com/ojs/index.php/rec/article/view/91/80

Brenner, L. (2010). Gobernanza ambiental, actores sociales y conflictos en las Áreas Naturales Protegidas mexicanas. Revista Mexicana de Sociología, 72(2), 283-310 pp.

Diario Oficial de la Federación (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (2023). Ley de Aguas Nacionales. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf

García Espinoza, J. D., Robles, I., Rodríguez Valadez, F. J., Rodríguez García, A. Ramírez, J. A., Hernández Iturriaga, M. y Godínez, L. A. (2022). Electro-Fenton systems for on-site sanitary wastewater treatment: Towards an off-grid technology for developing countries. Environmental Chemical Engineering, 10(3). https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343722008272

Gobierno de México (2021). Sabes cómo te benefician las Normas Oficiales Mexicanas. Secretaría de Economía. https://www.gob.mx/se/acciones-y-programas/sabes-como-te-benefician-las-normas-oficiales-mexicanas?state=published

Guzmán Gorrochategui, E. R. (2017). Evaluación de la contaminación del agua en las descargas de la laguna de Chimaliapan, Lerma, Estado de México. Tesis Maestría en Ciencias de la Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico de Toluca, 124 pp.

Lara Domínguez, F. J. (2018). Calentamiento de un reactor UASB con energía solar para tratar una mezcla de agua residual industrial y agua contaminada del Río Lerma. Tesis Doctoral en el Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA), Facultad de Ingeniería, UAEMéx, 198 pp.

Martínez, P., Díaz Delgado, C. y Moeller, G. (2018). Seguridad hídrica en México. México: Academia de Ingeniería México.

Mazari Hiriart, M. y Noyola Robles, A. (2018). Problemática y política del agua. La Jornada Ecológica. https://ecologica.jornada.com.mx/2018/05/27/problematica-y-politica-del-agua-5123.html

Ngene, B. U., Nwafor, C. O., Bamigboye, G. O., Ogbiye, A. S., Ogundare, J. O. y Akpan, V. E. (2021). Assessment of water resources development and explotain in Nigeria: A review of integrated water resources management approach. Heliyon, 7(1), 1-10 pp. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021000608

Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2010). El derecho humano al agua y el saneamiento. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_spa.pdf

Organización de las Naciones Unidas. (2024). La organización. https://www.un.org/es/about-us

Orozco Ramírez, Q., Perales, H. y Hijmans, R. (2017). Geographical distribution and diversity of maize races in Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution, 64(5), 855-865 pp.

Ortega-Guerrero, B., y Farvolden, R. N. (2000). Hydrogeological assessment of the Lerma Basin, Mexico. Hydrological Processes, 14(10), 1771-1788 pp.

Pedreño Pérez, A., Seva Alcaraz, J., Sanes Vargas, J. M. y Motas Guzmán, M. (2023). Estudio de metales pesados (Cd, Zn, Cu, Pb) en el toro de lidia de diferentes zonas ganaderas y su posible repercusión en la cadena alimentaria. Anales de Veterinaria de Murcia, 38. https://doi.org/10.6018/analesvet.602601

Romero Contreras, A. T., Becerril Piña, R., Díaz Delgado, C., Mastachi Loza, C. A., Vilchis Francés, A. y Arévalo Mejía, R. (2023). Maíz temporal: ¿es suficiente el conocimiento etnoecológico para afrontar la variabilidad climática?. Economía, sociedad y territorio, 23(71), 185-215 pp. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-84212023000100185&script=sci_arttext

Servicio de Información Agroalimentaria (SIAP, 2018). Atlas agroalimentario 2012-2018: la transformación productiva del campo mexicano. https://cutt.ly/CnKfFpY

Venancio, A. (2016). Planificación y gestión del desarrollo de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Un análisis desde la Gobernanza 2005-2012. México: Instituto de Administración del Estado de México A.C.

Wilder, M., Austria, P., Romero, P. y Ayala, M. (2020). The human right to water in Mexico: Challenges and opportunities. Water Alternatives, 13, 28-48 pp.

Zamudio González, B., Soria Ruiz, J., Sotelo Ruiz, E., Inurreta Aguirre, H. D., De la O Olán, M., Bahena Juárez, F., González Albarrán, M., Cárdenas Marcelo, A. L., Saravia Tasayco, P., Martínez Gutiérrez, A., Tadeo Robledo, M. y Espinoza Calderón, A. (2023). Tecnología racional y rentable para la producción de maíz en el Estado de México. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, ISBN:978-607-37-1540-9

10 La ciudad Capital como parte de la cuenca de México 1851-1864

Claudia Coronel Enríquez[1*]

1Instituto Mora, Centro Publico CONAHCyT (*autor de correspondencia: ccoronel@institutomora.edu.mx)

Resumen

Los estudios históricos impusieron durante mucho tiempo que uno de los problemas más importantes de la ciudad de México era el de las inundaciones y que su única solución era desarrollar el desagüe de toda la Cuenca. Este texto recupera el funcionamiento de la cuenca de México en un momento muy concreto de su desarrollo y muestra que la Capital fue un espacio importante en su funcionamiento y no una víctima de los desastres naturales. Dicho rol, sigue vigente hasta nuestros días, reconocerlo, implica actuar como agentes promotores del ciclo hidrológico, colocar al agua no sólo como un recurso vital, sino como un proceso que configura nuestro ecosistema urbano, con un gran potencial para conducir a la ciudad y a la cuenca de México a un estado funcional sustentable y garante de derechos.

Introducción

En el año de 1747, al revisar los trabajos en el espacio que hoy llamamos cuenca de México, el virrey novohispano Juan Francisco de Güemes veía que "todas las vertientes, que llegaban a más de noventa, bajaban al Valle junto con el agua de todos los manantiales, ríos, y fuentes que, en sus laderas y senos, nacen junto con las aguas llovedizas, corriendo a parar a la laguna que llaman de Texcoco en el centro del Valle" y situada al lado de la ciudad (autores, 1864). Sin embargo, este virrey notaba que había disminuido la extensión de los lagos, si bien se hacía preciso mantener las peculiares obras con las que se evitaba la inundación de la ciudad.

De igual forma, Manuel Orozco y Berra en 1864 llegaba a la misma conclusión del virrey novohispano: la capital del Segundo Imperio era ya distinta a la ciudad de la época Colonial y de la Independencia. Orozco y Berra también insistió en que el espacio de los lagos se estaba reduciendo, siendo secuestrado por diversas actividades productivas, las cuales tenían sus propios usos del agua. Varias de las vías de agua superficial sobrevivieron durante toda la época colonial y hasta muy avanzado el siglo XIX (Lombardo de Ruiz et al, 2009, p. 24), empleándose en diversas funciones: para la navegación, para desaguar, como límite de propiedades, como sistema de riego y otras muchas más. Además de constatar los muchos cambios, existía un elemento que se mantuvo constante y es que la ciudad ha sido siempre parte importante de la transformación de la cuenca de México.

En los siguientes párrafos se reseña la forma en que el agua de los cauces que bajaban de los cerros, la de lluvia, así como la traída por los acueductos y extraída por los artesianos era usada, circulaba por la capital y luego la forma en que salía de ella para evitar anegaciones.

En términos generales la ciudad de México tenía un desnivel hacia el oriente, el cual era aprovechado para hacer circular el agua y conducirla al lago de Texcoco, aunque también se contenía en otros espacios. Es probable que, al ligar el estudio de la cuenca con los temas de la historia del desagüe y el drenaje, se haya generado una imagen de la capital del país como víctima de los desastres naturales, en lugar de un espacio importante en el funcionamiento de este sistema hidráulico.

Desarrollo

En las siguientes secciones se da cuenta de la conducción de las aguas en la ciudad. La documentación del Archivo Histórico de la Ciudad de México y del General de la Nación hace algunas referencias a las zanjas interiores que a diferencia de las acequias eran canales más anchos y profundos. Existen seis documentos que van del año 1851 al de 1857 en las que se pretendió hacer un recuento de estas zanjas para reseñar la situación de la Capital o para proponer medidas generales para prevenir las inundaciones. Dos de ellos contaron con la participación de Manuel Orozco y Berra, los otros cuatro corresponden a informes de parte del Ayuntamiento

de la Ciudad de México o del Ministerio de Fomento y contaron con la participación del señor Juan Nepomuceno Luna (AHCMh, 1851; CDCyD, 1853; Orozco y Berra, 1973; AHCMj, 1856; SFCIC, 1857). Varios factores impulsaron a tener una relación más completa de las zanjas interiores de la ciudad de México al avanzar la década de los 1850s. Entre otros la inundación parcial que hubo en el año de 1853, los temores de una nueva catástrofe en los años de 1855 y 1856 y el Supremo Decreto del 4 de febrero de ese último año en el que se creó una junta de propietarios a cuyo cargo se puso todo lo relativo al desagüe de la Ciudad y valle de México. Se recobra el papel de las zanjas como conductos de lo que recibían por las atarjeas, pero también como parte de un sistema más grande de circulación del agua. Pues, como se afirmaba, cada una de las zanjas recibía "volúmenes considerables de agua, que ya quedan estancadas en las mismas excavaciones, o corren con dirección al lago de Texcoco." (Orozco y Berra, op cit; SFCIC, op cit).

Se podría decir que las zanjas se construyeron buscando una conexión entre las zanjas del oriente y las ciénagas del poniente (Zúñiga y Ontiveros, 2008). Lo mismo que sucedía con las atarjeas, las zanjas que corrían de sur a norte eran secundarias También es indiscutible que el más importante de todos era el Canal Real y por lo mismo el más utilizado. En el mapa se muestra el trazo aproximado de 17 zanjas interiores que fueron reportadas y descritas en los documentos de archivo durante 1851 a 1867 (ver Figura 1).

Las referencias documentales describen a las zanjas interiores, algunas apenas son mencionadas y otras merecieron informes completos, los temas más recurrentes son las obras de mantenimiento y de limpia para garantizar el flujo continuo de las aguas para diferentes propósitos, así como conducir fuera de la ciudad los materiales residuales generados. A continuación, se citan algunos de estos informes y referencias.

La zanja de Comulica aparecía en las relaciones de los años 1851 y 1853. Este cauce fue construido con mayores dimensiones que otros para conducir parte del agua que bajaba por el rumbo de San Cosme y llevarla hacia las ciénagas del norte de la Capital. Al igual que los canales del Consulado, la Piedad y Churubusco, se transformó a inicios de la década de los 1850's en el Río Chico.

El mayor del batallón de la Guardia de Policía Cayetano Basave informa al Ayuntamiento "sobre el estado que guardan las zanjas de las inmediaciones del cuartel de la Ex Acordada que ocupa este Batallón. La zanja que está situada al costado de dicho edificio que ve al poniente y corre de norte a sur se halla azolvada casi en su totalidad con un depósito de inmundicia, debido a tener en ella su desahogo los comunes de la cárcel y de dicho cuartel." (AHCMa, 1846; AHCMd, 1849).

De acuerdo con los contemporáneos cuando el Canal de la Viga se azolvaba inmediatamente "se trastorna el sistema de desagüe." Había dos razones para que esto sucediera. La primera era que, al igual que con todas las zanjas de la zona, su corriente arrastraba las basuras, los deslaves y las lamas que venían de distintos puntos. La segunda era que la corriente era calificada de "extremadamente suave en virtud de la nimia diferencia de nivel." Por lo que una tarea constante era la limpieza y mantenimiento del canal. (Orozco y Berra, op cit, p. 182-183; AHCMh, op cit).

Los trabajos de mantenimiento de los conductos eran fundamentales como consta en la siguiente cita: "En contestación a la nota que se ha servido V. dirigirme preguntando cuales son las obras ejecutadas con relación al desagüe de la ciudad y Valle de México, el objeto y conducencia de ellas y su costo, tengo el honor de manifestar que las obras cuya dirección me fue confiada, estaban reducidas a la limpia de atarjeas, zanjas desaguadoras y de circunvalación de la ciudad", informaba en 1857 el encargado de estas obras como parte del Ayuntamiento de la Capital (SFCIC, op cit, p. 128-129).

Durante la inundación de 1863, los ingenieros de la municipalidad opinaron que sería conveniente desazolvar la zanja desaguadora auxiliar para tener expeditos los más canales y vasos de agua que sea posible para recibir aguas que muy lentamente corren hacia la laguna (de Texcoco)". Esto, señalaron, atendiendo a las circunstancias en que se encuentra la ciudad (AHCMk, 1863).

Además de las zanjas, las conocidas calzadas-diques hacían parte del sistema de conducción general de agua (ver mapa). En 1855, los autores del Diccionario Histórico se referían a las zanjas construidas a sus lados, anotan que dichas zanjas "deben hallarse en corriente porque así conviene a la

seguridad de los caminos, porque también están en relación y hacen parte del sistema del desagüe." Se sabía que eran varias "y de diversa extensión: a la municipalidad corresponde limpiarlas a medias con los propietarios de los terrenos que lindan con ellas". (Autor no conocidoc, 1855, p.57).

Un tema recurrente en los relatos escritos se relaciona con los trabajos de mantenimiento y desazolve de atarjeas o desagües. Se hacían las contratas en los primeros meses del año, con el fin de que las acequias estuvieran limpias antes de iniciar las lluvias. Uno de los elementos más importantes, era que el contratista se comprometía "a llevarse todas las materias del desazolve en los lugares que previamente" se designarían. También explicaban que el hecho de que no haya inundaciones en algunos puntos y en otros sí, no se debe a la falta de limpia, sino al "estado de desarreglo de las plantillas de las atarjeas." Algunas atarjeas tenían su declive opuesto al de la que debería desaguar, porque desembocan en otras de una profundidad considerablemente menor. (AHCMb, 1848; Autor no conocidoe, 1863).

Unos años después en 1853, se inició la modificación de este sistema, (Adorno, 1865), presentándose proyectos para cambiar también los empedrados de las calles. El nuevo sistema de construcción, al que se le llamó de forma peyorativa como "de terraplén", ocasionaba que el agua permaneciera estancada por más tiempo, esto fue agravado por la desnivelación presente en las calles y construcciones.

Las cosas continuaron casi de la misma forma hasta el año 1856, cuando ante la inminente amenaza de una inundación general de la Capital, se formó una Junta Menor del Desagüe. Esta Junta, además de supervisar los proyectos y planes para el desagüe general, también puso atención en "disminuir todo lo posible los vicios del antiguo método, disponiendo el orden de trabajos y operaciones, de tal suerte que en ninguna calle estuviera más de 24 horas las inmundicias que se iban extrayendo de las atarjeas." (SFCIC, op cit, pp.120,128 y131).

Uno de los contratistas, Juan Nepomuceno Adorno afirmaba que la limpia de atarjeas se debería realizar a la par del mantenimiento de todo el sistema. En 1857 se explicaba: "las atarjeas derraman en la zanja cuadrada del oriente, zanjas desaguadoras y Canal Real, de manera que las funciones que una y otra tienen que llenar están de tal manera ligadas, que la limpia parcial de unas sin atender a las otras, de nada hubiera servido." (AHCMh, op cit; Torre de la, 2010, p.59 y 61). También en ese año se insiste en "repetir la recomendación que otras veces ha hecho, sobre que se cuida de que la acequia o canal real que va de la Viga a San Lázaro se mantenga siempre en nivel más bajo que las bocas de las atarjeas que en ella desaguan." (SFCIC, op cit, p. 120). Si bien se ha señalado que el hundimiento de la ciudad se produjo como consecuencia de la extracción del agua del subsuelo, existía desde antes un hundimiento diferenciado de la ciudad (Autor no conocidoe, op cit) Este hundimiento de los predios, combinado con la elevación de los terraplenes, ocasionó que los habitantes de las calles "bajas" solicitaran a las autoridades que elevaran su calle, ocasionando que se perdiera la escasa nivelación de las calles que existía (Adorno, op cit). Apenas en 1858, la Comisión Hidrográfica, bajo la supervisión de Díaz Covarrubias, había realizado el primer estudio de nivelación de la ciudad con métodos geodésicos (Auvinet et al. 2017).

Un elemento poco referido en los sistemas de desagüe en la época, y que viene emparejado con su gestión, es la disposición de los llamados derrames que en general se referían a las aguas residuales y desechos domésticos urbanos, incluso los derrames de agua en fuentes públicas se catalogaban como indeseables, otros derrames eran inducidos para controlar las inundaciones en la ciudad. En el periodo de estudio aquí comprendido no existían en la mayoría de las fuentes de agua que llegaba por los acueductos, ni en los pozos artesianos, llaves que impidieran el paso del agua cuando no se ocupara, además los problemas en la red de suministro de agua ocasionaban fugas constantes (Lombardo de Ruiz et al. op cit p. 42; Autor no conocidob, 1853). Esto era en parte porque las fuentes de agua se consideraban inagotables.

Cayetano Mora señala que en una época anterior se sacaban las materias fecales en carros y se acostumbra a vaciar sus contenidos en las zanjas interiores. Este sistema luego se sustituyó con la construcción de letrinas. El problema que observa es que esas materias fecales van a dar de las letrinas a las atarjeas lo que provoca las malas condiciones de salud de la ciudad (AHCMc, 1848; Gayón, 2013, p. 108). No todas las casas contaban con conductos que llevaran los derrames domésticos a las atarjeas.

También en 1848, se hace referencia a "disposiciones que prohíben la introducción de materias fecales en las atarjeas de la ciudad," pues, de acuerdo con las autoridades "semejante sistema solo puede permitirse en donde la abundancia de aguas corrientes destruya sus inconvenientes." (AHCMc, op cit) En los casos en que en este supuesto no se cumplía, el contenido de los "lugares comunes" debería depositarse en los carros nocturnos, lo mismo que el resto de los desperdicios sólidos. Esto no siempre se cumplía. Luego, en 1851 el administrador del rastro de la ciudad le pedía al ayuntamiento que debe desazolvar la zanja desaguadora del sur que se encuentra a espaldas del rastro, porque los derrames del establecimiento con muchas materias no tienen ningún movimiento (AHCMg, 1851).

Unos años después se reporta la conducción de desechos y materiales arrastrados por los caños locales lo que era confirmado por un viajero en el año de 1860: "algunos productos solubles bastante variados y otras materias indisolubles que permanecen en la atarjea, y que reunidas a las materias arcillosas que contienen todas las aguas en mayor o menor cantidad, producen ese asiento negro semi-fluido que todos conocemos, y que obstruiría a cada momento las atarjeas". (Poumarede, 1860, p. 43).

Ante este escenario se comprende la relevancia de mantener en circulación el agua y las materias en ella disueltas hacia las afueras de la ciudad. En resumen, existían distintas maneras de hacer la limpia y mantenimiento del sistema de desagüe, organizado por instancias diferentes y con la intervención de diversos factores que hacían aumentar los costos según las circunstancias.

El control de las corrientes principales también se realizó a través de compuertas a lo largo del canal Real. De las cuatro compuertas importantes que refieren muchos documentos de la época, la de Mexicaltzingo, la Viga, San Lázaro y Santo Tomás, es probable que la más mencionada y hasta disputada fuera esta última (AHCM, 1821; AHCMj, op cit; AHCMb, op cit). Una función de la compuerta de Santo Tomás era controlar el agua que circulaba por la zanja de San Salvador (la desaguadora del Sur) y dirigirla hacia las zanjas laterales con rumbo a la Zanja cuadrada (ver Figura 1). En tanto que la compuerta de San Lázaro se empleaba para impedir que retrocedieran las aguas que ya hubieran pasado la ciudad, así como para cuidar que no bajase demasiado el nivel de agua en los canales, principalmente en la Acequia Real (CDCyD, op cit, p. 7).

En 1856 el manejo de las compuertas fue motivo de una batalla entre instituciones con objetivos contrapuestos. La Junta de Desagüe dirigía un comunicado a la Secretaría de Fomento que con el objetivo de prevenir las anegaciones de la temporada "es de necesidad que pueda disponer del uso de las compuertas de San Lázaro, Santo Tomás y la Viga, pero como hoy están a cargo del Ayuntamiento y del resguardo de la Aduana, acordó manifestarlo, para que si el Presidente cree conveniente que con el indicado objeto se ponga a disposición de dicha Junta el uso de las compuertas". Dios y Libertad.

Méjico junio 21 de 1856. Se pidió al ministro de Fomento que determinara que "no se pondrán dichas compuertas a disposición de la Junta menor, por ser un ataque directo a los derechos de esta Corporación de quien no se tiene que lamentar ninguna falta por morosidad." Sala de Comisiones del Excelentísimo Ayuntamiento. México junio 30 de 1856. Miguel López. En respuesta al secretario del E. Ayuntamiento de esta Capital, la Secretaría de Fomento anotó: "le repito a usted la citada disposición que espero tendrá su más pronto y puntual cumplimiento. Dios y Libertad. Méjico, julio 4 de 1856". (AHCMj, op cit).

En 1864, al inicio de la temporada de lluvias, se decidió mantener cerrada la compuerta de Santo Tomás, en horarios específicos (AGN3, 1864). A finales del año, ya concluida la temporada, la Acequia Real seguía llevando una gran cantidad de agua, por lo que las calles de la Merced, Puente de Balvanera y Rejas de Balvanera, Correo Mayor y otras se inundaban durante el día cuando la corriente de agua del canal impedía el desaforo de las atarjeas por estar abierta dicha compuerta (AHCMm, 1864).

El Ayuntamiento capitalino aprueba una resolución conciliando los intereses del fisco y de la ciudad dirigida al administrador de rentas del Distrito, donde se manifiesta que no debe accederse a la solicitud de cerrar la compuerta de San Lázaro por las noches. Ante la insistencia de controlar la compuerta referida por parte del jefe del resguardo el 3 de marzo de 1865 el ingeniero Ibarrola contesta que la apertura o clausura de una compuerta solamente debe hacerse por tratarse de una operación necesaria. Sentenciando que no era posible poner

las compuertas a disposición. (AHCMm, op cit; AHACM, 1865). Esto fue parte del contexto previo a la gran inundación de 1865.

Otra medida para mitigar inundaciones en la ciudad era la administración de los canales construidos por los pueblos fuera de la ciudad, los cuales cruzaban el canal Real. Mediante los denominados derrames que en contadas ocasiones se promovían para regar o cubrir áreas no sólo de agua sino también de desechos orgánicos, enriqueciéndola con nutrientes (enlamamiento). Por ello, los derrames fueron una forma de control relevante durante las estaciones de lluvias.

Para el siglo XVIII se indica: "Otras acequias menores y canales de riego, alimentadas en su mayoría por las acequias principales, se esparcían en las zonas periféricas de la ciudad. En el norte eran escasas, pero en el sur este tipo de conductos formaban redes que distribuían el agua a través de amplias zonas (Torre, de la, op cit, p. 61). En el año de 1849 una comisión de ingenieros señalaba que el exceso de agua que bajaba por el Canal se debía a compuertas que se habían instalado en las zanjas que había en la Acequia Real antes de llegar a la ciudad de México (AHCMe, 1849). Por supuesto, estas compuertas luego fueron removidas para permitir los derrames.

En documentos generados en 1851 y 1853 se asigna el título de "Zanjas que se desprenden del Canal Real" a multitud de zanjas en la zona suroriente de la Capital las cuales realizaban diversas funciones, entre ellas como desfogue del Canal Real, pero también tenían el cometido de alimentar la zanja cuadrada, como vías de transporte y hasta de servir como elemento fundamental de los varios baños que se situaban en esta zona para aprovechar el recurso (AHCMi, 1851). Aquí interesa resaltar que el Canal Real también atravesaba la ciudad de oriente a poniente para, en caso necesario, conducir el exceso de agua no solamente al lago de Texcoco, sino para depositarlo en los ejidos de la ciudad situados al poniente, los cuales hacían la función de ciénagas cuando se requería (Orozco y Berra, op cit, p. 122).

En el año de 1855 se expresaba con claridad la responsabilidad de la municipalidad en la que se combinaba "el apropiado juego de las compuertas de Santo Tomás y San Lázaro" con el otro componente de este sistema que era la "multitud de venas desaguadoras del canal, situadas al sur de la capital y cuya regularidad es preciso conservar." (Orozco y Berra, op cit, pp. 182 y 183).

Por último, otro aspecto en la gestión de las aguas que contribuyo el desarrollo de la ciudad fue el uso de los canales de agua como medios de transporte, como lo atestiguan diversos archivos revisados. El papel de las calzadas en la navegación se resalta porque uno de los elementos que las conformaban eran las zanjas laterales que se construían para su protección y para dar cauce a las aguas (AGN, 1849). En la estación de aguas del año 1849 los responsables de la iglesia del Carmen solicitan desazolvar esa acequia para posibilitar la navegación (AHCMf, 1849). Esto indicaría que diversos tramos de la zanja cuadrada estarían disponibles para la navegación cuando estaban debidamente desazolvados. Otro ejemplo de zanja navegable es la del Campo Florido (Barbosa, 2013, p. 112).



Figura 1 Mapa del sistema de Zanjas y Calzadas-diques para la gestión del agua, 1851-1864. Elaboración propia. Fuentes cartográficas: Manero, V., 1853, Autor no conocidod, 1858; AHCMk, op cit; Díaz-Covarrubias et al, 1863; Rosas, 1864; Orozco y Berra, op cit.

Varios años después se presentaron dos proyectos para usar una de las zanjas de las calzadas de Chapultepec y la del Peñón como canales navegables (DO, 1856). Finalmente, el canal Real es el más referido en cuestiones de navegación y por su corriente permanente lo siguió siendo hasta mediados del siglo XX (Autores, Arquitectos, 1859, p. 12).

Los siguientes apartados abordan las dificultades que afrontaron autoridades y ciudadanos ante diferentes eventos de inundación en el periodo 1853-1864.

Dada la ubicación de la Capital sobre los lagos se diseñaron estructuras que tenían el explicito propósito de conducir el exceso de agua o contenerlo, como los diques y calzadas. Casi inmediatamente después de la construcción de la ciudad colonial la principal medida de control sobre las aguas del lago de Texcoco fue la reconstrucción del dique de Nezahualcóyotl, de la época anterior a la conquista, que iba de Atzacoalco a Iztapalapa, para luego construir un "nuevo dique, el albarradón de San Lázaro", hacia 1555 y 1556 (Gibson, 1984, p.241). Cuando había fuertes lluvias o desbordes de los ríos, parte de la documentación generada en la segunda mitad de siglo XIX señala a las calzadas como un elemento "protagónico" en los temas de inundación. A mediados del siglo XIX había doce importantes calzadas alrededor de la Ciudad de México (ver Figura 1).

La vigilancia de las calzadas implicaba desde luego al Ayuntamiento de la Capital, pero, dependiendo de la época, también intervenían el Gobierno del Distrito con su Dirección de Calzadas o, en otro momento, con la Comisión de Obras Públicas y el gobierno Federal vía la Secretaría de Fomento (Autor no conocidoc, op cit).

Si bien las inundaciones y anegaciones en diversas partes de la ciudad eran frecuentes durante el verano, los eventos de 1853, 1863, 1864 y 1865 aparecen documentados de forma relevante. Frente a los aguaceros de 1853 las autoridades locales de Tacubaya abrieron la compuerta de los Arbolitos con el fin de regular los derrames de los ríos Tacubaya y Xola, lo cual resultó en la inundación del pueblo de La Piedad. Ante esto, el ministro de Fomento le indicó al Gobernador del Distrito que se informara al prefecto de Tacubaya para que bajo ningún pretexto se abra la compuerta referida y evitar que se inunde el camino de La Piedad a la Capital." (AGN2, 1853; Autor no conocido, 1853). Usualmente los derrames se descargaban en el rancho La Condesa.
Cuando el ejército francés ocupó la Capital y se nombró al señor Miguel María Azcárate como prefecto municipal por el general Forey, se hizo una evaluación ante las continuas y copiosas lluvias del año 1863. Para la defensa de la ciudad se recurrió a la ruptura de los bordos de algunos ríos y, algún otro fue cegado en una extensión considerable, lo que ocasionó la anegación de campos, calzadas y pueblos. También se consideraba que esta situación se debía "por una parte a la destrucción de las compuertas de Mexicaltzingo y la Viga, y por otra a haberse cegado algunos canales auxiliares, por personas interesadas en convertir en campo de labor o pasto, ciénagas que antes servían de Laguna." (AHCMI, 1863).

Como se mencionó en sección previa, una vez iniciada la temporada de lluvias del año 1864 se decidió tener permanentemente cerrada la compuerta de Santo Tomás. Esto también se acordó para evitar males a la ciudad y comprobando que "las aguas toman por los canales desaguadores de la Magdalena o del Recreo, el de San Lázaro, Losa y el de San Dieguito que funcionan bien." (AGN3, op cit).

Ante esta situación, en el mismo año, se propusieron proyectos originales como el propuesto por el señor Guillermo Hay basado en la limpia de las atarjeas de México, promoviendo para remediar el desazolve, el uso del agua de la Acequia Real y de la construcción de "sur a norte de unas atarjeas profundas con bóveda." Estando la Capital parcialmente inundada y con amenaza del desborde de todos los ríos no se hizo caso de la propuesta (AGN4, 1864).

"En tiempo de grandes aguas", una de las consecuencias de cerrar la compuerta de Santo Tomás era que no teniendo el agua "la suficiente salida, suben considerablemente de nivel en el gran Canal, inundando los pueblos inmediatos y los terrenos colindantes, causando a sus propietarios perjuicios de mucha cantidad por las pérdidas de sus cosechas y a la población en general por la interrupción de la navegación". (Garay, 1888, p. 57). Debe decirse que el esquema "atarjeas-canal de la Viga-San Lázaro-Texcoco", además de simplificado, era, en realidad, un esquema ideal promovido por los funcionarios, más que una descripción de lo que realmente sucedía.

Paralelamente a los eventos de inundación citados, en el año 1854 ocurrieron una serie de cambios relevantes en la propiedad de las tierras, que llevaron a la desamortización de los bienes comunales de los pueblos y condujeron al acaparamiento por parte de privados. (Orozco y Berra, op cit, pp. 182-183). Esta etapa precede a los procesos de desamortización de bienes de las corporaciones en 1856, con ello se afectaron actividades más relacionadas con el ambiente lacustre, su conservación, o la producción de autoabasto (Castillo, 2012).

Poco después, se expropiaron terrenos de los barrios del norponiente de la ciudad para colocar la aduana y un nodo de los ferrocarriles foráneos en 1857 (Aguayo et al, 2015). El proceso de cegamiento de acequias y zanjas y su sustitución por atarjeas, iniciado desde los años 40´s, afectó la circulación del agua al interior y agravó los problemas de azolvamiento ya referidos ampliamente (Torre de la, op cit).

De esta forma, se contribuyó al proceso de desecación de ciénegas y áreas de recarga, afectando el balance hídrico en la cuenca. También se afectó la disponibilidad de agua en el primer cuadro de la ciudad, no es casualidad que la construcción de pozos artesianos se iniciara en 1853 y desde entonces la extracción de agua del subsuelo haya continuado. Esta explotación agravó los hundimientos del suelo en la ciudad, inicialmente locales, pero que contribuyeron a los problemas de desnivelación del sistema de drenaje ya mencionados (Auvinet et al, op cit).

Hasta entonces los pueblos y propiedades situadas a lo largo del cauce de ríos gestionaban el agua con base en mercedes coloniales y el usufructo de los lagos, en este contexto, el uso de agua no estaba reglamentado a la par de los derechos de uso de la tierra. Si había conflictos por afectaciones en el acceso al agua entre vecinos, el ayuntamiento debía mediar las disputas y garantizar el acceso al agua a toda la población en los territorios bajo su administración (López, 2023).

Los usos de la tierra y el agua aún se resolvían entre propietarios, los pueblos vecinos y autoridades locales. Un modelo interesante de gobernanza del agua que hoy poco conocemos.

Conclusiones

Los habitantes y autoridades de la ciudad de mediados de siglo XIX intervinieron en los diversos componentes del ciclo hidrológico. Esta gestión favoreció prácticas adecuadas que nutrieron los suelos con lodos ricos en materia orgánica, se regularon las anegaciones mediante ciénegas y canales para riego, generando con ello, tierras productivas que abastecieron las necesidades de la ciudad.
Si bien había conflictos en cuanto a la regulación de los flujos de entrada a la ciudad, existían los medios para llegar a acuerdos. Sin embargo, las disputas por el control en la gestión del agua por parte de diversas autoridades y el hecho de favorecer los intereses de grupos privilegiados, no dio espacio a propuestas interesantes para la atención de estos problemas. Las guerras e inestabilidad política de mediados del siglo XIX tampoco permitieron generar planes de mejoramiento urbano a largo plazo.
Varios de los retos respecto a la gestión del agua, revisados aquí, siguen vigentes. Las buenas prácticas y aprendizajes que nos legaron los habitantes y autoridades de aquella ciudad, recuperadas de documentos y memorias, pueden combinarse con la aplicación de técnicas novedosas para incrementar el potencial de avanzar hacia una gestión integral y sustentable del agua.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Ciudad de México de acuerdo con lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Conflictos en cuanto al control de los flujos de represas y caudales que entran a la ciudad y circulan por las vías diseñadas para el desagüe	Privilegiar la conversación, intercambio de posturas y toma de acuerdos entre las diversas autoridades que tienen injerencia en la administración de redes de desagüe
Exceso de centralidad de las decisiones y priorizar los intereses de grupos privilegiados	Favorecer prácticas de gobernanza donde se reconozcan los derechos de uso y/o usufructo de las aguas de los pueblos y comunidades, con la participación de autoridades y otros agentes locales

Problemas de azolvamiento, inundaciones y descarga de residuos en corrientes, canales, drenajes y otras fuentes de agua	Favorecer la implementación de proyectos innovadores o basados en la naturaleza, adecuados al contexto de las localidades donde se requiere implementar soluciones. Limpieza y reúso de aguas tratadas
Perdida de los fuertes lazos de la población con la vida y cultura lacustre	Fortalecer la educación ambiental en comunidades, escuelas, integrar conocimiento del agua a múltiples escalas y disciplinas, reconocer los derechos de todas las comunidades al acceso al agua
Toma de decisiones jerárquica y sectorial para la gestión del agua	Incorporar comités asesores inter y transdiciplinarios y plurisectoriales, que puedan incidir en mejores prácticas de gestión, con un marco normativo adecuado y respetando los derechos humanos con un enfoque integral
Hundimientos, desnivelación de drenajes, canales y redes de suministro, lo que provoca derrames y fugas	Generar un conocimiento a diversas escalas para entender la tendencia del hundimiento regional y el fracturamiento local, mediante monitoreo en campo y con tecnologías de teledetección (Auvinet et al, 2017).
Inundaciones	Autoridades del agua deben trabajar en colaboración con especialistas en monitoreo y mitigación de hundimientos y fracturas, priorizar zonas más afectadas y controlar extracciones en acuíferos para disminuir hundimiento regional
Derrames, fugas	Atender en conjunto con la población afectada, los problemas provocados por hundimientos y fracturas y promover observatorios ciudadanos de fugas y fracturas (Carreón-Freyre y Cerca-Martínez, 2022).
Falta de participación y responsabilidad ciudadana	Concientizar sobre la importancia de no arrojar materiales que azolven drenajes y canales, la recolección adecuada de basura y materiales de construcción fuera de las calles y alcantarillado (OIHFRA, 2024)
Vulnerabilidad construida ante la estacionalidad de lluvias y eventos meteorológicos extremos	Preparación de los sistemas de gestión del agua ante la estacionalidad de lluvias, adaptar medidas de mitigación en la población, ante la variabilidad del estado del tiempo
Derrames industriales y de residuos peligrosos en corrientes y cuerpos de agua	Vigilancia para prevenir y disminuir la contaminación de las aguas que dañe ecosistemas y a la población. Tratamiento de aguas residuales en zonas industriales y disminución de infiltración de contaminantes (Cacique, 2021; Orozco, 2021)

Nota aclaratoria. Este texto es un avance de investigación de una obra mayor próxima de publicación en la que la autora colabora con el historiador Fernando Aguayo.

Referencias bibliográficas y cartográficas

Adorno, J. (1865). Memoria. En: El Pájaro Verde, 27 de noviembre de 1865, México.

Aguayo, F., Ortega-Morel, J. y Bonilla-Galindo, I. (2015). La construcción de los ferrocarriles en México: una propuesta del ingeniero Santiago Méndez y Méndez. CONACULTA, Centro Nacional para la Preservación del Patrimonio Cultural Ferrocarrilero, México, pp. 206.

Archivo General de la Nación (AGN, 1849). Fomento, Desagüe del Valle de México. Vol. 17, exp. 11.

Archivo General de la Nación (AGN2, 1853). Fomento, Desagüe del Valle de México. Vol. 20, exp. 6

Archivo General de la Nación (AGN3, 1864). Fomento, Desagüe del Valle de México. Vol. 8, exp. 108.

Archivo General de la Nación (AGN4, 1864). Fomento, Desagüe del Valle de México. Vol. 10, exp. 150.

Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCM, 1821). Fondo Ayuntamiento, sección Desagüe. Vol. 741 exp. 72.

Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMa, 1846). Fondo Ayun-

tamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3878, exp. 379.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMb, 1848). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3879, exp. 390.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMc, 1848). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 742, exp. 83.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMd, 1849). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3878, exp. 405
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMe, 1849). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3879, exp. 401.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMf, 1849). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3879, exp. 403.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMg, 1851). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3880, exp. 429.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMh, 1851). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias, vol. 3880, exp. 430.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMi, 1851). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3880, exp. 432.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMj, 1856). Fondo Ayuntamiento, sección Desagüe. Vol. 742, exp. 88.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMk, 1863). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3880, exp. 468.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMl, 1863). Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3880, exp. 469.
Archivo Histórico de la Ciudad de México (AHCMm, 1864) Fondo Ayuntamiento, sección ríos y acequias. Vol. 3881, exp. 484.
Archivo Histórico del Ayuntamiento de la Ciudad de México (AHACM, 1865). Actas de cabildo. Vol. 188A, 3 de marzo de 1865.
Arquitectos de Ciudad (1859). Informe que presentan al Exmo, señor gobernador del Departamento del Valle de México, general Rómulo Días de la Vega, como resultado de las vistas de ojos que han practicado de orden de S. E., a los terrenos y canales situados al sureste de la capital en los meses de junio, julio y agosto del año de 1859. Imprenta de M. Murguía. México. 1 p.
Autor no conocido (1853). El Siglo xix, 4 de septiembre de 1853.
Autor no conocidob (1853). El Siglo xix, 8 de septiembre de 1853.
Autor no conocidoc (1855). Noticias, Diccionario histórico. México, pp. 57-58.
Autor no conocidod (1858). Plano general de la Ciudad de México, Año de 1858. Escala de 1000 varas castellanas, México, 924-OYB-725-A.
Autor no conocidoe (1863). La Sociedad, 13 de agosto de 1863.
Auvinet, G., Méndez, E. y Juárez, M. (2017). Evolución del hundimiento general de la CDMX. Parte F. En: El subsuelo de la ciudad de México. 3ª Ed. conmemorativa por el 60 aniversario del IIngen. Instituto de Ingeniería, UNAM. 305 pp.
Barbosa-Cruz. (2013). El mercado de San juan y la descentralización del abasto en la Ciudad de México. En: Salmerón, Alicia y Fernando Aguayo, Instantáneas de la Ciudad de México. Instituto Mora, Banamex, UAM, México, pp. 109-123.
Cacique-Morales, E. (2021). La contaminación del agua subterránea. Ciencias y Humanidades 1:17-19.
Carreón-Freyre, D. y Cerca-Martínez, M. (2022). Subsidencia y Fracturamiento del suelo en Iztapalapa: Un modelo de gestión Geológico-urbano. Dirección General de Obras y Desarrollo Urbano, Alcaldía Iztapalapa, México, pp.44. https://oihfra.org/wp-content/uploads/2022/11/Libro_Subsidencia_fracturamiento_VF.pdf
Castillo-Palma, N. (2012). Cuando la ciudad llegó a mi puerta. Una perspectiva histórica de los pueblos lacustres, la explosión demográfica y la crisis del agua en Iztapalapa. UAM. México, D.F. 260 pp.
Comisión del desagüe de la Capital y su Distrito (CDCyD, 1853). Informe que dan al señor gobernador Miguel M. Azcárate, los comisionados del desagüe de la capital y su Distrito. Establecimiento tipográfico de Andrés Boix, México. 2 pp.
Diario Oficial (DO, 1856). 16 de noviembre de 1856. México. 1 pp.
Díaz-Covarrubias, Iglesias, M., Almaraz, R., Santamaría, M. y Peña de la, J. (1863). Carta hidrográfica del Valle de México/Levantada de orden del Ministerio de Fomento. Escala 1:80000, MMOB COYB.PAR.M50.V7.0310, Formato JPEG.
Güemes y Horcasitas, F. (1864). Decreto, México, 17 de noviembre de 1747. En: Memoria, pp. 237.
Garay, F. (1888). El Valle de México. Apuntes históricos. Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, México, 93 pp.
Gayón-Córdova, M. (2013). 1848: una ciudad de grandes contrastes: 1. La vivienda en el censo de población levantado durante la ocupación militar norteamericana. INAH, México, pp. 339.
Gibson, C. (1984). Los aztecas bajo el dominio español, 1519-1810; trad. de Julieta Campos. Siglo veintiuno Editores, México, 531 pp.
Lombardo de Ruiz, S., Torre de la, G., Gayón-Córdova, M. y Morales-Martínez, D. (2009). Territorio y demarcación en los censos de población: Ciudad de México 1753, 1790, 1848 y 1882. INAH, México. 372 pp.
López-Mora, R. (2023) Del agua de riego al agua de desecho: un siglo de historia del río Hondo o de Los Remedios, Estado de México, 1870-1970. pp. 139-160. En: Sánchez y Alfaro Eds. Estudios históricos del agua, gestión, usos y actores. El Colegio de Michoacán, Universidad de Zacatecas, Instituto Mora, 286 pp.
Manero, V. (1853). Plano de México. Escala 1:31622, México, MMOB, COYB.DF.M43.V3.0121, Formato JPEG.
Observatorio Interactivo de Hundimiento y Fracturamiento (OIHFRA, 2024). Expansión del conocimiento. Agenda de ciudad. OIHFRA, IINgen, UNAM, 1 pp. https://oihfra.org/wp-content/uploads/2024/03/NUCLEO-6-INFOGRAFIA-scaled-1.jpg
Orozco-Uribe, L. (2021). Agua y manejo sustentable de socioecosistemas. Ciencias y Humanidades 1:20-22.
Orozco y Berra, M. (1973). Historia de la ciudad de México: desde su fundación hasta 1854. SEP, México, 188 pp.
Poumaréde, J. (1860). Nouveau moyen de prevenir les inondations de la ville et la vallee de Mexico, et de faire en partie disparaitre les causes d'insalubrite qu'elles presentent l'une et l'autre. Ed. Ignacio Cumplido, México, 167 pp.
Rosas, T. (1869). Carta hidrográfica de la parte sur del Valle de México formada con los datos de la antigua Comisión del Valle y los últimamente tomados por el ingeniero Tito Rosas. Escala: 1: 80000, MMOB COYB.PAR.M50.V7.0287, Formato JPEG.
Secretaría de Fomento, Colonización, Industria y Comercio, (SFCIC,

1857). Obras del desagüe del Valle, documento 3. En: Memoria de la Secretaría de Estado y del Despacho de Fomento, Colonización, Industria y Comercio de la República Mexicana / escrita por Manuel Siliceo. Imprenta de Vicente García Torres, México, pp. 105.
Torre de la, G. (2010). Las calles de agua de la ciudad de México en los siglos XVIII y XIX. Boletín de monumentos históricos 3ª Época 18:58-71
Zúñiga y Ontiveros, M. (2008). Calendario manual y guía de forasteros en México para el año de 1805. Instituto Mora, México, 1 pp.

11 El uso sostenible de la Presa del Llano y Presa Taxhimay en Villa del Carbón, Estado de México: Gestión para su subsistencia, opinión a partir del estudio de la calidad del agua.

Erika Toledo Trejo[1]

[1]Universidad Tecnológica Fidel Velázquez. División Ciencias de la Salud. erika.toledo@utfv.edu.mx, eritotr@gmail.com

Resumen

Desde hace años se ha resaltado la importancia del cuidado del agua y su conservación, siendo evidentes todas las situaciones que por falta de esta afectan al ser humano; desde ser el vital líquido para el hombre y sus procesos biológicos hasta el mantener el equilibrio térmico en el planeta, por señalar algunas. Afortunadamente con las iniciativas de gestión ambiental y uso sustentable de este recurso se han establecido y desarrollado estrategias para un adecuado uso en miras de la conservación del recurso hídrico. En este capítulo se aborda el actual uso que se le da a dos cuerpos de agua que se encuentran en el Estado de México, específicamente en el Municipio de Villa del Carbón: Presa del llano y Presa Taxhimay; generando una opinión basada en los hallazgos de tres estudios realizados en estos cuerpos de interés donde se caracterizó físico, químico y microbiológicamente el agua de estas dos presas; encontrándose contaminación importante; siendo necesario estrategias para la mejora en la gestión ambiental que incluyen la Educación ambiental para los comuneros que administran estos espacios y para los visitantes de los mismos.

Introducción

Villa del Carbón es un municipio que forma parte del Estado de México y es considerado como Pueblo Mágico; Según Barreto, J. (2018) la extensión territorial de dicho municipio es de 356.14 km2, el equivalente a 32.059 hectáreas que constituye el 1.42% de la superficie del Estado de México. El Congreso del Estado de México reconoce 13 comunidades indígenas: San Luis Anáhuac (Toriles), El Palomar, La Cruz y Carrizal, Loma Alta Taxhimay, Las Moras, Los Oratorios, Pueblo Nuevo, San Luis Taxhimay, San Salvador de la Laguna, Santa Catarina, El Arenal, Xhajay (Loma de Xhajay) y Potrero Largo (Villa del Potrero). En lo que corresponde a cantidad de habitantes INEGI para el 2020 reporta 51,498 habitantes. Villa del Carbón se localiza dentro de dos regiones hidrológicas, el 80% dentro de la región y en el oeste con la Región Lerma-Santiago; Con respecto a la hidrología en el municipio las corrientes de agua más importantes están constituidas por cuatro ríos: San Jerónimo, Las Ánimas, Los Sabios y El Oro, este último desemboca en la presa Taxhimay cuya agua es destinada al riego de tierras en el estado de Hidalgo. El municipio también cuenta con varios arroyos como son: Frutitas, Moras, Las Palomas, Los Arcos, México, Potrero Chico, Potrero de en Medio, Potrero Largo, Quelite, Rincón de la Rosa, Santa María, El Chinguirito, Verde y Xolle. Con respecto a cuerpos de almacenamiento pluviales están la laguna de Santa Catarina. El Chorro, Presa El Llano que se encuentra en la comunidad El Llano Zacapexco (Barreto, J. 2018).

En Villa del Carbón existen espacios donde la tenencia de la tierra es bajo bienes comunales. Las tierras comunales comprenden un territorio que puede pertenecer a una o varias comunidades y el control de la tierra se ejerce y está regido por la asamblea de comuneros, que es elegida por las autoridades tradicionales como pueden ser gobernadores, principales, tatamandones, consejos de ancianos (Cámara de Diputados, 2003). Este tipo de administración se aplica en las dos presas de interés, a continuación, se hablará de cada una abordando sus características, tipos de uso, problemáticas halladas y propuestas para un uso sustentable del recurso hídrico.

Presa del Llano

La Presa del Llano es un cuerpo de agua creado en 1982, se usó como sistema de riego para las tierras de los comuneros de aquella localidad en el año de 1984. Posteriormente el gobierno decidió convertirlo en un atractivo turístico y que fuera administrado por los comuneros, dicha administración

se mantiene actualmente. En la Presa se cuentan con actividades como senderismo, tirolesas, deportes al aire libre, paseos en lanchas de remos, kayaks, paseos a caballo, renta de cabañas y área para acampar(figura 1); en cuanto a alimentación los visitantes pueden llevar sus propios alimentos y cocinarlos en los asaderos de la zona o consumir lo que los comuneros preparan y venden (Gobierno del Estado de México, 2024).



Figura 1. Vista de la Presa del Llano en Villa del Carbón, Estado de México.

significativo señalar que los puntos hallados con alto contenido de fosforo fueron los cercanos a las zonas donde se realiza la producción de trucha en la presa. En cuanto lo que respecta a enterobacterias se identificó la presencia de estas en específico de la bacteria Escherichia coli considerando que es necesario determinar las fuentes específicas de contaminación bacteriana e implementar tratamientos adecuados para eliminar dichos contaminantes.



Figura 2. Zonas de muestreo en el estudio de 2016 (Razo, P. et al 2016).

Considerando la importancia de esta Presa y el interés por monitorear el estado de su agua en 2016 se realizó la caracterización fisicoquímica y microbiológica que permita conocer la información necesaria para establecer si está realizando un manejo sustentable adecuado o si es necesario generar alternativas y propuestas de mejora en el uso y manejo de este recurso hídrico. En dicho estudio se determinaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos, durante un periodo comprendido de julio de 2015 a mayo de 2016, estableciendo cuatro zonas de muestreo (figura 2); se obtuvieron resultados de temperatura, turbidez, pH, OD, dureza, acidez, alcalinidad, cloruros, sulfatos, también se identificaron microalgas y se determinó la presencia de enterobacterias. Una vez concluidos los muestreos se encontró que los valores fisicoquímicos del agua de esta presa es ligeramente alcalina, con altos niveles de oxigenación, temperatura acorde al periodo estacional, turbidez baja, dureza considerable por ser agua natural; dichas condiciones fisicoquímicos favorecen la presencia de varios taxas de algas, por ejemploo Asterionella, Ceratium y Anabaena entre otros géneros; es importante señalar que relacionando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se encuentra una relación entre la presencia de fosforo y la presencia d estas microalgas, siendo

Los autores después de esta investigación entramos en contacto con las personas encargadas de la administración de la Presa, explicándoles los hallazgos encontrados y la importancia de realizar tratamientos de limpieza para evitar mayor contaminación y otros impactos que pudieran repercutir en el manejo sustentable del lugar y además en caso extremo el que puedan representar una fuente de infecciones bacterianas, de tal manera que se logró accedieran a permitir aplicar un tratamiento de biorremediación mediante la fitorremediación.

Así entonces se realizó un segundo proyecto en el que se utilizó fitorremediación mediante Eichhornia crassipes y Cyperus papyrus. Para este procedimiento se diseñaron islas con un tamaño de 2m x 2m usando botellas de PET limpias, rafia de uso industrial, malla de fibra de vidrio, poliducto, silicón y plantas E. crassipes (lirio acuático) y C. papyru (juncos), figura 3. La evaluación de la fitorremediación se realizó en un periodo de tres meses considerando 3 zonas de muestreo brazo, centro y cortina. Se evaluó la presencia de enterobacterias como indicadores de contaminación microbiológica y en cuanto a parámetros fisicoquímicos se evaluó la temperatura, oxígeno disuelto, pH, dureza, sulfatos, nitratos y fosfatos.



Figura 3. Elaboración y colocación de islas para la Fitorremediación en Presa del Llano.

Los resultados obtenidos demostraron que aunque se implementaron las islas de fitorremediación se presentó contaminación bacteriana y altos valores de nitratos y fosfatos considerando que favorecieron el crecimiento de dichos microorganismos actuando como nutrientes (Razo, J. y Toledo, E. 2019).

Y entonces ¿qué sucedió? y ¿qué acciones de mejora son requeridas?, para poder dar respuesta es necesario señalar que la eficiencia de las islas de fitorremediación requieren de estar siempre en contacto con el agua para remediar y descontaminar, en la investigación el grupo de trabajo regreso al sitio periódicamente pero observó que las islas se encontraban en las orillas de la presa o incluso fuera del cuerpo de agua, no cumpliendo con el requerimiento, a lo que los Comuneros señalan que los visitantes de la Presa las sacan para que no estorben las actividades de remo y también notamos falta de comunicación entre los comuneros y visitantes; consideramos importante que en este lugar y lugares similares de usos ecoturísticos es de suma importancia realizar la divulgación de las necesidades y cuidados del lugar, además de implementar señalamientos entre otras acciones para los visitantes; en el caso de los Comuneros se sugiere ofrecer platicas donde se les explique a todos los participantes el funcionamiento a detalle de la fitorremediación, a fin de contar con su apoyo para mantener las islas en su lugar y que tengan claro que si no se implementan medidas de prevención, cuidado y restauración no se mantendrá sustentable la Presa del Llano, en general realizar Educación ambiental a la sociedad en general para conocer y realizar el uso adecuado de estos lugares para que sean sustentables.

Presa Taxhimay

Este cuerpo de agua forma parte del acuífero Tepeji del Río, se encuentra ubicada en la comunidad de San Luis Taxhimay, en Villa de Carbón en el estado de México (figura 4). Actualmente opera como una obra de almacenamiento y cuya agua sirve para riego en el Estado de Hidalgo (Barreto, J. 2018). La presa se abastece del Río San Luis de Las Presas, afluente del Río Tepeji y alimenta una zona de riego de 2,100 hectáreas localizada aguas abajo entre su cortina y el embalse de la Presa Requena (DOF, 2016). Este cuerpo de agua también es usado con fines ecoturísticos que incluyen pesca, paseo en lancha, etc. y es administrado bajo bienes comunales (CEPANAF, 2016).



Figura 4. Vista panorámica de la Presa Taxhimay.

Este cuerpo de agua es de interés por sus usos y también se realizó una investigación donde se caracterizó fisicoquímica y microbiológica publicándose los resultados en 2019 (Toledo, E. y Razo J.), se realizaron muestreos mensuales de septiembre del 2017 a julio del 2018 con el fin de verificar el comportamiento físico, químico y microbiológico del cuerpo de agua, considerando 10 puntos de muestreo (figura 5) en zonas de afluentes que nutren a la presa, como se muestra en la imagen 2; abarcando puntos del centro y orilla del cuerpo de agua.



Figura 5. Puntos de muestreo en Presa Taxhimay.

Los parámetros fisicoquímicos monitoreados fueron pH, OD, turbidez, conductividad eléctrica, temperatura, alcalinidad, acidez, cloruros, nitratos, fosfatos y sulfatos. Mientras que en los microbiológicos se determinó la presencia de enterobacterias y microalgas. Una vez concluidos los periodos de muestreo se encontraron en total solo 6 representantes de algas verdes Chorella, de algas verde-azules Microsystis, Anabaena y Coelosphaerium y de diatomeas se encontró a Asterionella y Ursolenia, la escases de algas en el agua indica que hay baja cantidad de nutrientes; y con respecto a la contaminación por enterobacterias fue evidente que nos encontramos con la presencia de ellas en todos los puntos y periodos de muestreo, dicha situación resulta preocupante ya que este cuerpo de agua es utilizado para riego y otras actividades acuáticas-recreativas de contacto directo con el humano. En cuanto a parámetros fisicoquímicos se encontró que se trataba de agua ligeramente alcalina en la mayoría de los periodos de muestreo, en conductividad eléctrica se observaron valores muy extremos, probablemente por la presencia y elevada concentración de iones (sales) y en nutrientes SO4, NO3 y PO4 fueron factores que favorecieron la presencia de microalgas en la presa Taxhimay, siendo los PO4 los más altos.

Entonces para este cuerpo de agua resultan importantes los cambios de conductividad, la presencia de bacterias y el uso de riego que tiene esta agua. Lo que inicialmente hace pensar es en preguntarnos si los usos ecoturísticos que se le están dando son adecuados, por ejemplo, en esta presa se dan tours en lanchas de motor cuyos derivados del petróleo que se usan para estos y pueden ser causantes de las alteraciones de conductividad e incluso la posible presencia de metales pesados. En cuanto a la contaminación bacteriana al estar presente enterobacterias se hace referencia a fuentes de contaminación por animales que incluso pudieran trasmitir especies con potencial patogénico.

Alternativas y propuestas de mejora.

Sin duda alguna para lograr la sustentabilidad que englobe el factor ambiente, sociedad y economía es necesario realizar una planeación adecuada y establecer correctamente el uso que se le dará a estas presas, ya que sin ello la calidad y los servicios que pueden ofrecer disminuirán rápidamente e incluso pueden comprometer su funcionamiento, tanto ambiental como de servicio en beneficio al humano.

Para el caso de Presa del Llano es importante revalorar la necesidad de producción de trucha en la presa e identificar las fuentes de contaminación bacteriana, dar seguimiento a la calidad del agua del lugar y realizar medidas de prevención y mitigación, además de realizar programas de educación ambiental a los Comuneros y a los visitantes de la presa.

Para el caso de Presa Taxhimay es de suma importancia considerar si son necesario los tours en lanchas de motor las cuales podrían estar afectando la calidad del agua, por lo cual se sugiere que las embarcaciones hagan recorridos más cortos y que implementen el uso de lanchas con remo, además de investigar e identificar las fuentes de contaminación microbiológica ya que esta agua es utilizada para el riego.

Sin duda alguna estos cuerpos de agua son muy importantes por los servicios ambientales y su producción económica para el municipio de Villa del Carbón, por lo cual es necesario hacer la gestión y manejo adecuado de estos espacios para seguir conservando dichos beneficios y su invaluable valor paisajístico.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo con lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Contaminación microbiológica y fisicoquímica por enterobacterias en Presa del Llano y Presa Taxhimay	Se requiere de una institución que realice monitoreo del agua. Identificación y eliminación de fuentes de contaminación. Tratamiento para eliminación del contaminante acorde al lugar.
Falta de educación ambiental para administradores y usuarios visitantes a ambas presas.	Se requiere del desarrollo e implementación de programas de educación ambiental para los visitantes de los cuerpos de agua.
Evaluación y reconsideración de los costos-beneficios de algunas actividades que se desarrollan en ambas presas.	Realizar estudios de costos -beneficios de las actividades que están causando contaminación y consecuente deterioro de los cuerpos de agua de interés para su posible eliminación o estrategia de mejora en su funcionamiento.

Referencias bibliográficas

Cámara de Diputados. (2003). Tenencia de la tierra. https://www.diputados.gob.mx/bibliot/publica/inveyana/polisoc/puebindi/4tenenci.htm Barreto, J. (2018). Villa del Carbón. Fondo Editorial estado de México. https://foem.edomex.gob.mx/libro/villa-del-carbon

CEPANAF. Gaceta del Gobierno (2006). https://cepanaf.edomex.gob.mx/sites/cepanaf.edomex.gob.mx/files/files/SA-54%20PRESA%20TAXHIMAY(DT).pdf

DOF 11/07/2016. (2016). Acuerdo por el que se da a conocer el resultado de los estudios técnicos de las aguas nacionales subterráneas del acuífero Tepeji del Río, clave 1316, Estado de Hidalgo, Región Hidrológico-Administrativa Aguas del Valle de México.

Gobierno del Estado de México (2024). Presa del Llano, parque ecoturístico, Villa del Carbón. https://experiencia.edomex.gob.mx/recursos_turisticos/mostrarDetalleRecursos/1790

INEGI (2024).Información de México para niños. https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/poblacion/

Razo, J; Toledo, E. (2019). Phytoremediation with Eichhornia crassipes and Cyperus papyrus in the Llano Dam in the Municipality of Villa del Carbón, State of Mexico. Journal-Urban-Rural and Regional Economy. 3-4: 17-20. DOI:10.35429/JURRE.2019.4.3.17.20

Razo, J; Toledo, E; Franco, A. (2016). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la presa del Llano ubicada en el municipio de Villa del Carbón Estado de México. Revista de Energía Química y Física. Vol.3 No.6, 7-14. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Energia_Quimica_y_Fisica/vol3num6/Revista_Energia_Quimica_Fisica_V3_N6_2.pdf

Toledo, E. y Razo, J. (2018). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la presa San Luis Taxhimay, Municipio de Villa del Carbón en el Estado de México. Revista de Innovación Sistemática. 2-6: 23-28. https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Innovacion_Sistematica/vol2num6/Revista_de_Innovacion_Sistem%C3%A1tica_V2_N6_4.pdf

12 Constelación normativa de la gestión del agua en la Megalópolis de México: síntesis y antítesis

Alma Leslie Moreno Salinas[1]

1 Facultad de Derecho, UNAM (303140629@derecho.unam.mx).

Resumen

Este texto presenta un análisis general del marco normativo vigente que rige la gestión del agua en la Megalópolis de México en los ámbitos de gobierno federal, estatal y municipal, exponiendo a manera de conclusión sus coincidencias con la tesis de la constelación normativa del agua plasmada en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, sus discrepancias como antítesis dentro del mismo sistema y síntesis que refiere al resultado del análisis, que representa una base y oportunidad para desarrollar un mejor modelo de gestión del agua que responda a los retos que implica el aumento desproporcionado de la huella urbana a partir del Derecho.

Introducción

El 15 de julio de 1996 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal, primer instrumento normativo en el que se definió de manera oficial a la Megalópolis como el área que comprende los municipios de las zonas metropolitanas de las capitales de los estados limítrofes al Valle de México, más la totalidad de los municipios que mantienen una relación funcional con la Ciudad de México (CDMX) y los que se ubican entre las zonas metropolitanas, incluyendo las delegaciones (DOF, 1996).

La mencionada Megalópolis inicialmente se encontraba compuesta por 173 municipios y 16 delegaciones de 5 zonas metropolitanas de 6 estados y actualmente por 539 municipios y 16 alcaldías de 11 zonas metropolitanas ubicadas en 7 estados (Figura 1): CDMX, Estado de México (Edomex), Hidalgo, Puebla, Querétaro y Tlaxcala; se trata de un paradigma territorial que en últimos años ha ido en constante expansión, el cual surgió en respuesta a los procesos de crecimiento poblacional y de urbanización acelerados en el centro de México y su consecuente necesidad de mayores recursos y servicios públicos para satisfacer las necesidades de sus habitantes, entre ellos la de agua potable

No obstante, pese a que la Megalópolis se constituyó como un paradigma especializado para consolidar un modelo urbano de crecimiento y desarrollo sustentable, factores como el crecimiento desproporcionado, al no ser planeado, no pudo considerar la distribución geográfica del agua en relación con la aglomeración de la población a asentarse en la zona, llegando a rebasar con la extracción del agua la disponibilidad natural de la cuenca de la Zona Metropolitana de la CDMX en un 173% (Ortega, 2017), configurándose una crisis hídrica expandible a toda la Megalópolis como resultado de un sistema de gestión urbana deficiente en el que no se ha logrado generar un equilibrio entre la disponibilidad, la demanda y la oferta de recursos hídricos.

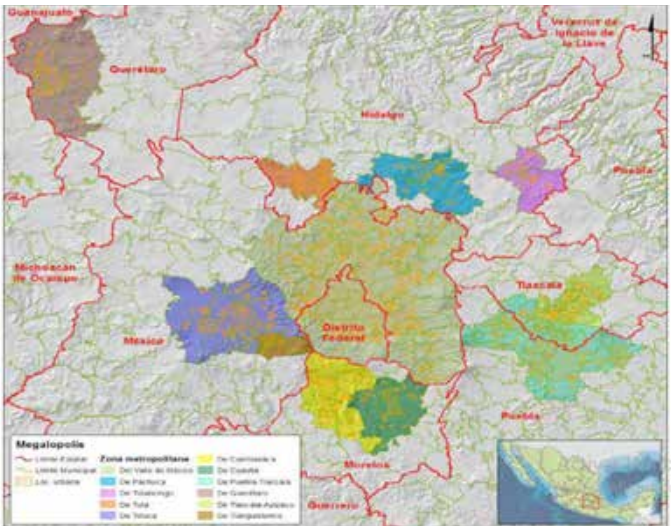


Figura 1 Imagen que muestra las Zonas Metropolitanas que componen la Megalópolis de México (UAEH, 2021).

Atender una crisis hídrica representa un gran reto que se torna más complejo cuando se encuentran implicados 7 estados soberanos, 539 municipios libres y 16 alcaldías autónomas que ejercen un campo propio de acción jurídica, traducido en la posibilidad de crear por sí mismos normas e instituciones en materia de agua potable en las que se ve reflejada la diversidad y pluriculturalidad nacional, es por ello que el objeto de la presente investigación es analizar de manera integral el marco normativo vigente que rige la gestión del agua en la Megaló-

polis en los ámbitos de gobierno federal, estatal y municipal a efecto de generar una base y oportunidad para desarrollar un mejor modelo de gestión del agua que responda a los retos que implica el aumento desproporcionado de la huella urbana a partir del Derecho.

Dicho análisis resulta relevante para generar las homologaciones jurídicas y administrativas necesarias que permitan dotar de armonía al sistema normativo del agua en la Megalópolis para que resulte eficaz y se logre la consecución del objeto y mandato constitucional de garantizar y proteger el derecho humano al agua bajo un enfoque sostenible y sustentable, partiendo de los principios de jerarquía y reserva de ley, como base de la ejecución de una adecuada articulación y trabajo coordinado sobre el territorio compartido, atendiendo un solo esquema de gestión hídrica integral que brinde seguridad hídrica para todos sus habitantes en el marco del federalismo.

Las leyes del agua en la Megalópolis

Los sistemas normativos proporcionan una base jurídica que tienen como función primaria guiar la conducta humana para la consecución de un fin, generalmente establecido en una norma suprema a partir de la cual se generan proposiciones de atributos (vigencia, aplicabilidad, facultades, competencia, etc.) y conductas (obligatorias, prohibidas o permitidas). En el caso de la gestión del agua, la construcción de la constelación normativa parte de los artículos 1 y 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM) como norma suprema, cuya tesis, es la obligación de todas las autoridades, en el ámbito de sus respectivas competencias, proteger, promover, respetar y garantizar el derecho humano al agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, de manera equitativa y sustentable, emanando, a través de sus artículos 27, 73, 115 y 122, las siguientes facultades de los actores del Estado en la consecución de dicho fin:

a. Del Ejecutivo Federal para otorgar concesiones para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales.
b. Del Congreso de la Unión para dictar leyes sobre aguas nacionales.
c. De los estados para legislar sobre las aguas estatales (las depositadas en dos o más predios particulares).
d. De los municipios para prestar los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado.
e. De la Federación, Ciudad de México, alcaldías, estados y municipios conurbados en la Zona Metropolitana, para establecer mecanismos de coordinación en materia de planeación y acciones regionales para la prestación del servicio público de agua potable.

Derivado del ejercicio de dichas facultades, el 1° de diciembre de 1992 se publicó en el DOF la Ley de Aguas Nacionales (LAN), reglamentaria del artículo 27 de la CPEUM en materia de aguas nacionales, de observancia general en todo el país, cuyo objeto es regular su explotación, uso y aprovechamiento, la cual ha sido adecuada y modificada en el transcurso del tiempo en concordancia con las reformas constitucionales.

Dado que a través del artículo 115 constitucional se otorga a los municipios la facultad de prestar el servicio público de agua potable, cada uno de los estados que conforman la Megalópolis cuenta con leyes en materia de agua que solo tienen efecto en su propio territorio (ver Tabla 1).

Tabla 1 Leyes del agua vigentes en las entidades federativas y municipios que forman parte de la Megalópolis de México.

Estado	Ley	Publicación/ Última reforma
Federación	Ley de Aguas Nacionales.	1-12-1992/ 8-05-2023
CDMX	Ley del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua de la Ciudad de México.	27-05-2003/ 14-04- 2023
EdoMéx	Ley del agua para el Estado de México y municipios.	22-02-2013/ 05-04-2024
Hidalgo	Ley estatal de agua y alcantarillado para el Estado de Hidalgo.	30-12-1999/ 17-09-2024

Morelos	Ley estatal de agua potable.	26-07-1995/ 15-02-2023
Puebla	Ley del agua para el Estado de Puebla.	31-12-2012/ 23-12-2023
Querétaro	Ley que regula la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento del Estado.	21-05-2022/ 09-04-2024
Tlaxcala	Ley de aguas del Estado de Tlaxcala.	22-12-2009/ 10-05-2021

Dichas disposiciones estatales son consideradas de orden público e interés social, de aplicación y observancia en sus municipios, cuyo contenido se avoca a regular la explotación, uso, aprovechamiento, administración, control y suministro de las aguas que tienen asignadas y las estatales, para la prestación del servicio de agua potable, incluyendo la organización de las autoridades estatales y municipales del agua, usos, usuarios y la participación de terceros en la prestación de los servicios.

De manera complementaria se ubica la Ley Federal de Derechos y las Leyes de ingresos estatales y municipales en las que se establecen las tarifas por concepto de pago de derechos de las aguas nacionales y de agua potable respectivamente.

Es de resaltar que, en el marco del federalismo mexicano, la Suprema Corte de Justicia de la Nación ha señalado que si bien no existe ninguna relación de jerarquía entre las legislaciones federal y locales, si existe un sistema de competencia que obedece al principio de reserva de ley (SCJN, 2010), que refiere a la necesidad de que el contenido de las leyes estatales resulte compatible con las disposiciones federales bajo un esquema de racionalidad legislativa jurídico-formal, alusivo a la sistematicidad de la norma, es decir, a su inclusión armónica en el sistema jurídico vigente, para que su aplicación resulte eficaz (Santiago, 2010).

En razón de lo anterior, es posible identificar que el contenido de las leyes locales ha sido modificado constantemente con el fin de homologarlo con los cambios de la CPEUM, la LAN y sus respectivas constituciones estatales, particularmente en materia de derechos humanos al agua y a un medio ambiente sano.

No obstante, como se demostrará más adelante, pese a que dichas leyes reconocen de manera explícita la necesidad de salvaguardar el derecho al acceso de agua para consumo humano, su contenido no mantiene coherencia con dicho fin, regulando prácticas que podrían resultar adversas a la conservación del agua en cantidad y calidad para garantizar este derecho.

La extracción de las aguas nacionales para abastecer la Megalópolis

Los estados que componen la Megalópolis se ubican dentro de la poligonal de 56 de los 653 acuíferos (DOF, 2023a) y de 70 de las 757 cuencas (DOF, 2023b) que componen las aguas subterráneas y superficiales de México, de los cuales 22 de los 56 acuíferos (39%) y 20 de las 70 cuencas (29%) se encuentran en estado deficitario y el resto con porca disponibilidad de agua. Aguas nacionales utilizadas para abastecer a la Megalópolis, cuya administración compete a la Comisión Nacional del Agua (Conagua), facultada para concesionarlas a los estados y municipios para la prestación de los servicios de agua potable bajo el uso público urbano, mediante la figura jurídica denominada título de asignación.

Si bien el artículo 44 de la LAN prevé la posibilidad de que los sistemas de agua potable sean administrados por paraestatales, paramunicipales o se concesionen a particulares por las autoridades locales, es explícito al señalar que en dichos casos las asignaciones subsistirán a favor de los municipios o estados y que los derechos no pueden ser objeto de transmisión a terceros.

En los estados que componen la Megalópolis existe un total de 7,657 títulos expedidos por la Conagua para extraer un volumen anual de 4,882 millones 388 mil 680 metros cúbicos (m^3) de aguas nacionales al año para uso público urbano (ver Tabla 2), siendo Puebla el estado que concentra el mayor número de títulos y el Estado de México el que concentra el mayor volumen concesionado con el 51%, sin que eso signifique que la totalidad de títulos o volumen esté concesionado a favor de su gobierno estatal, municipios o de sus habitantes.

Tabla 2 Títulos expedidos para explotar, usar o aprovechar aguas nacionales para uso público urbano por estado. (CONAGUA, 2024a)

Estado	Títulos de aguas nacionales	Volumen (m³/año)
CDMX	1	1,089,568,800
Edomex	1,698	2,484,361,219
Hidalgo	1,026	176,679,260
Morelos	556	284,079,788
Puebla	3,929	442,712,791
Querétaro	263	308,295,972
Tlaxcala	184	96,690,850
Total	7,657	4,882,388,680

Lo anterior, debido a que la expansión de la mancha urbana ha requerido de distintas fuentes de agua para cubrir las necesidades de su cada vez más amplia población en territorios específicos, como es el caso de la CDMX, en donde, a partir de los primeros hundimientos ocasionados por la sobreexplotación de sus aguas subterráneas, se tomó la decisión de traer agua de otras cuencas ubicadas fuera del Valle de México, a través del Sistema Cutzamala, Sistema Lerma y Presa Madín, importando su agua en aproximadamente 40% de otros estados (CONAGUA, 2006). Siendo las aguas nacionales la fuente primaria para abastecer a los habitantes de la Megalópolis a través de la prestación del servicio público de agua potable regulado por los Congresos locales y ayuntamiento s de cada uno de los estado y municipios que la integran.

La distorsión del sentido del uso público urbano

El artículo 3 de la LAN define a la asignación como el título otorgado por Conagua a municipios, estados y a la CDMX, para explotar, usar o aprovechar las aguas nacionales y prestar los servicios de agua con carácter público urbano o doméstico. Y a su vez, define al uso público urbano como la aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos, a través de la red municipal; uso catalogado junto al doméstico como preferente en relación con cualquier otro uso, preferencia considerada como principio que sustenta la política hídrica nacional. Y como ya se señaló, se prevé la posibilidad de que los sistemas de agua potable sean administrados por terceros dejando a salvo los derechos y asignaciones a favor de los municipios o estados.

Sin embargo, de manera incongruente, el contenido del artículo 82 del anacrónico Reglamento de la LAN, rebasa la primacía jerárquica de ley al facultar a la Conagua para otorgar títulos de concesión, no así de asignación, para uso público urbano directamente a entidades paraestatales, paramunicipales, ejidos, comunidades, colonos o usuarios que administren sistemas de agua potable y a empresas que administren fraccionamientos en caso de que el municipio no pueda prestar directamente el servicio o cuando medie acuerdo.

Dicho artículo ha dado lugar a una aplicación contraria al sentido reformador por el que se determinó priorizar el uso público urbano como mecanismo para proteger, promover y garantizar el derecho humano al agua, lo cual es posible visualizar con la existencia de concesiones expedidas para uso público urbano a favor de mineras, constructoras, prestadoras de servicios turísticos o empresas hoteleras como es el caso de Minera Tizapa, S. A. de C. V. filial de grupo Industrial Peñoles en el Estado de México, Cooperativa La Cruz Azul, S.C.L. en Hidalgo, Golf de San Juan S.A. de C.V. en Querétaro o Yautepec Country Club, S.A. de C.V. en Morelos, entre otras.

En ese sentido, si bien, del 2001 al 2022 el agua asignada para el uso público urbano creció a nivel nacional en un 74.5% (CONAGUA, 2023), dicha agua no fue asignada por completo a los estados y municipios, pues de los de 7,657 títulos expedidos por la Conagua para extraer un volumen anual de 4,882 millones 388 mil 680 m³ de aguas nacionales al año para uso público urbano en los estados integrantes de la Megalópolis, solo el 84% fueron títulos de asignación a nombre de los gobiernos estatales o municipales y el 16% títulos de concesión expedidos a favor de otras personas físicas y morales, que en conjunto poseen el 2,890,215,786 de m³ anuales, que equivale al 59% del volumen total destinado al uso público urbano (ver Tabla 3).

Tabla 3 Títulos de concesión y asignación expedidos para explotar, usar o aprovechar aguas nacionales para uso público urbano por estado. (CONAGUA, 2024a)

Estado	Asignaciones (estados y municipios)	Concesiones (paraestatales, paramunicipales y particulares)
CDMX	1	0
Edomex	988	748
Hidalgo	968	58
Morelos	392	164
Puebla	3,816	113
Querétaro	107	156
Tlaxcala	182	2
Total	6,454	1,241

Si bien las empresas paraestatales o paramunicipales forman parte de la estructura gubernamental, en términos de lo establecido por el artículo 44 de la LAN los títulos de concesión expedidos a su favor tendrían que ser de asignación expedidos a favor de los gobiernos estatales o municipales correspondientes.

Aunado a lo anterior, en las leyes locales del agua es posible identificar la categorización de usos en doméstico y no doméstico, replicando la definición de la LAN para el primero como la aplicación de agua potable para el uso particular de las personas y del hogar, riego de sus jardines y de árboles de ornato y dentro del segundo agrupando otro tipo de usos como el comercial, industrial, servicios, generación de energía, asistencia social e incluso un subtipo también denominado público urbano, lo que significa que las aguas nacionales asignadas a estados y municipios no son utilizadas exclusivamente para el uso particular de las personas y del hogar, por lo que priorizar el uso público urbano como mecanismo para proteger el derecho humano al agua no puede resultar eficaz si esta es distribuida para otros fines en detrimento de la cantidad suministrada a las personas.

El antagonismo entre el sentido del uso público urbano de la LAN y las leyes estatales se acentúa con la determinación local de priorizar al igual que el doméstico otros usos como el industrial, comercial, servicios o recreativo o dar mayor jerarquía al uso industrial sobre el de servicios públicos o de conservación ecológica, con excepción de Morelos, Querétaro, Tlaxcala y Estado de México, en donde al igual que la LAN se especifica la preferencia del uso doméstico sobre cualquier otro uso, sin embargo en los dos últimos se consideran prioritarios a los usos industrial y comercial (ver Tabla 4).

Tabla 4 Prioridad y prelación de usos del agua en las leyes del agua de la Megalópolis de México.

Ley/Artículo	Prelación y priorización de usos
Ley de Aguas Nacionales.	Prelación para la concesión y asignación de aguas nacionales: 1. Doméstico; 2. Público urbano; 3. Pecuario; 4. Agrícola; 5. Acuacultura.
Ley del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua de la CDMX. (Art. 52)	Usos prioritarios para el servicio de agua potable: Doméstico y hospitalarios; industrial y comercial; servicios público urbanos; recreativos.
Ley del agua para el Estado de México y municipios. (Art. 11 y 70)	Usos prioritarios para el servicio de agua potable: Doméstico y público urbano; servicios; industrial; agrícola y pecuario: acuacultura; recreativo; conservación ecológica y ambiental.
Ley estatal de agua y alcantarillado para Hidalgo. (Art. 22)	Prelación de usos de agua potable: 1. Doméstico; 2. Comercial; 3. Agricultura; 4. Industrial; 5. Acuacultura.
Ley estatal de agua potable de Morelos. (Art. 7)	En la prestación de servicio de agua potable, el uso doméstico siempre será preferente sobre los otros usos (comercial e industrial).
Ley del agua para el Estado de Puebla. (Art. 100)	En caso de escasez comprobada, desastres naturales o caso fortuito o fuerza mayor se considera prioritario el uso doméstico y para hospitales sobre cualquier otro.
Ley que regula la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento de Querétaro. (Art. 51)	La prestación de los servicios de agua potable estará sujeta a la prelación de usos: 1. Doméstico; 2. Público urbano; 3. Comercial; 4. Industrial; 5. Público Oficial.

Ley de aguas del Estado de Tlaxcala. (Art. 87 y 88)	Usos prioritarios para el servicio de agua potable: Doméstico, comercial, industrial, agrícola, servicios públicos, recreativo y hospitales.

El suministro de agua potable en la Megalópolis

El agua potable es aquella que resulta segura y apta para uso y consumo humano sin provocar efectos nocivos a la salud y en México es en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021 en la que se establecen los limites permisibles de calidad y tratamientos a los que debe someterse el agua para su potabilización, los cuales deben cumplir obligatoriamente los sistemas de abastecimiento público y privado que la distribuyan.

En México se estima que, de sus 128,889,708 habitantes, 99.7% cuenta con acceso al agua potable entubada, pero únicamente el 60.3% (77,755,291 habitantes) cuenta con un suministro diario. Entre los integrantes de la Megalópolis, los estados con menor porcentaje de población con acceso al agua potable entubada son Puebla (92.7%), Hidalgo (94%), Morelos (94.1%), Estado de México (95.6%) y Querétaro (96.6%) (INEGI, 2022), por lo que los habitantes tienen que buscar otras fuentes de abasto de agua potable públicas o privadas como pipas, garrafones, hidratantes u otros sistemas de purificación de agua.

El Sistema de Aguas de la CDMX, es el órgano encargado de prestar de manera directa e integral el servicio público de abasto y distribución de agua potable en toda la entidad. Por su parte, si bien los otros estados de la Megalópolis cuentan con comisiones estatales de agua, en sus leyes consideran como prestadores de servicios de agua potable a terceros que incluye a los municipios de manera directa; organismos operadores municipales o intermunicipales; personas morales; y grupos organizados de usuarios, entre otros.

Asimismo, pese a que en la LAN se especifica que el agua asignada por la Conagua a los gobiernos para el uso público urbano debe de ser suministrada mediante la red municipal por parte de los sistemas estatales o municipales de agua potable y alcantarillado, ya sea por si mismos o por terceros, no se considera que el agua pueda ser destinada para su venta mediante carros cisterna o pipas, pues la misma Conagua concesiona las aguas nacionales para su suministro mediante pipas con un costo mayor al uso público urbano bajo el uso denominado “servicios”; no obstante, todas las leyes estatales de la Megalópolis prevén la posibilidad de sub concesionar sus aguas asignadas a piperos para su comercialización a un menor costo que el de la propia Conagua ($29.36 pesos por m³) (ver Tabla 5).

Tabla 5 Tarifas 2024 en pesos mexicanos por metro cúbico de agua de los Gobiernos para venta por particulares mediante pipas y de piperos para venta a la población en la Megalópolis.

Estado	Precio por m³ de agua para pipas	Precio promedio por m³ de agua vendida por piperos
Aguas nacionales	$2.51 a $29.36	$118.03
CDMX	$75.82 a $138.09	$180.22
Edomex	$19.91	$96.28
Hidalgo	$29.40	$150.00
Morelos (Cuernavaca)	$54.28	$120.00
Puebla	$9.77	$140.00
Querétaro	$19.54	$95.40
Tlaxcala	$65.14 a $67.42	$100.00

En 2023 se estimó un precio promedio nacional de $1,180.30 pesos por una pipa particular de agua potable con capacidad de 10 m³ (PROFECO, 2023), lo que vuelve a la venta del agua potable un negocio rentable que lucra con la necesidad básica de agua de la población, siendo Puebla el estado de la Megápolis que tiene la tarifa más baja por m³ para su venta a piperos ($9.77), quienes a su vez venden el agua potable a la población en un precio promedio de $140 pesos por m³, esto es 14.3 veces más de lo que los piperos pagan al gobierno.

Dicha situación resulta incongruente en un contexto de escasez de recursos hídricos que orilla a los habitantes a tener que pagar sobre costos a través de la compra de agua potable, a un mayor precio que el que pagan por el servicio público, a piperos privados que también compran agua al mismo sistema que extrae el agua asignada por la Conagua,

la cual tendría que estar destinada para abastecer los hogares para cubrir sus necesidades. En ese sentido, en la legislación estatal de Querétaro es en la única de la Megalópolis que se identificó que la venta de agua potable por metro cúbico se restringe a pipas en los lugares en donde no se cuenta con infraestructura hidráulica y de acuerdo con la disponibilidad del recurso.

El sistema tarifario del agua en la Megalópolis

Según lo señalado en la Norma Mexicana NMX -AA -147-SCFI-2008, regulación orientativa de cumplimiento voluntario, las tarifas de agua potable tienen como objeto recuperar los costos de la prestación del servicio y garantizar el mantenimiento y mejora de la infraestructura y de la prestación de servicios, debiendo considerar cuestiones geográficas, características del agua nativa, gastos de operación, etc., siendo un mecanismo para garantizar el acceso al agua y de protección del recurso, en el sentido de que una tarifa adecuada incita a reducir su contaminación y su utilización de manera racional (SE, 2008).

No obstante, al no resultar obligatoria, dicha norma no es aplicada en la Megalópolis y las tarifas son fijadas en razón de lo que establece la legislación de cada estado, siendo en algunos casos propuestas y aprobadas por el Congreso local y en otros propuestas y/o aprobadas por la comisión, organismo operador o el ayuntamiento, dando como resultado estructuras tarifarias diversas no homologadas entre los estados, e incluso entre los municipios de un mismo estado, con diferencias en temporalidad de pago y medición (mensual, bimestral y trimestral), clasificación de usuarios (estrato social, uso o giro comercial), subsidios (características de vivienda, zonal o grupo vulnerable) y reducción o aumento de costo según la cantidad de agua consumida (a mayor consumo menor costo o mayor consumo mayor costo).

Lo anterior, aunado a la disparidad en la densidad poblacional genera un alto contraste en lo recaudado por suministro de agua potable, pues mientras que en 2023 la CDMX recaudó 8,551 millones de pesos (mdp), en Tlaxcala únicamente se obtuvieron 272 mdp, que representa el 3% de lo recaudado por la CDMX, el 1% de lo recaudado por los estados de la Megalópolis (23,802 mdp) y el 0.3% del total nacional recaudado por dicho servicio (Figura 2). En ese sentido, los integrantes de la Megalópolis lograron recaudar en conjunto para 2023 un total de 23,802 mdp que equivale al 26% del monto total nacional de 90,298 mdp (SHCP, 2023).

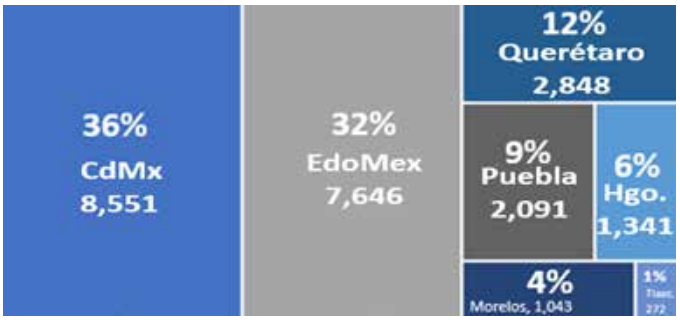


Figura 2 Imagen que muestra el monto recaudado por concepto de agua potable por cada integrante de la Megalópolis y porcentaje respecto al total de los 7 estados (SHCP, 2023).

Por su parte, las tarifas de la Conagua por m^3 de aguas nacionales se actualizan cada año en la Ley Federal de Derechos y para 2024 se establecieron entre los $0.07 y $0.67 pesos para uso público urbano y entre los $2.51 y $29.36 pesos para industrial, según cuatro zonas de disponibilidad, que para la Megalópolis, cuyo territorio se ubica mayormente en las zonas 1 y 2, corresponde una tarifa de los $0.31 y $0.67 pesos para el uso público urbano y de $10.03 a $29.36 para el industrial.

Tarifas de la Conagua que resultan inferiores a las fijadas por los estados para su uso público urbano y doméstico pero que resultan en algunos casos más elevadas que las fijadas por los estado por m^3 de agua potable destinada al uso industrial, como es el caso de la CDMX, Estado de México, Morelos e Hidalgo (ver Tabla 6), resultando más económico para las industrias utilizar el agua potable suministrada por los gobiernos locales para sus procesos que las aguas nacionales sin potabilización ofertadas por la Conagua.

Tabla 6 Tarifas mínimas y máximas 2024 cúbico en pesos mexicanos por metro cúbico de agua para los usos público urbano/doméstico e industrial en la Megalópolis.

Estado	Uso público urbano/doméstico	Uso industrial
Aguas nacionales (Zonas 1 y 2)	$0.31 a $0.67	$10.03 a $29.36
CDMX	$0.62 a $6.38	$0.62 a $7.75
Edomex (CAEM/Coacalco)	$12.79 a $15.33	
	$0.99 a $661.53	$3.11 a $1,371.56
Hidalgo	$7.12 a $93.37	$1.77 a $936.10
Morelos (Cuernavaca)	$5.75 a $16.71	$14.80 a $44.62
Puebla (Puebla)	$7.22 a $32.14	$24.42 a $57.24
Querétaro	$9.77 a $79.98	$46.93 a $122.26
Tlaxcala (Tlaxcala)	$2.71 a $14.33	$65.14 a $156.34

En la CDMX es a través de su Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) que se cobran las tarifas fijadas en el Código Fiscal local, que considera 9 intervalos de límite de consumo que va de 0 a más de 120,000 litros bimestrales, que corresponden a igual número de tarifas divididas a su vez en uso doméstico, con un rango que va de $0.62 a $6.38 pesos por m³ y de $.62 a $7.75 pesos por m³ para uso no doméstico, que incluye el uso industrial, a las que se les otorgan subsidios que las pueden reducir a las primeras hasta en un 91.30% y a las segundas en 26.47%. Los subsidios para uso doméstico se otorgan según la zona en la que se ubica el inmueble y los de uso in industrial según el consumo, en donde el menor subsidio es para quienes consumen menos agua (0 a 10,000 litros) y el mayor para el consumo entre 20,000 y 30,000 litros bimestrales.

Dada la escasez de agua, el Gobierno de la CDMX ha reconocido al "tandeo" como una práctica común para el suministro de agua potable, que consiste en un sistema de distribución intermitente y rotativo en horarios específicos, otorgando una cuota fija para el uso doméstico de $3,603.02 pesos bimestrales en las zonas que cuenten con dictamen técnico emitido por el SACMEX y aparezcan en la lista anual publicada en la Gaceta Oficial, la cual también cuenta con un subsidio zonal que va del 79.3% en la zonas altas al 97% en las populares, eximiéndolos de la instalación de medidor. Asimismo, se prevé que quienes no cuenten con medidor, paguen una cuota fija de $3,603.02 para uso doméstico, aplicando el subsidio zonal correspondiente, que se traduce en un pago bimestral de $108.09 pesos en una zona baja y de $745.82 en una alta y para el uso industrial una cuota fija de según el diámetro de la toma, que va de $2,616.80 para una toma de 13 milímetros (mm) a $6,909,432.34 para una mayor a 300 mm.

En Querétaro su Comisión Estatal de Aguas es el organismo encargado de determinar y cobrar las tarifas de agua, de conformidad con los convenios celebrados con los municipios, contando con una tarifa doméstica diferenciada que parte de una base de $55.43 pesos para el consumo a partir de 1 m³, que va aumentando el costo por m³ adicional con un mínimo de $9.77 y máximo de $79.98 pesos por m³, según la zona en la que se ubique la toma (apoyo social, económica, media y alta) y el consumo, pagando una tarifa extra mínima de $55.96 y máxima de $80.12 por m³ cuando el consumo rebasa los 200 m³. En el caso del uso industrial la base es de $396.94 a partir de 1 m³ y aumenta por m³ adicional con un mínimo de $46.93 y máximo de $122.26 pesos, pagando una tarifa extra de $117.83 por m³ cuando el consumo rebasa los 200 m³.

Asimismo, Hidalgo cuenta con una Comisión Estatal del Agua, no obstante, su función es coordinadora y de coadyuvancia para la descentralización de los servicios de agua potable en la entidad, siendo la Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales el organismo que presta el servicio de agua potable a 15 municipios, incluyendo los de su zona metropolitana, cuyas tarifas se asignan por intervalos de consumo, con una tarifa base de $97.41 pesos (0 a 8 m³) que va aumentando de manera acumulativa con un costo adicional según intervalos de consumos con un mínimo de $21.36 (9 a 12 m³), que equivale a $7.12 por m³, hasta llegar a un máximo de 251 m³, en donde el precio por m³ es de $93.37 pesos.
Para el uso industrial se parte de una tarifa base de $936.10 pesos (0 a 20 m³) y una tarifa adicional mínima de $51.54 para un consumo entre los 21 y 50 m³, que equivale a $1.77 por m³ y máxima de

$67.47 cuando se exceden los 101 m³. Bajo este sistema tarifario, 50 m³ de agua potable para uso industrial tienen un costo de $987.64 mientras que, por la misma cantidad de aguas nacionales, sin atravesar el proceso de potabilización que conlleva un costo extra se estarían pagando $1,468 pesos.
En el Estado de México, a través de su Comisión del Agua estatal se suministra el agua potable en bloque a los prestadores de servicios públicos, que a su vez distribuyen y/o comercializan el agua a distintos tipos de usuarios; cuenta con un sistema tarifario general en el que se categoriza a los municipios en 6 grupos, sin distinción entre usos, que va de $12.79 a $15.33 pesos.

A su vez, cada municipio cuenta con diferentes tipos de tarifas por el suministro de agua potable, que se someten a consideración del Congreso local. Para 2024 se aprobó para el Organismo Público Descentralizado para la Prestación de los Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del municipio de Coacalco, una tarifa mínima de $0.99 y máxima de $661.53 pesos por m³ para el uso doméstico y mínima de $3.11 y máximo $1371.56 pesos para uso industrial, reduciendo el costo para los usuarios que pagan de manera mensual y aumentada para el pago bimestral.

En dicho municipio, se prevé la posibilidad de que los usuarios no cuenten con medidor otorgando una cuota fija mensual o bimestral para el uso doméstico según la zona en la que se ubique el inmueble que puede ser social progresiva ($228.58 mensuales o $457.17 bimestrales), interés social popular ($262.28 mensuales o $524.56 bimestrales) y media ($317.81 mensuales o $635.63 bimestrales) y para los usuarios industriales sin medidor la tarifa se encuentra establecida en razón del diámetro de la toma, que va de un mínimo de $1,819.37 mensuales para una toma de 13 mm a un máximo de $388,440.87 bimestrales para tomas mayores a los75 mm.

Bajo una tendencia más descentralizadora, se ubican Puebla, Tlaxcala y Morelos, en donde las Comisiones estatales de agua fungen mayormente como apoyo y asesoría de los municipios y sistemas operadores de agua y saneamiento, en quienes recae de manera directa la administración y operación del servicio agua potable.

En Puebla, es el Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla el encargado de abastecer a su zona metropolitana y cuenta con un sistema tarifario determinado por el rango de consumo y una división de seis estratos con una tarifa mínima de $7.22 y máxima de $32.14 pesos por m³ para el uso doméstico y de $24.42 a $57.24 pesos para uso industrial, con un costo adicional en caso de que el consumo mensual doméstico sea superior a 50 m³ y de 200 m³ para el uso industrial calculado conforme a una fórmula establecida. Asimismo, se considera una cuota fija para los usuarios sin medidor, que para el uso doméstico varía de acuerdo al estrato que le corresponda, mínima de $161.62 y máxima de $1,456.45 mensuales y para el uso industrial existe una tarifa única de $8,450.46 al mes, lo cual resultaría más económico pagar dicha cantidad por 200 m³, que para el consumo medido equivaldría a pagar $11,448 pesos.

En Tlaxcala los organismos operadores son los encargados de elaborar el proyecto de tarifas, sometido a consideración del Ayuntamiento para su aprobación, poniendo de conocimiento al Congreso local para su publicación y según lo establecido en el artículo 124 de su ley de aguas se encuentra prohibido el otorgamiento de exenciones o subsidios para el pago del servicio.

En la capital de Tlaxcala, es la Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio la responsable de operar y administrar el servicio de agua potable, con un sistema tarifario para uso doméstico clasificado en seis tipos de vivienda según los m² de construcción, partiendo de una tarifa base de $235.59 pesos (0 a 15 m³) que va aumentando por intervalos de consumo, con un precio mínimo de $2.71 por m³ al consumir de 75 a 150 m³ y máxima de $14.33 cuando su consumo es de 16 a 30 m³, cobrando por exceder los 151 m³ de $3.25 a $5.10 pesos por m³, lo que significa que a mayor consumo menor costo. Para el uso industrial la tarifa base de $522.22 pesos, similar a la tarifa base domestica tipo residencial ($472.27), para un consumo de 0 a 15 m³, que va aumentando por consumo, con un mínimo de $65.14 y máximo de $156.34 después de los 641 m³. Asimismo, existen tarifas fijas para usuarios sin medidor que va de los $325.71 a los $759.99 pesos para uso doméstico y de $1,954.26 pesos bimestrales industrial.

Finalmente, el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Cuernavaca es el encargado de prestar el servicio en la capital de Morelos y cuenta con sistema de tarifas basado en rangos de consumo y tipos de usuario. Para los usuarios domésticos la tarifa mínima es de $5.75 por m³ (0 a 50 m³) y máxima de $20.62 por m³ para los consumos que superan los 300 m³ y para el uso industrial la tarifa mínima es de $14.98 por m³ (0 a 50 m³) y máxima de $44.62 por m³ para los consumos que superan los 300 m³. Para los usuarios sin medidor la tarifa bimestral fija es de $120.51 para uso doméstico y de $4,101.55 pesos para uso industrial.

Control y vigilancia del agua

La LAN otorga a la Conagua la facultad para controlar y vigilar el uso, aprovechamiento y explotación de las aguas nacionales, incluyendo el control de su contaminación, funciones que realiza a través de su medición y la verificación e inspección del cumplimiento normativo de las normas de su competencia. Estableciendo para ello como obligación de los usuarios de aguas nacionales instalar dentro de los 45 días siguientes a la recepción de su título, los medidores o dispositivos que permitan la medición directa o indirecta de la cantidad y calidad del agua, instalación considerada incluso de utilidad pública por su impacto en la medición del ciclo hidrológico.

A diferencia de la LAN, que establece la obligatoriedad de medición, con la posibilidad de medir de manera indirecta o presuntiva para casos excepcionales, las leyes estatales del agua dan un mayor margen para que usuarios de todo tipo no realicen la medición de la cantidad de agua potable que consumen ni de las aguas residuales que generan, otorgando cuotas fijas que pueden resultar más bajas que lo que se tendría que pagar por altos niveles de consumo, situación que resulta en la generación de descontrol, desconocimiento y pérdidas recaudatorias indefinidas, considerando que lo que no se mide no existe y no puede ser evaluado.

En tanto, respecto a la vigilancia del cumplimiento normativo, esta va encaminada a la conservación, preservación, protección y restauración del agua en cantidad y calidad, consideradas por la LAN asunto de seguridad nacional y principio que sustenta la política hídrica nacional. Señalando la competencia de las autoridades locales para vigilar y comprobar el cumplimiento de la NOM-002-ECOL-1996 obligatoria, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, que a su vez repercute en la calidad del agua descargada por los asignatarios de aguas nacionales en los bienes propiedad de la nación y competencia de la Conagua.

En ese sentido, en los estados que integran la Megalópolis, la Conagua cuenta con 31 inspectores para vigilar el cumplimiento normativo de las 7,657 concesiones para uso público urbano otorgadas en estas entidades, por lo que sin considerar la existencia de las concesiones para los otros usos y los permisos de descarga, a cada inspector federal le correspondería verificar 247 títulos al año, lo que resulta materialmente imposible, por lo que cobra relevancia la necesidad de mantener un mayor control mediante la micro y macro medición o en su caso declarada mediante formas fiscales, que permitan realizar como mínimo una revisión de gabinete para verificar el cumplimiento normativo (CONAGUA, 2024c).

En la CDMX, corresponde al SACMEX realizar los actos de verificación, inspección y vigilancia en relación a sus usuarios o concesionarios; no obstante, en el resto de los estados, dado el nivel de descentralización las facultades de verificación de los usuarios, concesionarios, permisionarios y terceros relacionados al servicio de agua potable, se encuentran dispersas según la materia, objeto y alcance que pueda tener cada acto de inspección, las cuales incluso pueden requerir verificaciones coordinadas, propiciando un descontrol y falta de coordinación entre autoridades de los ámbitos de gobierno, pero también entre las instituciones respecto al ejercicio de facultades y competencia que se suman al reducido número de inspectores.

Finalmente, el principio jurídico medioambiental “quien contamina paga”, previsto en la LAN e incluso en la CPEUM, que refiere a la responsabilidad y obligación de la personas físicas y morales que contaminan los recursos hídricos de restaurar su calidad, no ha sido aplicado de manera adecuada mediante acciones de reparación, restauración o remediación ambiental, limitando su aplicación en los tres ámbitos de gobierno al cobro por rebasar los límites contaminantes permitidos sin que necesariamente lo recaudado se destine al saneamiento del agua contaminada.

Conclusiones

La constelación normativa de la gestión del agua en la Megalópolis de México se encuentra integrada por la CPEUM, la LAN, la Ley Federal de Derechos y las leyes locales del agua y de ingresos, la cual tiene como tesis la obligación de todas las autoridades de proteger, promover, respetar y garantizar el derecho humano al agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, de manera equitativa y sustentable.

Del análisis presentado, es posible identificar como sinergia el reconocimiento de la tesis como eje del sistema normativo por parte de todas las leyes a través la integración de preceptos normativos que priorizan el uso doméstico del agua y establecen la necesidad de contar con una gestión sostenible de los recursos hídricos como medios para garantizar el derecho humano al agua.

En el marco de la complejidad y multiplicidad de preceptos normativos dentro de esta constelación compuesta de marco normativo procedente de una Federación, 7 estados y 555 municipios, se identificaron divergencias susceptibles de modificar, que representan una antítesis con el objeto del sistema y se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Divergencias entre la LAN y su Reglamento referidas a la restricción legal contravenida por el artículo 82 del Reglamento, que rebasa la primacía jerárquica de la LAN, de otorgar títulos de concesión, no así de asignación, para uso público urbano a particulares, que ha generado que el 41% del volumen concesionado para uso público urbano en los estados que integran la Megalópolis está a nombre de los estados y municipales y el 59% de otros usuarios.
2. Divergencias entre la LAN y las leyes estatales que versan sobre la distorsión del sentido del uso público urbano, que pese a que en la LAN refiere a la aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos a través de la red municipal, uso catalogado como preferente en relación con cualquier otro uso; en las leyes estatales se permite sub concesionar el agua asignada para otros usos como el industrial o comercial que incluye su venta a piperos en detrimento de la cantidad del suministro doméstico, por lo que determinar mediante ley la priorización del uso público urbano como mecanismo para proteger, promover y garantizar el derecho humano al agua no resulta eficaz si esa agua es utilizada para otros fines. Antagonismo que se acentúa con la determinación local de priorizar el uso industrial o dar mayor jerarquía al dicho uso sobre el de servicios públicos o de conservación ecológica.
3. Divergencias entre las leyes estatales y la CPEUM a través de preceptos adversos a la obligación constitucional de promover, proteger, respetar y garantizar los derechos humanos al agua y a un medio ambiente sano, como la posibilidad de suspensión del suministro doméstico, la priorización del uso industrial, el impulso de sistemas tarifarios insostenibles o permitir a los usuarios que no midan la cantidad de agua potable que consumen ni de las aguas residuales que descargan, otorgando cuotas fijas que pueden resultar más bajas que lo que tendrían que pagar por altos niveles de consumo.
4. Divergencias entre la LAN, las leyes estatales y la CPEUM al distorsionar el principio “quien contamina paga”, que refiere a la responsabilidad y obligación de las personas que contaminan los recursos hídricos de restaurar su calidad, el cual no es aplicado de manera adecuada, limitando su aplicación en los tres ámbitos de gobierno al cobro por rebasar los límites contaminantes permitidos sin que necesariamente lo recaudado se destine al saneamiento del agua.

En síntesis, es innegable la existencia de una constelación normativa que rige y dirige la gestión del agua en la Megalópolis, integrada en principio por la CPEUM, la LAN, la Ley Federal de Derechos y las leyes locales del agua y de ingresos, que representa la base de un sistema de gestión en crecimiento, cuyo objeto es claro, pero su cumplimiento ha resultado ineficaz debido la falta de coherencia y armonía entre sus componentes.

De 1996 al 2024 los integrantes de la Megalópolis se han multiplicado a más del doble, producto de un sistema policéntrico de metrópolis fuertemente articuladas, previendo se siga expandiendo con la incorporación funcional de nuevas localidades, lo que representa un reto de grandes dimensiones que requiere transitar del deficiente e insustentable modelo actual de gestión hídrica individualista y di-

vergente a una política hídrica conjunta y coordinada que contenga un modelo de gestión integral regional, con reglas vinculantes comunes, basado en el estado de derecho, que quede plasmado un sistema jurídico armonizado, coherente y acorde con la consecución del objeto último de garantizar el derecho humano al agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible, de manera equitativa y sustentable en la Megalópolis.

Problemáticas y oportunidades

Las antítesis normativas identificadas además de generar divergencias literarias y prácticas con la tesis, presuponen áreas estratégicas de oportunidad, para la construcción de una gestión del agua más integral, sostenible y sustentable (ver Tabla 7).

Tabla 7 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Existe una gestión del agua deficiente e insustentable de manera genérica en los estados y municipios que integran la Megalópolis respecto a la gestión del agua.	Se requiere una política hídrica regional que contenga un modelo de gestión integral y sustentable del agua, con reglas vinculantes, coherente con las características de la Megalópolis.
Existe una desvinculación entre los estados y municipios que integran la Megalópolis respecto a la gestión conjunta del agua en la región.	Se requiere de una Comisión Megapolitana del Agua que genere y aplique una política hídrica regional integral que garantice un abasto permanente y sustentable de agua para todos sus habitantes.
Los acuíferos y cuencas de la región se encuentran con baja disponibilidad o déficit de agua y la expansión de la mancha urbana ha requerido importar agua de otros estados fuera de la Megalópolis.	Se requiere normar la inclusión de fuentes de abastecimiento complementarias no convencionales de agua a partir de agua nueva (pluvial, de deshielo o de neblina) y residual (aguas grises).
Existen preceptos en las leyes estatales del agua adversos a la obligación constitucional en materia de derechos humanos al agua y un medio ambiente sano.	Se requiere derogar los preceptos que prevén la suspensión del suministro doméstico, la priorización del uso industrial y que dan mayor jerarquía a dicho uso.
Del total de volumen concesionado por Conagua para uso público urbano en los estados que integran la Megalópolis, únicamente 41% está a nombre de los gobiernos estatales o municipales.	Se requiere tomar las medidas administrativas, jurídicas y judiciales necesarias para reasignar la totalidad del volumen a los gobiernos estatales y municipales bajo el principio de supremacía de ley.
En las leyes estatales del agua se replica la definición de la LAN del uso doméstico, permitiendo utilizar agua potable para el riego de jardines y árboles.	Se requiere la reforma de las leyes estatales a efecto de suprimir la posibilidad de utilizar el agua potable para el riego.
En las leyes estatales se prevé la venta de agua potable a piperos para su comercialización, creando un mercado de agua en detrimento de la cantidad de suministro doméstico.	Se requiere una regulación homologada para el abasto de agua potable mediante pipas particulares que considere medios de control básicos como la fijación de precios límites oficiales.
Existe una gran disparidad en lo recaudado por concepto de agua entre los integrantes de la Megalópolis y sus esquemas tarifarios no permiten recuperar los costos de la prestación del servicio.	Se requiere un sistema financiero del agua de la Megalópolis con lineamientos básicos para determinar tarifas más homologadas que permitan financiar gastos y garantizar el acceso equitativo y sostenible al agua.

Referencias bibliográficas.

Comisión Estatal de Agua Querétaro (CEAQ, 2024). Precios concepto agua metro a metro. https://www.ceaqueretaro.gob.mx/wp-content/uploads/2024/08/TARIFAS-METRO-A-METRO-A-PARTIR-DEL-05-DE-AGO-2024-web-2.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2006). Sistema Cutzamala. Agua para millones de mexicanos. https://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sistema-cutzamala.pdf

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2023). Estadísticas del Agua en México 2023. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2024a). Registro Público de De-

rechos de Agua. https://app.conagua.gob.mx/consultarepda.aspx,
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2024b). Sistema de Información Geográfica de Acuíferos y Cuencas. https://sigagis.conagua.gob.mx/aprovechamientos/.
Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2024c). Personal Acreditado para Realizar Visitas de Inspección. https://app.conagua.gob.mx/Inspector.aspx
Diario Oficial de la Federación (DOF, 1996). Programa General de Desarrollo Urbano del Distrito Federal. https://sidof.segob.gob.mx/notas/4892371
Diario Oficial de la Federación (DOF, 2023a). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5708074&fecha=09/11/2023#gsc.tab=0,
Diario Oficial de la Federación (DOF, 2023b). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones hidrológicas en que se encuentra dividido los Estados Unidos Mexicanos. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5712948&fecha=28/12/2023#gsc.tab=0.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 2023c). Ley de Aguas Nacionales. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf.
Diario Oficial de la Federación (DOF, 2024). Ley Federal de Derechos. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFD.pdf.
Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022). Indicadores Agenda 2030: Agua limpia y saneamiento. https://agenda2030.mx/ODSind.html?ind=ODS006000050010&cveind=54&cveCob=99&lang=es#/Indicator
Gaceta Oficial del Distrito Federal (GODF, 2023). Ley del derecho al acceso, disposición y saneamiento del agua de la Ciudad de México. https://paot.org.mx/centro/leyes/df/pdf/2023/LEY_DER_ACCE_DISP_AGUA_14_04_2023.pdf.
Gaceta Oficial del Distrito Federal (GODF, 2024). Decreto por el que se reforman, adicionan y derogan diversas disposiciones del Código Fiscal de la Ciudad de México. https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/tarifas/Tarifas_Agua_Art_172_2024.pdf.
Ortega, Nuria. (2017). El agua en números. Revista Casa del tiempo. 41: 39-40. https://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/41_iv_mar_2011/casa_del_tiempo_elV_num41_39_40.pdf
Periódico Oficial del Estado de Hidalgo (POEH, 2023). Decreto 757 que aprueba las cuotas y tarifas del Organismo descentralizado de la administración pública estatal denominado Comisión de agua y alcantarillado de sistemas intermunicipales, para el ejercicio fiscal del año 2024. https://periodico.hidalgo.gob.mx/?tribe_events=Periodico-Oficial-Alcance-10-del-29-de-diciembre-de-2023.
Periódico Oficial del Estado de Hidalgo (POEH, 2024). Ley estatal de agua y alcantarillado para el Estado de Hidalgo. https://www.congreso-hidalgo.gob.mx/biblioteca_legislativa/leyes_cintillo/Ley%20Estatal%20de%20Agua%20y%20Alcantarillado%20para%20el%20Estado%20de%20Hidalgo.pdf.
Periódico Oficial del Estado de Puebla (POEP, 2023). Ley del agua para el Estado de Puebla. https://ojp.puebla.gob.mx/legislacion-del-estado/item/182-ley-del-agua-para-el-estado-de-puebla.
Periódico Oficial del Estado de Puebla (POEP, 2024). Actualización de las cuotas, tasas y tarifas que deberán cobrarse por los servicios que presta el Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla. https://www.aguapuebla.mx/wp-content/uploads/TARIFAS-JULIO-2024.pdf.
Periódico Oficial del Estado de Querétaro (POEQ, 2024). Ley que regula la prestación de los servicios de agua potable, alcantarillado y saneamiento del Estado. https://bj.scjn.gob.mx/doc/legislacion/vL7LAoEBVS3BUFYchoXH/%22Concedente%22
Periódico Oficial Gaceta del Gobierno (POGG, 2023). Código Financiero del Estado de México y municipios. https://bibliolex.gob.mx/leyes/codigo-financiero-del-estado-de-mexico-2/,
Periódico Oficial Gaceta del Gobierno (POGG, 2024). Ley del agua para el Estado de México y municipios. https://legislacion.edomex.gob.mx/sites/legislacion.edomex.gob.mx/files/files/pdf/ley/vig/leyvig002.pdf
Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Tlaxcala (POGET, 2021). Ley de aguas del Estado de Tlaxcala. https://cjuridica.tlaxcala.gob.mx/images/leyes/Ley%20de%20Aguas%20para%20el%20Estado%20de%20Tlaxcala%2010-05-2021.pdf
Periódico Oficial del Gobierno del Estado de Tlaxcala (POGET, 2023). Ley de ingresos del municipio de Tlaxcala para el ejercicio fiscal 2024. https://congresodetlaxcala.gob.mx/wp-content/uploads/2023/12/D.D.281.-LEY-DE-INGRESOS-DEL-MPIO-DE-TLAXCALA-PARA-EJERCICIO-FISCAL-2024.28112023.pdf
Periódico Oficial Tierra y Libertad (POTL, 2017). Ley estatal de agua potable. http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/leyes/pdf/LAGUAPOTEM.pdf
Periódico Oficial Tierra y Libertad (POTL, 2023). Ley de ingresos del municipio de Cuernavaca, Morelos, para el ejercicio fiscal del 01 de enero al 31 de diciembre de 2024. http://marcojuridico.morelos.gob.mx/archivos/leyes_ingreso/pdf/LINGRESOSCUERNAVACA24.pdf.
Procuraduría Federal del Consumidor (Profeco, 2023). Quién es quién en los precios. Pipas de Agua Potable. https://www.profeco.gob.mx/precios/canasta/pipas/2023/QQPPIPAS_013123.pdf
Santiago, Gonzalo. (Santiago, 2010). Racionalidad y argumentación jurídica legislativa. Fronteras, Migración y Derecho: 307-342. https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/6/2997/15.pdf
Secretaría de Economía (SE, 2008). NMX-AA-147-SCFI-2008. Servicios de agua potable, drenaje y saneamiento - tarifa - metodología de evaluación de la tarifa. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166827/NMX-AA-147-SCFI-2008.pdf
Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP, 2023). Transparencia Presupuestaria: Recaudación Local. https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/Recaudacion-Local
Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN, 2010). Jerarquía normativa. Es inexistente entre las leyes reglamentarias expedidas por el congreso de la unión que se limitan a incidir en el ámbito federal y las leyes expedidas por las legislaturas de los estados. https://sjf2.scjn.gob.mx/detalle/tesis/165230.
Suprema Corte de Justicia de la Nación (SCJN, 2024). Sentencia del amparo en revisión 984/2023. https://www.scjn.gob.mx/sites/default/files/listas/documento_dos/2024-04/240418-AR-984-2023.pdf
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH, 2021). Procesos de integración de las zonas metropolitanas a la megalópolis de México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y Congreso del Estado Libre y Soberano de Hidalgo. México. 326 pp.

13 Gestión sostenible del agua en odontología: desafíos ambientales y estrategias ante la contaminación del agua por metales pesados

Alejandra García-Mares [1*] Jonás Millán Catañeda [1] e Iván Maceda Mejías [2]

[1] Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Iztacala
[2] Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco (*autor de correspondencia: alejandragarciamares12@gmail.com).

Resumen

El agua es un recurso vital y un derecho humano fundamental, por lo que su gestión requiere una participación comunitaria activa para su preservación. En la práctica odontológica el agua tiene mayor uso con respecto a otras actividades de atención a la salud, asimismo, se ha identificado la contaminación del vital líquido cuando se procesan radiografías o se utilizan ciertos materiales constituídos por metales pesados, poniendo atención en el manejo inadecuado de sus residuos o desechos, lo impacta en el ambiente. En México, existen pocas investigaciones que aborden esta problemática, sin embargo los datos obtenidos dan cuenta de la necesidad de adoptar estrategias para una gestión adecuada de sus residuos. Por lo tanto es fundamental educar a los profesionales de la odontología y los que se encuentran en el proceso de formación, para lograr prácticas sostenibles sobre la gestión del agua. El desarrollo de guías, protocolos y material didáctico claros sobre el uso eficiente del agua y la disposición adecuada de residuos, puede mitigar el impacto ambiental derivado del ejercicio de esta profesión, y permitir socializar esto en contenidos curriculares de las escuelas de odontología y los distintos espacios de difusión.

Introducción

El agua es un recurso que no debe ser tratado como mercancía puesto que es un derecho humano y por lo tanto, requiere de la participación de la comunidad en general para poder garantizar su acceso y su cuidado. Esto demanda la democratización de las decisiones que desembocan en la garantía del acceso al vital líquido, y que se consagra en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. De acuerdo con la OECD (2015), dentro de los tres mayores riesgos para la economía, el ambiente y los seres humanos, el agua es un tema crucial. A escala mundial, se estima que 663 millones de personas (9%) no tienen acceso al agua potable y 2,400 millones (23%) carecen de las condiciones de saneamiento.

Cada una de las actividades humanas situadas en un contexto urbano, tiene una relación importante con el uso del agua; ya sea para el ocio, así como para todos los procesos de manufactura y producción, hasta aquellas dedicadas a la atención a la salud. Por lo tanto, el cuidado del vital líquido debe considerar aspectos legales, sociales, culturales y educativos que son fundamentales para hacer valer los derechos naturales y universales que le corresponden a cada persona para proteger los recursos naturales, especialmente el agua.

El agua es esencial en la práctica odontológica, utilizada en lavados, irrigaciones y en la limpieza de instrumentos. Sin embargo, su uso excesivo y la falta de un manejo adecuado pueden contribuir a la contaminación del agua. Los metales pesados, como el mercurio y el plomo, que se encuentran en materiales dentales en productos de desecho, representan un riesgo significativo para la salud pública y el medio ambiente. Por ello, la educación en este ámbito es crucial para fomentar prácticas sostenibles.

Contaminación del agua en la profesión odontológica

Se han realizado investigaciones en torno a la contaminación del agua como producto de varias actividades de la práctica odontológica, entre ellas, el procesado convencional de radiografías, la colocación de amalgamas dentales, el empleo de materiales de cementación y de obturación provisional (Maceda et al., 2017; Maceda, 2020).

Es importante reconocer que el tema de la contaminación a partir de la práctica odontológica comenzó a considerarse en trabajos de investigación, al menos desde hace más 25 años, y que incluían como contaminantes críticos el mercurio y residuos de amalgama, las láminas de plomo, los líquidos radiográficos, residuos de fármacos, el aceite de las compresoras y diversos residuos de materiales dentales (Arenholt-Bindslev, 1998), y es importante señalar que algunos avances tecnológicos, como lo son las compresoras libres de aceite, han contribuido a la disminución de generación de contaminantes en el ejercicio de la atención a la salud bucal. Asimismo, existe evidencia documentada sobre la toxicidad de los líquidos utilizados en el revelado de la imagen radiográfica convencional, así como la formación de compuestos inorgánicos que contienen metales pesados producidos en dicho procesamiento (Silva y Herrera, 2004; Maddalena et al., 2010; Pôrto, Guerra y Zanchin, 2012).

En una investigación en Trinidad y Tobago se halló una concentración media de 0.0759 ppm o mg/L de mercurio en muestras filtradas con un total de 3.4 g de mercurio desechado al ambiente, por dentista por día (Paryag, Paryag, Reisha, Rafeek, Pilgrim, 2010). De acuerdo con un estudio experimental para conocer el riesgo de la cantidad del plomo y plata que pueden contaminar los residuos y desechos de los líquidos radiográficos y radiografías dentales, asciende a 3.02 mg/L para la plata y a 3.02 mg/L para el plomo dentro de los contenedores de los líquidos de las cajas de revelado (Maceda-Mejías, 2020).

Los líquidos de revelado y fijado de la imagen radiográfica contienen distintas sustancias químicas como la hidroquinona, etilenglicol o el tiosulfato amónico, entre otras, que resultan ser altamente tóxicas (Silva y Herrera, 2004). La hidroquinona, presente en el líquido revelador, es catalogada como venenosa al inhalarse o absorberse a través de la piel. El etilenglicol, presente tanto en el líquido revelador como en el fijador, ocasiona irritación, enrojecimiento y quemaduras en la piel, y produce efectos tóxicos al absorberse a través de la piel, por inhalación o al ingerirse. Algunos de los componentes de estos líquidos son clasificados como sustancias peligrosas y potencialmente dañinas para los seres vivos y el ambiente que los rodea (nom-052-semarnat-2005; Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades [ASTRE], 2005). El lixiviado resultante genera otras sustancias como el sulfuro de plata que puede producir irritación de la piel y de las mucosas de las membranas (Silva y Herrera, 2004).

Los líquidos radiográficos pueden interactuar de manera corrosiva con otros metales, como los de la infraestructura hidráulica, y volver disponibles fracciones de otros metales o compuestos dañinos para el ambiente y seres vivos. Por mencionar un ejemplo, el líquido fijador en contacto con la lámina de plomo del paquete radiográfico individual, vuelve frágil esta última y provoca que se desprendan pequeñas partículas de plomo que pueden entrar fácilmente al organismo como por el tracto respiratorio (Maceda-Mejías et al., 2018). En algunos casos los residuos del líquido fijador se diluyen o neutralizan antes de arrojarlos al desagüe, dejando estos residuos presentes en el agua (Maddalena et al., 2010; Singh et al., 2014).

En el caso de la contaminación por otras actividades como la obturación con amalgama dental, se sabe que su utilización ocasiona que el agua residual se mezcle con metales como cobre, cromo, plomo, zinc y plata (Cu, Cr, Pb, Zn y Ag) que en concentraciones sub-letales deshabilitan a los organismos microbiológicos que forman parte del proceso de tratamiento del agua residual, impactando negativamente en este proceso (Chua et al., 1999; Shraim et al., 2011).

De acuerdo con otra investigación en la que se determinó la concentración de plata y zinc en clínicas estomatológicas de la UAM Xochimilco, la presencia de estos metales no rebasaba los límites permisibles, sin embargo, hay que tomar en cuenta que el número de obturaciones que suman la práctica privada y la atención pública, representan una significancia práctica en función la elevación de la presencia de plata, zinc y otros metales que constituyen diversos materiales dentales (Maceda et al., 2018).

Hay que tomar en consideración que existen otros procedimientos de los que no se ha estudiado su impacto ambiental, como el uso de glutaraldehídos, materiales para la manufactura de trabajos protésicos e incluso las resinas dentales.

Leyes existentes aplicables al ámbito de la odontología

De acuerdo con la nom-001-ecol-1996; nom-002-ecol-1996-semarnat; nom-052-2005- semarnat, cualquier centro de atención a la salud bucal o cen-

tro de estudios radiográficos representa una fuente puntual de contaminación, por lo que deben cumplir la Normatividad relacionada con las descargas de aguas residuales. En el Manual Manejo adecuado de desechos tóxicos en odontología (metales pesados e insumos radiográficos), se muestra una ruta de las leyes y normas que se encuentran relacionadas con la generación de desechos y residuos en la práctica odontológica (Maceda et al., 2018). En lo que se relaciona específicamente con el agua, la nom-052-semarnat-2005, que establece las características y las rutas para identificar y clasificar las características de corrosión, reactividad, explosividad, toxicidad y punto de inflamación (creti), señala listados de algunos metales pesados y los valores máximos permisibles en una prueba PECT (Prueba de extracción para la característica de toxicidad).

Importancia de conocer el número de odontólogos, instituciones de salud y manejo de los insumos

El conocimiento de la operación de los consultorios dentales a nivel nacional (Figura 1), permite una aproximación a detalle de las cifras críticas y puede proporcionar una estimación del riesgo de que se contamine el agua de diferentes maneras.



Figura 1. Infografía sobre aspectos a considerar en la práctica odontológica y su impacto relacionado con la contaminación del agua. Elaborado por los autores.

Lamentablemente no existen trabajos recientes que hagan un censo sobre las actividades que se realizan más comúnmente dentro de la práctica odontológica privada en el país (Figura 2), y en los informes del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Patologías Bucales, ya no se han reportado el número de actividades realizadas en el ámbito de la atención odontológica pública.

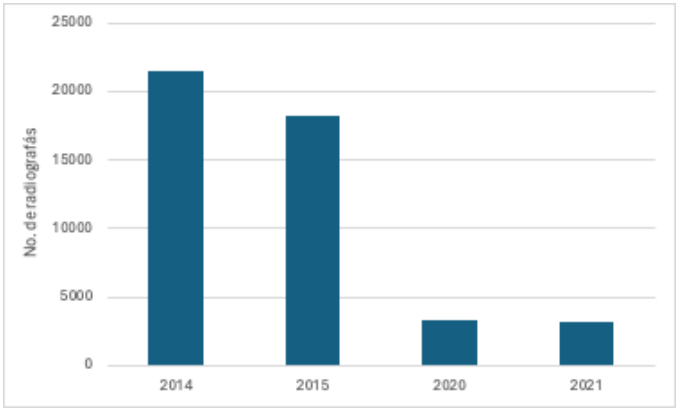


Figura 2. Datos sobre el número de radiografías realizadas en instituciones de salud pública de la república mexicana. Los datos de 2020 y 2021 fueron tomados en el contexto de la pandemia por Covid 19. Datos de la Secretaría de Salud del Distrito Federal (2014, 2015) y SEDESA (2020, 2021).

Aproximación del desconocimiento del manejo adecuado de residuos y desecho de materiales dentales a nivel internacional

Si bien en México es reducido el número de trabajos que han identificado la contaminación del agua que se genera a partir de la práctica odontológica, a nivel mundial existen diversas investigaciones (Danaei,2013; Khandewall, 2013; Singh et al., 2014; Maceda et al., 2015) que muestran una tendencia al manejo inadecuado de los residuos de amalgamas (Tabla 1) y materiales radiográficos (Tabla 2). Estos datos hacen evidente que el gremio odontológico debe tomar cartas en el asunto y hacer efectivo un enfoque sustentable.

Tabla 1 Manejo de los residuos de amalgama

Autor de investigación/País	Población de la muestra representativa	Forma de manejo inadecuado	Manejo adecuado
Danaei, 2013 (Irán, Shiraz)	86 consultorios privados 14 clínicas privadas 10 clínicas públicas	Bolsas negras 3.7% Bolsas amarillas 5.6%	97% coloca residuos de amalgama en un contenedor especial
Khandewall, 2013 (India)	102 Encuestas	33% no lo separa	67% separan mercurio / amalgama
Singh *et al*., 2014 (India)	200 encuestas	40.6% arroja en el basurero común	25.6% colocaba en un recipiente con agua.
Maceda et. al, 2015 (México)	287 encuestas	5.2% arroja al agua 27.9% en basurero común	59.6% colocan en un recipiente con agua

Tabla 2 Manejo de residuos y desechos de insumos radiográficos

Autor de investigación/País	Población de la muestra representativa	Forma de manejo inadecuado	Manejo adecuado
Maddalena, 2010 (Brasil)	64 encuestas	Componentes del paquete radiográfico individual	
		32.4% basurero común 32.8% basurero del hospital	18.57% Almacena 7.14% Dona a empresa 10% vende a empresas de reciclaje
		residuos de líquidos radiográficos	
		42% los arroja al desagüe	2.68% los vende 14.29$ dona a empresas
Danaei, 2013 (Irán)	86 consultorios privados 14 clínicas privadas 10 clínicas públicas	Componentes del paquete radiográfico individual	
		40% Tira en bolsas negras 48% Tira en bolsas amarillas	12% coloca en contenedor especial 8% recicla por medio del proveedor
		residuos de líquidos radiográficos	
		80.3% los arroja al desagüe	19.7% coloca en un contenedor especial
Singh *et al*., 2014 (India)	200 encuestas	Componentes del paquete radiográfico individual	
		68.1% tira en el basurero común	29.4% almacena 2.5% lo lleva al centro de reciclaje
		residuos de líquidos radiográficos	
		45% los arroja al desagüe	5.6% lo regresa al proveedor
Maceda et. al, 2015 (México)	287 encuestas	Componentes del paquete radiográfico individual	
		38% tira en el basurero común	5.9% almacena 35.5% separa en sus diferentes componentes
		residuos de líquidos radiográficos	
		78% no sabe qué hacer con los líquidos	22% tienen una idea de qué hacer con ellos

Educación y concientización sobre la gestión del agua en odontología

La educación puede funcionar como la base prioritaria que haga valer los derechos naturales y universales que le corresponde a cada persona para proteger los recursos naturales, especialmente el agua.
Dentro de la educación encaminada a la gestión adecuada del agua, debe hacerse énfasis de que el vital líquido no debe considerarse un servicio en el mercado, sino encomendarse como un bien natural. De manera que educar sobre el agua debe comprender que todos los seres vivos tienen necesidad y derecho al vital líquido, es una obligación asegurar su disponibilidad y la preservación de una calidad óptima para el disfrute de las generaciones, actuales y futuras (Comunidad Económica Europea, 2008).

En el ámbito universitario, el 86.6% de los alumnos (200 encuestas aplicadas a estudiantes de la carrera de Estomatología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco) desconoce la disposición adecuada de los desechos líquidos que contienen metales pesados o sustancias tóxicas, mientras que el 81.3% ignora el manejo de los desechos sólidos que también están en riesgo de entrar en contacto con el agua en algún momento. El 53.1% de los alumnos consideró que existe una relación entre los daños a la salud humana y al medio ambiente originados por los residuos de la amalgama dental. En el caso de los cementos de zinc el 83.7% manifestó desconocer los posibles daños a la salud y al ambiente de estos materiales. Respecto a los desechos del paquete radiográfico individual, 43.1% no han considerado que pueden ser dañinos y por último, el 48.8% desconoce los daños a la salud humana y al ambiente de los residuos de los líquidos radiográficos (Maceda-Mejías et al. 2021).

La gestión del agua es un aspecto crítico en la odontología, no sólo por su uso en procedimientos clínicos, sino también por su impacto ambiental. Como se ha mencionado anteriormente, en la práctica odontológica se genera una cantidad significativa de residuos, incluidos los metales pesados, que pueden contaminar fuentes de agua si no se manejan adecuadamente. Por lo tanto, es fundamental educar a los profesionales de la odontología sobre la importancia del uso del agua y la reducción de la contaminación.
Ante lo anterior, el implementar guías y protocolos con información clara sobre el uso eficiente del agua y la gestión de residuos durante el periodo de formación de los futuros odontólogos, es fundamental para ayudarles a adoptar prácticas sostenibles en su día a día (Figura 3).

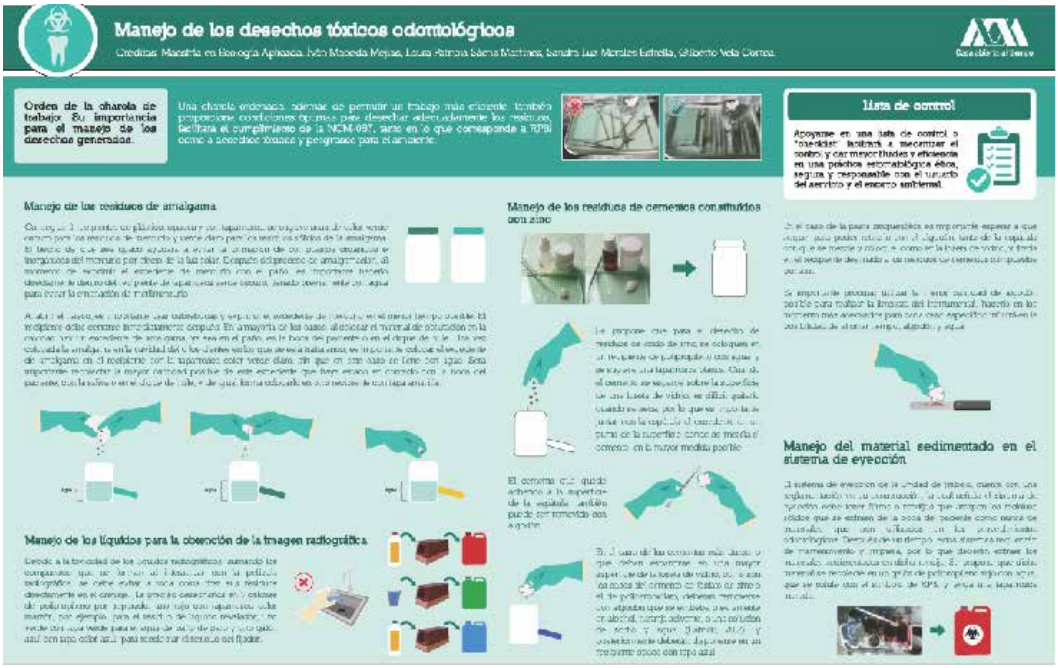


Figura 3. Infografía creada a partir de la identificación de la necesidad de contar con protocolos para el manejo adecuado de residuos y desechos generados en las clínicas estomatológicas de la UAM Xochimilco (2020, 2021). Disponible para descarga en: https://drive.google.com/file/d/1vum80A40grd9omap3XNf7mWhOJKXEVt4/view?usp=sharing

Otras consideraciones respecto a la gestión integral del agua

De acuerdo con González-Brambila y Colín (2020) el agua de calidad debe estar libre de microorganismos, sustancias químicas y peligros radiológicos que constituyan una amenaza para la salud humana. La importancia de minimizar al máximo la presencia de metales pesados y sustancias tóxicas en el agua permite asegurar que el tratamiento de las aguas residuales sea el óptimo y no se provoquen mayores costos económicos. La calidad del agua para consumo humano es preocupante pues no en todo el país se abastece con agua potable, sino con agua clorada, que muchas veces excede los límites que debe contener para ser inocua a la salud humana, considerando también que el cloro no quita los otros contaminantes como metales pesados, flúor o arsénico.

Las organizaciones del gremio odontológico están muy lejos de entender un enfoque riguroso de la sustentabilidad, la economía circular y la economía biofísica, en principio porque no existe un trabajo interdisciplinario con biólogos, ecólogos u otras disciplinas que se dediquen al estudio del impacto ambiental.

También se puede mencionar que la FDI (Federación Dental Internacional) ya ha comenzado a hablar sobre el tema de una práctica odontológica sostenible. Sin embargo, por intereses económicos, basados en la economía neoclásica, y su nexo con el mercado, no se ha comprometido verdaderamente a hablar de todos los retos que esto significa, y todo se ha quedado en Greenwashing, es decir en comunicar al usuario del servicio una responsabilidad ambiental que realmente no se está llevando a cabo, o que no atiende a las causas de la contaminación a partir de la práctica odontológica.

No obstante, han surgido nuevas investigaciones que están integrando la aplicación de procedimientos para disminuir la presencia de metales pesados que se incorporan a las aguas residuales como consecuencia de la práctica odontológica. Tal es el caso de la fitorremediación, el cual consiste en el uso de plantas para remover, reducir, transformar y estabilizar dichos contaminantes, dado que en sus raíces, sus tallos u hojas, se da lugar a reacciones químicas metabólicas que modifican los compuestos tóxicos formados (Briñez-Vásquez et al., 2019).

En espacios de difusión y divulgación científica, se ha dado a conocer que los daños que pueden ocasionar la presencia de metales tóxicos en el ambiente, ya sean metales no esenciales como el mercurio, el plomo o el cadmio, o metales esenciales que se incluyen dentro de los oligoelementos esenciales para el funcionamiento fisiológico de una diversidad de organismos, y más específicamente el del ser humano (Divulgación de la ciencia, 2024, 16m20s). Asimismo se ha destacado que existen diversos trabajos que relacionan la bioacumulación y biomagnificación de dichos metales en las cadenas tróficas, y que esto representa un constante riesgo para la salud humana y el desarrollo embriológico en el periodo de gestación (Divulgación de la ciencia, 2024, 35m47s). Una de las menciones que se hacen en la charla citada es que precisamente las leyes que se involucran en la presencia de metales pesados en el agua no consideran las sanciones a quienes contaminan el agua (Divulgación de la ciencia, 2024, 30m01s).

En una compilación realizada por Beatriz Canabal y Nemer E. Narchi (2014) se hace énfasis en que tomando en cuenta que los principales problemas en torno al agua en nuestra ciudad se relacionan con “la escasez, la contaminación y el incremento de tarifas”, en México no existían instancias y mecanismos autónomos que regulen y supervisen la vigilancia del cumplimiento de la normatividad ambiental, administrativa, técnica y financiera, y es pertinente decir que esto continúa, empezando porque no se han modificado la legislación propia del agua desde finales del siglo pasado.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 4. Problemáticas y oportunidades para la educación ambiental de los profesionales de la salud bucal y la presentación de esta problemática para la adopción de medidas en distintas actividades económicas.
Problemáticas Oportunidades

Problemáticas	Oportunidades
Falta de divulgación de la problemática ambiental asociada al manejo inadecuado de residuos y desechos de los materiales dentales que emplea el gremio.	Se requiere de materiales didácticos que difundan la información de esta problemática y socializarla en los espacios de formación profesional.
Carencia de vinculación entre los actores sociales involucrados en la adecuada gestión del agua.	Es necesario hacer evidente las diversas afectaciones derivadas de la contaminación del agua, quienes son los receptores de los daños que esto implica y colaborar de manera multi e interdisciplinaria para disminuir el impacto ambiental y de salud de las comunidades vulneradas.
Enfoque de sustentabilidad sesgado desde las Instituciones del gremio odontológico debido a la falta de conocimientos en el ámbito de la ecología y la economía.	Se requiere de trabajo inter y transdisciplinario que tenga un papel adecuado para una visión integral de la problemática, e incidencia en espacios de formación y de prestación de servicios.
Procedimientos típicos de las actividades odontológicas que producen residuos contaminantes que además son mal manejados.	Promover la actualización de los procedimientos, instrumental y materiales utilizados en las clínicas odontológicas para reducir la contaminación generada a partir de dichas actividades.

Referencias bibliográficas

Agenda estadística 2017., Dirección General de Planeación y Coordinación Sectorial. México: Dirección de Información en Salud; 2017. Disponible en: http://data.salud.cdmx.gob.mx/portal/media/agenda_2017/servicios.html

Agenda estadística 2020. Dirección General de Planeación y Coordinación Sectorial. México: Dirección de Información en Salud; 2020. Disponible en: https://salud.cdmx.gob.mx/storage/app/media/2018-2024/Agenda%202020_compressed.pdf

Agenda estadística 2021. Dirección General de Planeación y Coordinación Sectorial. México: Dirección de Información en Salud; 2021. Disponible en: https://salud.cdmx.gob.mx/storage/app/media/Agenda%202021.pdf

Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades. Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU. Servicio de Salud Pública División de Toxicología y Medicina Ambiental; 2024. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/

Arenholt-Bindslev, D. (1998). Environmental aspects of dental filling materials. European Journal of Oral Sciences, 106.

Briñez Vásquez, G. N., Solano Aconcha, C. E., Sandoval Echavarría, J. D., Rojas Lomelin, A. L., & Agudelo Jiménez, G. (2019). Fitorremediación de aguas contaminadas con componentes de amalgama de la preclínica de odontología de la Universidad Antonio Nariño, Ibagué (Colombia). Acta Odontológica Colombiana, 9(2), 59-70.

Comunidad Económica Europea, (2008). La economía de los ecosistemas, la biodiversidad. Reino Unido.

Chua, H., Yu, P.H.F., Sin, S.N., Cheung, M.W.L., 1999. Sub-lethal effects of heavy metals on activated sludge microorganisms. Chemosphere 39, 2681–2692.Cristiani, B. C., y Narchi, N. E. (Eds.). (2014). El agua en los pueblos del sur de la Ciudad de México. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco.

Danaei M, Karimzadeh P, Momeni M. The management of dental waste in dental offices and clinics iShiraz, southern Iran. Int J Occup Environ Med 2014;4:18-23.

Divulgación de la ciencia UAM-X. (28 noviembre 2024). Charlas de Ciencia, Metales Tóxicos en tu cerebro, Dr. Camilo Ríos Conduce, Cecilia Ezeta. Facebook. https://www.facebook.com/divulgaciondelacienciauamx/videos/1092149685827875/?notif_id=1732823278831295&notif_t=live_video_schedule_viewer&ref=notif

González-Brambila., M., Colín-Luna, J. y Puebla-Núñez., H. (2020). El tratamiento de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua. Coordinador. Óscar Monroy Hermosillo. Primera edición, 2020. ANUIES. 101-122 pp.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (2019). Censo económico https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/

Iván Maceda. (3 nov 2019). Manejo adecuado de residuos de materiales dentales. https://www.youtube.com/watch?v=DAQrBXpODAs&t=449s

Khandelwal, V., Khandelwal, S. y Singh-Thakur, J. (2013). Health care waste disposal among private dentist in an Indian city: it's time to act. Int J Infect Control 2013, v9:i2 doi: 10.3396/ijic.v9i2.016.13

Maceda-Mejías, I., Vela-Correa, G., Morales-Estrella, S. y Sáenz-Martínez, L.P., Sánchez-Robles, J. (2018). Determinación de plata y zinc en aguas residuales de las clínicas estomatológicas de la UAM-X. Rev Cienc Clín 2018; 19(1).

Maceda-Mejías, I., Sáenz-Martínez, L.P., Morales-Estrella, S.L., Vela-Correa, G. (2018). Manual para el manejo adecuado de desechos tóxicos en Odontología: Una responsabilidad profesional. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. 55-56 pp.

Maceda-Mejías, I. (2020). Contaminación del agua por líquidos radiográficos. Acciones metropolitanas para la gestión sustentable del agua. Coordinador. Óscar Monroy Hermosillo. Primera edición, 2020. ANUIES. 129-139 pp.

Maceda-Mejías, I., Morales-Estrella, S.L., Sáenz-Martínez, L.P., Vela-Correa, G. (2021). Nivel de información de los estudiantes de estomatología sobre el manejo de residuos dentales. Rev Tamé 2021; 9 (27): 1081-1089.

Maddalena-Dias, I, Evangelista-dos Santos, E, Oliveira-Corrêa, R, Pessôa-Pereira-Leite, F., Pessôa-Pereira, A., Lopes-Devito, K. (2010) Evaluación del destino dado a los residuos de materiales radiográficos por parte de los dentistas de la ciudad de Juiz Fora (Minas Gerais, Brasil). Acta Odontológica Venezolana - VOLUMEN 49 Nº 3 / 2011

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL 1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Diario Oficial de la Federación, México (6 de enero de 1997).

Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL 1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Diario Oficial de la Federación, México (3 de junio de 1998).

Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. México, D.F., 15 de diciembre de 2005.

OECD (2015). oecd Territorial Reviews: Valle de México, México, oecd Publishing, Paris.

Paryag, A., Paryag, A.S., Rafeek, R.N. y Pilgrim, A. (2010). Mercury Pollution from Dental Amalgam Waste in Trinidad and Tobago. J. Water Resource and Protection, 2010, 2, 762-769

Pôrto, B. K. F., Guerra, L. R. y Zanchin, B. E. F. (2012). Gerenciamento dos resíduos radiológicos em consultórios odontológicos da cidade de Pelotas (RS, Brasil). [Gestión de los residuos radiológicos en consultorios odontológicos de la ciudad de Pelotas (RS, Brasil)] Arq Odontol, Belo Horizonte, 48 (4), 242-250.

Secretaría de Salud del Distrito Federal. (2014). Agenda estadística 2014. Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Planeación y Coordinación Sectorial Dirección de Información en Salud México, D. F. Recuperado de http://data.salud.cdmx.gob.mx/portal/media/agenda2014_portal/inicio.html

Secretaría de Salud del Distrito Federal (2015) Agenda estadística 2015. Gobierno del Distrito Federal, Dirección General de Planeación y Coordinación Sectorial Dirección de Información en Salud México, D. F. Recuperado de http://data.salud.cdmx.gob.mx/portal/media/agenda_2015/inicio.html

Shraim, A.; Alsuhaimi, A. y Al-Thakafy, J. T. (2011). Dental clinics: A point pollution source, not only of mercury but also of other amalgam constituents. [Clínicas dentales: Una fuente puntual de contaminación, no sólo de mercurio sino también de otros constituyentes de la amalgama] Chemosphere. 84, 1133-9.

Silva, T. P. y Herrera, V. J. J. (2004). Determinación de los componentes de las aguas residuales de los tanques de revelado de radiografías de laboratorios dentales. Odovtos, 6, 110-113.

Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica, Dirección General de Epidemiología y Secretaría de Salud (SINAVE/DGE/SSA). (2010). Perfil epidemiológico de la salud bucal en México 2010. Recuperado de www.salud.gob.mx /www.dgepi.salud.gob.mx

Singh, R. D., Jurel S. K., Tripathi S., Agrawal K, K. y Kumari R. (2014). Mercury and other biomedical waste management practices among dental practitioners in India. [Manejo de los residuos de mercurio y otros desechos resultantes de las prácticas biomédicas por odontólogos en la India] BioMed Research International, Vol. 2014, Article ID 272750, 6 pp. http://dx.doi.org/10.1155/2014/272750.

Toledo, V. M. (2013). El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica. Relaciones. Estudios de historia y sociedad, 34(136), 41-71.

14 Cálculo de huella hídrica como herramienta para la gestión sostenible del agua.

Daniel Osorio González[1],[2*], Luis Enrique Díaz Sánchez[1], Jesus Magyber de Jesus Miranda1, Michelle Abigail Fuentes Acosta[2], Víctor Manuel Soto Márquez[1]

[1]Laboratorio Nacional Conahcyt de Enseñanza e Innovación aplicando Cómputo de Alto Rendimiento (EICAR). Universidad Autónoma del Estado de México; [2]Laboratorio de Biofísica Molecular, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México (*autor de correspondencia: dog@uaemex.mx).

Resumen

La huella hídrica es un indicador que mide el volumen total de agua usada directa o indirectamente por individuo, empresa, comunidad o país en la producción de todos sus bienes y servicios. Los hábitos de consumo, requerimientos y efectos de las actividades que involucran el uso del agua varían significativamente en cada una de las comunidades del país, pero identificar los patrones y tendencias de uso del agua de cada región permitirán el desarrollo de estrategias concretas, efectivas y sostenibles para una gestión eficiente de los recursos hídricos. Aunado a ello, al analizar y cuantificar puntualmente los requerimientos y efectos de las actividades económicas, ambientales y sociales de cada comunidad, se pueden asegurar soluciones que lleven a la protección de los recursos hídricos para reducir la huella hídrica. Se presenta el proyecto DataAqua desarrollado por el Laboratorio Nacional CONAHCyT para la Enseñanza e Innovación, aplicando Cómputo de Alto Rendimiento (EICAR), en el que se explica con detalle el significado y la clasificación de la huella hídrica para implementar técnicas avanzadas de ciencia de datos y cómputo de alto rendimiento con el fin de optimizar el uso del agua. Se precisa la importancia de que este parámetro multidimensional deba personalizarse para cada región, por ello se propone que para abordar estas variaciones regionales se consulten bases de datos locales y federales, junto con imágenes satelitales y datos de sensores remotos internacionales, para desarrollar modelos predictivos que calculen la huella hídrica de manera precisa. Estos modelos permitirán identificar patrones de consumo de agua y evaluar su impacto en la calidad del agua, proporcionando una base sólida para la implementación de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad. Este enfoque adaptativo busca no solo mejorar la eficiencia en la gestión del agua, sino también asegurar la sostenibilidad a largo plazo, beneficiando a las comunidades y al medio ambiente.

Introducción

La gestión sostenible del agua es un desafío mundial que demanda ser atendido. El aumento del estrés hídrico y las graves consecuencias del agotamiento de este recurso vital vuelve necesario que las empresas, sociedad, industria y academia trabajen en conjunto para plantear soluciones concretas, efectivas y sostenibles para una gestión eficiente de los recursos hídricos. Muchas comunidades de México enfrentan amenaza del “día cero del agua”, un punto crítico en el que la escasez es tan grave que no se puede cubrir ni siquiera las necesidades básicas (Warner & Meissner, 2021). El cálculo de Huella Hídrica como Herramienta para la Gestión Sostenible del proyecto multidisciplinario DataAqua se propone como una respuesta holística para promover el uso eficiente del agua cuyos alcances se enmarcan dentro de los objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, particularmente con el ODS 6, que busca garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Son destacados los avances que se tienen a la fecha, sin embargo, alcanzar la cobertura universal para 2030 requerirá intensificar los esfuerzos para promover el uso eficiente del agua (UN, 2023). Otra problemática que aqueja al país es el estrés hídrico, que se refiere a la presión entre la demanda de agua y su suministro renovable. Alrededor del 50% de la población global vive bajo condiciones de estrés hídrico elevado al menos un mes al año. De acuerdo con datos del Atlas de Riesgo Hídrico Aqueduct del WRI, México se encuentra entre los 25 países con mayores niveles de estrés hídrico; esto es, utiliza casi el 80% de su suministro total de agua renovable (Kuzma et al., 2023). Sin la infraestructura correcta y sin la gestión inteligente de los recursos hídricos el riesgo de agotamiento del vital líquido en el país es inminente.

Derivado de tan graves problemáticas se han desarrollado numerosas técnicas y herramientas para

conservar los recursos hídricos, ya sea para recuperarlos o conservarlos (Keskin et al., 2021). Entre dichas herramientas (económicas, ambientales y sociales) se encuentras aquellas denominadas huellas; que tienen el propósito de conocer el estado de los recursos en un momento determinado. La más conocida es la "huella hídrica", un indicador que cuantifica el volumen total de agua utilizado, de manera directa o indirecta, en la producción de bienes y servicios a nivel individual, comunitario o nacional (Aldaya et al., 2012). Estas mediciones buscan orientar acciones con un fundamento sólido que puedan llevar hacia un desarrollo sostenible.

Es necesario generar información útil sobre el consumo de agua directo e indirecto, identificar los factores contribuyentes en las cadenas de suministro, en los consumidores, los gobiernos y gestores del agua. Teniendo mediciones certeras de estos procesos es posible rastrear el impacto de cada factor en los problemas relacionados con el agua (Symeonidou & Vagiona, 2018). Este proceso es aplicable en todos niveles organizacionales de interés, por ejemplo, es posible analizar y cuantificar los requerimientos y efectos de las actividades hídricas de una comunidad. Conociendo las necesidades de la comunidad se pueden desarrollar estrategias particulares que serán efectivas para esa comunidad en específico. Esta personalización de las estrategias es fundamental porque no todas las regiones de país tienen las mismas actividades hídricas.

Sin embargo, conocer la huella hídrica no es suficiente para ofrecer recomendaciones. Manejar volúmenes masivos de datos e información es una tarea compleja. Es aquí donde las potenciales aplicaciones de la ciencia de datos y cómputo de alto rendimiento se vuelven las herramientas auxiliares ideales para desarrollar procesos de toma de decisiones efectivos en la gestión del agua (Tarboton et al., 2024). Con los datos e información generados se pueden identificar patrones, áreas críticas y momentos de alta demanda; lo que facilitaría el diseño de estrategias específicas para optimizar el consumo de agua y en consecuencia, reducir la huella hídrica. La implementación de estas estrategias no solo ayudaría a reducir la presión sobre los recursos hídricos locales, sino también, se generaría un impacto a nivel global al impulsar prácticas replicables que promuevan la sostenibilidad del agua en cualquier región del mundo.

Es en todo este contexto que surge el proyecto multidisciplinario DataAqua, diseñado para promover un uso más eficiente del agua. El proyecto busca un uso equitativo y sostenible del agua, asegurando su disponibilidad para las generaciones actuales y futuras, empleando tecnologías avanzadas para mejorar la eficiencia en sectores clave como la agricultura, la industria y el suministro doméstico. El desarrollo de este proyecto beneficia tanto a las comunidades de México como a la conservación global de este recurso vital. La implementación de DataAqua, pretende no solo resolver problemas de escasez hídrica en México, sino también contribuir a metas globales de conservación del agua como recurso esencial y finito.

Huella Hídrica (HH)

La huella hídrica es un indicador multidimensional que mide el volumen total de agua que usa un individuo, empresa, comunidad o país en la producción de todos los bienes, productos y servicios; ya sea de forma directa o indirecta (Aldaya et al., 2012). Usualmente, se expresa como volumen de agua por unidad de producto o por unidad de tiempo (Hoekstra, 2011).

El término "huella hídrica" no debe ser usado en términos simples ni generales. Por el contrario, el término debe emplearse exclusivamente para describir los resultados de una evaluación integral de la huella hídrica indicando claramente cuál es el propósito, alcance y cuáles son los parámetros que se pretende determinar. Cuando el potencial impacto ambiental relacionado con el uso del agua no se haya evaluado de una forma integral, el término huella hídrica solo podrá ser usado si se agrega un calificador, por ejemplo "huella de eutrofización hídrica" o "huella de escasez hídrica". [ISO], 2014). Como indicador integral del uso de los recursos hídricos, su medición, parámetros y alcance deben quedar claramente definidos y delimitados. Con ello se asegurará que no existan ambigüedades en la interpretación y resoluciones derivados de su estimación. Así, se puede definir la HH de un producto como la suma de las huellas hídricas de los pasos del proceso tomados para producir el producto o la HH de un consumidor como la suma de las huellas hídricas de todos los productos consumidos por el consumidor, por mencionar unos ejemplos (Hoekstra, 2011).

Supóngase que se desea determinar la huella hídrica de un producto, por lo tanto, se deberá calcular el volumen de agua usado para elaborar dicho producto. En esta medición se considerará toda su cadena de suministro, es decir, el uso total de agua considerando todo su ciclo de vida, desde la adquisición de las materias primas hasta su disposición final (ISO, 2014). Por esta razón medir todo el consumo de agua en cada uno de los eslabones de la cadena del ciclo de vida de elaboración de un producto o servicio es una tarea más que compleja. Los componentes del uso de agua por origen y volúmenes de contaminación por tipo de contaminación se categorizan a su vez en huella hídrica azul, huella hídrica verde y huella hídrica gris. La HH azul se refiere al uso consuntivo del agua dulce superficial o subterránea. Se considera el uso del agua que se evapora, que se incorpora a un producto, que no regresa a la misma zona de captación y que no regresa al mismo periodo. Se recomienda medir la cantidad de agua disponible consumida en un periodo determinado (volumen de agua por unidad de tiempo). La HH verde, por otro lado, considera el consumo de los recursos del agua de lluvia que no se convierte en escorrentía ni en aguas subterráneas. Mientras que la HH gris está relacionada con la contaminación, es decir, el volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga de contaminantes. Considerando las concentraciones naturales de fondo y las normas de calidad ambiental.

Consideraciones generales para evaluar huella hídrica

El “Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial” de la Red de la Huella Hídrica (en inglés, Water Footprint Network) y la ISO 14046, sugieren que deben considerarse cuatro fases en la evaluación de la huella hídrica: i) definir objetivos y alcance, ii) contabilizar la huella hídrica, iii) analizar la sostenibilidad de la huella hídrica y iv) formular respuestas a la huella hídrica. No obstante, este capítulo se centrará mayormente en los aspectos más importantes para contabilizar la huella hídrica conforme a las necesidades de nuestra entidad. Consideramos que esta es una fase central en la evaluación de HH porque permite una interconexión con las demás fases. Si no se logra tener una medición precisa y replicable del consumo de agua, el análisis de la sostenibilidad y las respuestas a la huella hídrica no se podrán establecer o se establecerán de forma errónea.

Para evaluar la HH correctamente es necesaria una estandarización de procedimientos. Así se garantizará la uniformidad en la recolección, muestreo y análisis de datos. Haciendo que todos sigan los mismos criterios y minimizando discrepancias. En este sentido, existen normatividades internacionales que describen en gran detalle la estimación de la huella hídrica (ISO 14046:2014 Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines). No obstante, las necesidades de nuestra entidad federativa limitan ciertos procedimientos, por lo que a continuación se describirán las principales consideraciones que favorecen o que limitan, una estimación integral del consumo de agua de nuestra entidad.

El cálculo de la HH requiere información puntual para cada caso. Por esta razón, en la siguiente sección se describen las bases de datos que, idealmente, son necesarias para el cálculo de la HH.

Bases de datos para el cálculo de la huella hídrica

De acuerdo con la norma BS ISO 14046:2014, para medir y predecir la huella hídrica los datos necesarios se conocen como datos primarios, que son datos cuantificados de un proceso unitario obtenidos mediante mediciones directas o cálculos basados en mediciones directas en su fuente original. Ejemplos incluyen el uso de agua en un proceso de producción específico. Los datos primarios incluyen:

- Datos de consumo de agua en la producción: Volumen de agua utilizada en el proceso de manufactura de un producto específico, cantidad de agua consumida en la irrigación de cultivos agrícolas utilizados como materia prima y agua utilizada en el enfriamiento de máquinas y equipos durante el proceso de fabricación.
- Datos de calidad del agua: Mediciones directas de la calidad del agua (e.g., pH, niveles de contaminantes, temperatura) antes y después de su uso en un proceso industrial y datos de calidad del agua residual tratada y su liberación al medio ambiente.
- Datos operacionales: Horas de operación de sistemas de riego y volúmenes de agua aplicados por hectárea y mediciones del agua utilizada en la limpieza y mantenimiento de equipos industriales.
- Datos de efluentes: Volumen de aguas residua-

les generadas, su composición química y mediciones de flujo de agua en las plantas de tratamiento de efluentes.

Tomando en cuenta estos requerimientos realizamos una revisión exhaustiva de todas las bases de datos disponibles en las siguientes fuentes: Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Datos Abiertos del Gobierno Federal, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); las bases de datos más relevantes para el cálculo de la huella hídrica son las siguientes.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). A través del Sistema Nacional de Información de Agua (SINA) ofrece información geográfica, estadística y documental integrada de todos los aspectos relativos al agua. Aunque no toda la información disponible cuenta con opción para obtener la base datos directa, sí se encuentra información referente a temas de monitoreo y gestión del agua como las principales presas de México (almacenamiento, almacenamiento actual y % de llenado actual), disponibilidad de acuíferos (recarga total anual media, descarga natural comprometida, volumen de extracción de aguas subterráneas, disponibilidad media anual positiva y negativa), calidad de agua subterránea, lótica, léntica, costera (años 2012-2022), cuencas, regiones hidrológicas, volumen de agua para la producción de alimentos 2015 (considera 13 alimentos) e importaciones y exportaciones de agua virtual. Además del SINA, CONAGUA gestiona otras bases de datos a través de otras dependencias como la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua (RENAMECA), el Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS) o Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). Sin embargo, las bases de datos están incompletas o no se encuentra información de todos los años o todos los parámetros requeridos.

Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (INEGI). Entre la información general destacable a la cual se puede acceder, se encuentran indicadores sociodemográficos y económicos por área geográfica (nacional, entidad federativa, municipio o demarcación territorial y localidad) además de los tabulados, publicaciones y servicios disponibles. INEGI cuenta con página para descargar los archivos de información estadística y geográfica con formato de Datos Abiertos, definido en la Norma Técnica para el Acceso y Publicación de Datos Abiertos de la Información Estadística y Geográfica de Interés Nacional. Así también, la sección de publicaciones permite consultar y descargar las publicaciones de distintos temas estadísticos y geográficos.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Dentro de la información disponible útil para comprender el uso del agua, las condiciones climáticas y actividades económicas se encuentra la disponible en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales, que contiene bases de datos estadísticos, cartográficos y documentales que recopilan, organizan y difunden la información sobre los recursos naturales. Algunos datos de importancia disponibles son las estimaciones históricas del balance hidráulico general del país (entradas y salidas de agua superficial tanto de manera natural como las debidas a tratados internacionales) y la disponibilidad natural del agua, sus usos principales y la calidad del agua de lagos y ríos (cargas contaminantes en la desembocadura de los ríos principales del país y descargas contaminantes por tipo de cuerpo receptor de las mismas).

En una primera instancia podría parecer que las bases de datos nacionales son suficientes para evaluar la huella hídrica de un producto o un proceso. No obstante, el ejemplo presentado a continuación vuelve notables las necesidades y limitaciones de las bases de datos para el cálculo de la huella hídrica en un proceso agrícola conforme a los requerimientos de la norma ISO 14046:2014 y el manual desarrollado por la Red de la Huella Hídrica (Aldaya et al., 2012). Elegimos este ejemplo por la versatilidad que permite establecerlo como un referente práctico.

Determinación de la huella hídrica

La evaluación de la HH es iterativa, es decir, las fases individuales de la evaluación utilizan resultados de las otras fases. Como se mencionó anteriormente, se considera la HH verde, azul y gris del uso directo e indirecto de agua. Para fines prácticos de este capítulo, se utilizará el ejemplo de la determinación de la HH de un proceso agrícola.

$$HH_{proc} = HH_{proc,azul} + HH_{proc,verde} + HH_{proc,gris}$$

Para determinar las componentes de HH azul y verde se debe considerar la evapotranspiración, que son el conjunto de procesos de evaporación y transpiración naturales, considerando lo siguiente:

$$HH_{proc,azul} = evaporación\ de\ agua\ azul + incorporación\ de\ agua\ azul + flujo\ de\ retorno\ perdido$$

$$HH_{proc,verde} = evaporación\ de\ agua\ verde + incorporación\ de\ agua\ verde$$

En el caso de la HH gris se deberá calcular el volumen de agua dulce que se necesita para asimilar la carga de contaminantes, L, utilizando como base las concentraciones del contaminante en condiciones naturales, cnat, y los límites establecidos en las normas o legislación de calidad ambiental del agua vigentes en la región de interés, cmáx.

$$HH_{gris} = \frac{L}{c_{máx} - c_{nat}}$$

A continuación, se describe de forma general el cálculo de la HH de un proceso agrícola.

Ejemplo de la evaluación de la huella hídrica de un proceso agrícola

La huella hídrica de un cultivo es el resultado de la suma de las huellas hídricas verde azul y gris. Por un lado, los componentes verde y azul del proceso consideran la evapotranspiración del cultivo, ETc, como función del coeficiente del cultivo, Kc, (características del cultivo y los efectos medios de la evaporación del suelo) y la evapotranspiración de referencia, ETo, (evapotranspiración de un cultivo hipotético de una hierba de referencia que no presente problemas de escasez hídrica).

$$ET_c = K_c \cdot ET_0$$

Para estimar los componentes verde y azul debe considerarse el uso de agua del cultivo, UAC, medio anual durante su ciclo de vida completo (desde el día de la plantación hasta el día de la recolección) divido por el rendimiento del cultivo.

$$HH_{proc,\ azul} = \frac{UAC_{azul}}{R}$$

$$UAC_{azul} = 10\ x \sum_{d=1}^{pcc} ET_{azul}$$

$$HH_{proc,verde} = \frac{UAC_{verde}}{R}$$

$$UAC_{verde} = 10\ x \sum_{d=1}^{pcc} ET_{verde}$$

En el caso del cálculo de la ET_{azul}, se debe determinar la parte correspondiente de agua azul (de la ET_c) y conocer la precipitación efectiva, P_{efec}. De acuerdo con el manual para la evaluación de la HH, la ET_{azul} se calcula como el máximo entre la diferencia de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva.

$$ET_{azul} = \text{máx}(0, ET_c - P_{efec})$$

Mientras que la ET_{verde} se calcula como el mínimo entre la evapotranspiración del cultivo y la precipitación.

$$ET_{verde} = \text{mín}(ET_c, P_{efec})$$

La P_{efec} es la cantidad de lluvia que efectivamente está disponible para el cultivo después de descontar pérdidas por escurrimiento superficial o infiltración profunda.

Un cálculo imprescindible para calcular la HH azul y verde es el valor de la evapotranspiración de referencia, ET_o. El manual establece dos métodos principales para estimar este valor: 1) Software CROPWAT (Smith, 1992) desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y 2) usando las ecuaciones del método Penman-Monteith.

En el caso del uso de CROPWAT, la ET_o se puede estimar usando datos de temperatura máxima ($T_{máx}$), temperatura mínima ($T_{mín}$), humedad relativa (HR), velocidad del viento y horas efectivas de luz solar. Los datos pueden integrase a partir de estaciones meteorológicas locales o a través de

CLIMWAT que ofrece información climática estandarizada y validada por la FAO. Mientras que para el método FAO Penman-Monteith, ET_o se calcula a partir de datos meteorológicos de todos los días que comprende el periodo del cultivo. Cabe destacar que los procedimientos del cálculo con este método permiten estimar ET_o bajo casi todas las circunstancias, incluyendo los casos en que falten ciertos datos climáticos (Allen et al., 1998).

Para ilustrar la naturaleza de los cálculos, se usarán datos para el cálculo de la ET_o de un cultivo de Maíz en la región de Metepec durante el año 2022, considerando un periodo del cultivo del 11 de abril al 31 de agosto utilizando los datos de precipitación, $T_{máx}$ y $T_{mín}$ (de la base datos obtenido del SMN). Se propone un ejemplo en el sector agrícola debido a que el cultivo de Maíz en grano es una de las actividades económicas de importancia en esa comunidad; dando una idea de que, un conocimiento de los hábitos de consumo comunidad y actividades económicas son la base estructural para predecir escenarios de las tendencias de uso de agua a corto, mediano y largo plazo.

Procedimiento general. Los cálculos se hicieron por periodos de 10 días, tal como establece el manual de la FAO.

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273}\,u_2\,(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,u_2)}$$

Δ (delta), pendiente de la curva de presión de vapor, se estimó usando datos $T_{máx}$ y $T_{mín}$ para obtener T_{med}
G, flujo de calor del suelo, se estimó usando el valor 0 por ser escalas cortas de tiempo.

γ, constante psicrométrica, se estimó usando calor específico (1.013X10-3), cociente del peso molecular de vapor de agua (0.622), calor latente de vaporización (2.5 MJ kg^{-1}) y calculando la presión atmosférica (estimada con la elevación msnm).

R_n, radiación neta en la superficie del cultivo, se calculó como la diferencia entre la radiación neta solar (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}).

Para calcular R_{ns} se usó el valor de Albedo, α = 0.23 característico de suelos agrícolas.

La radiación solar, R_s, se calculó derivada de las diferencias térmicas usando el factor K_{Rs} de 0.175 (considerando el valor intermedio entre 0.16 y 0.19 para zonas interiores y costeras respectivamente).

La R_a, radiación extraterrestre, se calculó con la constante solar, G_{sc} = 0.0820 MJ m^{-2} dia^{-1}

La distancia relativa inversa Tierra-Sol, d_r, se calculó usando el número del día del año, J; con J = 101 para el día 11 de abril y J = 243 para el día 31 de agosto.

El ángulo de radiación a la puesta de Sol, ω_s, se calculó usando la latitud de 19.28527778°, que en radianes es 0.33659159.

La declinación solar, δ, se calculó usando el número del día del año, J; con J = 101 para el día 11 de abril y J = 243 para el día 31 de agosto.

La radiación solar neta de onda larga, R_{nl}, se calculó usando la constante de Stefan-Boltzmann, σ = 4.903 x10-9 MJ K^{-4} m^{-2} $día^{-1}$, $T_{máx}$ y $T_{mín}$ en K, presión real de vapor a partir de la $T_{mín}$, la radiación solar, como se describe arriba. Mientras que la radiación solar en un día despejado, Rso, se calculó usando la elevación sobre el nivel del mar, z, de 2668 y el valor de la radiación extraterrestre como se describió anteriormente.

La u_2, velocidad del viento a 2 metros de altura (m/s), por falta de datos, se fijó a 3 m/s para todos los días —que corresponde al parámetro de la FAO para vientos suaves a moderados—.

La e_a, presión de vapor real se obtuvo usando la Tmín como equivalente a la T_{drew} (Temperatura del punto del rocío). Y con $T_{mín}$ también se calculó eso mínima y máxima.

La e_s, presión de vapor de saturación se calculó usando eso mínima y máxima.

Los resultados de la determinación de las HH verde y azul se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del cálculo de HH azul y verde usando el método de Penman-Monteith para estimar ET_o

UAC_{verde} (m³/ha)	UAC_{azul} (m³/ha)	R (ton/ha)	HH_{verde} (m³/t)	HH_{azul} (m³/t)	HH_{v+a} (m³/t)
2005.9	407.8	4.1	489.2	99.5	588.7

Hasta este punto, se han estimado la HH verde y azul del proceso del cultivo de maíz; pero a estos cálculos deben agregarse los resultados de la HH_{gris}, sin embargo, en las bases de datos mexicanas la información sobre la medición de los contaminantes en los cuerpos de agua no está disponible para muchas regiones, por lo que los valores para los cálculos se estimaron a partir de datos generales de aplicación de fertilizantes en todo el Estado de México. El cálculo de HH_{total} de este ejemplo se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Cálculo de HHtotal para el cultivo de maíz en Metepec, Estado de México durante el año 2022.

HH_{verde}	HH_{azul}	HH_{gris}	HH_{total}
	(m³/ton)		
489.2463	99.45933	230.49	819.19563

La estimación de la HH es un proceso complejo que debe estandarizarse para cada caso conforme a las necesidades y características de cada comunidad, así como la información y datos disponibles. Con este sencillo ejercicio del cálculo de HH es evidente que, al menos al momento en que este documento está siendo escrito, existe una gran escasez en información disponible que sea confiable y consistente, particularmente en la disponibilidad de datos meteorológicos (necesarios para el cálculo de la HH_{verde} y azul), los niveles de contaminación generados y las concentraciones reales de los principales contaminantes (datos necesarios para la evaluación de la HH_{gris}).

Como ya se mencionó, uno de los aspectos fundamentales para el cálculo de HH, al menos en cultivos agrícolas, es el cálculo de la evapotranspiración. Una aproximación amigable para el cálculo de la HH, considerando los requisitos descritos previamente, es emplear software de apoyo. Por ejemplo, el Software CROPWAT desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) que permite realizar el cálculo de la evapotranspiración (Hoekstra, 2011).

Usar las fórmulas empíricas podría resultar complejo, sin embargo, este método es más flexible y permite ajustar y adaptar los cálculos conforme las necesidades de cada comunidad. Por esta razón nuestro grupo de trabajo desarrolla algoritmos propios empleando las ecuaciones del método Penman-Monteith y cómputo de alto rendimiento para facilitar los cálculos y desarrollar robustos modelos matemáticos más precisos.

Indicadores económicos relacionados con la huella hídrica

Una vez que pueda estandarizarse el cálculo de la HH conforme a las necesidades de nuestras entidades federativas, las recomendaciones derivadas podrían complementarse conociendo otros parámetros que se incorporarían como parte de la evaluación integral de la HH, por ejemplo, usando indicadores para tener una medida concreta del resultado de las sugerencias hechas después de una determinación inicial de HH, teniendo así no solo referentes del uso de agua sino también un impacto adicional, por ejemplo, el económico.

De acuerdo con la CONAGUA el desarrollo sustentable en materia de recursos hídricos es evaluable mediante criterios e indicadores de carácter hídrico, económico, social y ambiental. Estas unidades de medida deben permitir una estimación concreta del estado hidrológico para tomar las acciones correspondientes y asegurar el equilibrio, aprovechamiento y protección de los recursos hídricos (CONAGUA, 2017). Con el propósito de lograr una evaluación integral de la huella hídrica, en esta sección proponemos algunos indicadores económicos que pueden ser calculados en periodos, meses o años (en función de la información disponible) y que podrán aportar elementos cuantitativos para la toma de decisiones.

Productividad hídrica. Cantidad de bienes o servicios generados por cada unidad de agua utilizada. La productividad hídrica debería medir la relación entre el valor de la producción económica y el volumen de agua utilizada (azul, verde o gris) en un sector específico (agricultura, industria, etc.)

Costo de agua por unidad de producción. Costo total del agua consumida dividido entre las unidades de producción generadas (p. ej., toneladas de cultivo, productos industriales). Podría ayudar a evaluar

la eficiencia en el uso del agua desde una perspectiva de costos.

Proporción de PIB vinculado al uso de agua. Proporción del PIB generado por sectores con alta dependencia agua. Podría identificar sectores vulnerables a cambios en la disponibilidad del agua.

Inversión en infraestructura hídrica (per cápita, sectorial, comunidad). Monto invertido en infraestructura hídrica, por ejemplo, sistemas de distribución, plantas de tratamiento, etc., dividido entre la población beneficiada o por comunidad beneficiada. Se deberían tomar en cuenta las inversiones en nueva infraestructura, así como el mantenimiento de la existente. Podrían generase subindicadores en función de la infraestructura en cuestión.

Costos de tratamiento de agua por producto/servicio. Costos totales del tratamiento de agua contaminada necesaria para producir un producto/servicio. Reflejaría la carga económica que implica mitigar la contaminación del agua generada por un proceso. Podría incluir los costos de operación de plantas de tratamiento, además de los costos de energía o mano de obra.

Costo de tratamiento de agua por litro de agua tratada. Costo del tratamiento de agua por litro de agua; el agua tratada debe alcanzar los estándares de calidad pertinentes. Podría utilizarse para evaluar la eficiencia y sostenibilidad del proceso de tratamiento de agua, siendo útil para comparar diferentes tecnologías o regiones. También podría incluir los costos de operación de plantas de tratamiento, además de los costos de energía o mano de obra.

Costo de acceso al agua per cápita/región. Costo promedio que una persona paga por su consumo de agua potable en una región específica. Ayudaría a evaluar la accesibilidad económica del agua en diferentes regiones, permite identificar inequidades en el acceso al recurso. Se debería incluir el costo de la infraestructura y gastos operativos.

Los indicadores económicos arriba mencionados son solo una propuesta inicial y serán ajustados y perfeccionados conforme al progreso y alcances de *DataAqua*. Además de estar relacionados directamente con los recursos hídricos, estos indicadores proporcionarán una en la estimación concreta del resultado de las medidas y sugerencias hechas después de una determinación inicial de huella hídrica.

El indicador económico "productividad hídrica" (ProHid) por ejemplo, establece la relación entre el valor de la producción económica y el volumen de agua utilizada. La productividad hídrica del maíz para el año 2022 en la comunidad de Metepec se pude calcular conociendo el volumen de agua utilizado para la producción de maíz de ese año que es de 819.19563*4.1 (ver ejemplo en la sección anterior), y sabiendo que esa producción generó $54,621,894; entonces la productividad hídrica para el cultivo de maíz en Metepec, Estado de México durante el año 2022 es igual a:

$$ProHid_{cultivo\ maíz} = \frac{producción}{agua\ utilizada}$$

Es decir que, $16,264.67 indica el valor económico generado por cada m³ de agua en el cultivo de maíz en esa comunidad.

Necesidades evidentes de la gestión inteligente de las bases de datos para el cálculo de la HH

El uso exponencial de las aplicaciones de la ciencia de datos y el cómputo de alto rendimiento ha permeado tanto la industria privada como los entornos académicos. En particular, la gestión de los recursos hídricos puede beneficiarse significativamente de un análisis adecuado de los datos hidrológicos (Tarboton et al., 2024). Continuando con esta idea, es posible usar la información y bases de datos relacionadas con los recursos hídricos para realizar un análisis exploratorio de datos y desarrollar modelos predictivos que optimicen el uso del agua. El reconocimiento de patrones de consumo, la identificación de áreas críticas y la determinación de momentos de alta demanda contribuirán al diseño de estrategias que reduzcan la huella hídrica en diversas comunidades de México. Sin embargo, la calidad y tipo de datos deben ser suficientemente claros para asegurar que las recomendaciones derivadas de la evaluación de la huella hídrica sean confiables. Para llevar a cabo esta optimización en diferentes sectores, es crucial contar con información básica, concreta y certera sobre el consumo de agua residencial, agrícola e industrial, suministro

público y datos meteorológicos. cálculo de la HH de un proceso agrícola.

Recomendaciones generales para reducir la Huella Hídrica

Cada acción que se haga o deje de hacer (como individuo, como productor, como empresario) impacta directamente en el consumo del recurso hídrico. Baste recordar que para cada producto consumido o servicio usado existe una huella hídrica del proceso de ese producto o servicio (ISO, 2006; ISO, 2014); entonces, reducir el consumo de ciertos productos o servicios implica la reducción del uso hídrico, es decir, una reducción en la huella hídrica.

Existen actividades ampliamente documentadas que reducen la huella hídrica individual o de una comunidad, como reducir el consumo de carne o productos de origen animal (Water Footprint Network, s.f.) o regar el jardín o un cultivo en horas donde la radiación solar es mínima (McKenzie, 2017). Además, existen muchas otras actividades que pueden reducir la huella hídrica que aún no están documentadas. Por un lado, porque no se conocen con precisión los patrones de consumo de agua, que son diferentes en cada región o comunidad; y segundo, porque no existe un método preciso y dinámico que pueda ajustarse conforme a necesidades particulares para realizar esos cálculos.

Conclusiones

Ante la crítica situación de estrés hídrico que enfrentamos en la región y el país, resulta prioritario una gestión eficiente que posibilite medir el consumo de agua de forma más precisa. Inherente a lo anterior, urge conocer –de forma profunda y puntual– los hábitos de consumo por comunidad y actividad económica, ya que esto será la base para predecir escenarios de las tendencias a corto, mediano y largo plazo. Las metas del proyecto DataAqua contemplan crear un protocolo actualizado basado en normas internacionales -congruente con el contexto estatal y nacional- que sea directriz para la recolección, limpieza, procesamiento, exploración, segmentación, validación y analítica de los datos. Es evidente que el proceso demandará una gran cantidad sin precedente de recursos computacionales y que los modelos creados exclusivamente para el análisis y predicción de la HH deben ser muy precisos, pero debemos aceptar el reto, porque la escasez de agua podría paralizar toda actividad económica y generar problemáticas tan severas que pondrían en riesgo la trascendencia de nuestra sociedad.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 3. Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo con lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Falta de datos meteorológicos para el cálculo de HH	Estimación de HH usando datos satelitales, bases de datos internacionales o usando datos estimados con inteligencia artificial y cómputo de alto rendimiento
Complejidad de los datos implicados en el cálculo de HH	Uso de cómputo de alto rendimiento para facilitar los cálculos y desarrollo de robustos modelos matemáticos más precisos
Falta de procesos claros para estimación de HH en la entidad	Diseño y publicación de un método estandarizado y pertinente conforme a las necesidades de cada comunidad

Referencias bibliográficas

Aldaya, M. M., Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The Water Footprint Assessment Manual : Setting the Global Standard. The Water Footprint Assessment Manual. https://doi.org/10.4324/9781849775526

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8802ddc9-86b6-4f13-96b7-4871dd3aee65/content

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2017). Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. SGJ-1-17.pdf (conagua.gob.mx)

International Standard Organization (ISO). (2006). ISO 14044:2006 Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Requisitos y directrices.

International Standard Organization (ISO). (2014). ISO 14046:2014(es) Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices. https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). Manual de

evaluación de la huella hídrica Establecimiento del estándar mundial. Water Footprint Network.

Keskin, B., Ersahin, M. E., Ozgun, H., & Koyuncu, I. (2021). Pilot and full-scale applications of membrane processes for textile wastewater treatment: A critical review. In Journal of Water Process Engineering (Vol. 42). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102172

Kuzma, S., Saccoccia, L., & Marlena Chertock, M. (2023). Aqueduct 4.0: Updated Decision-Relevant Global Water Risk Indicators. https://reliefweb.int/report/world/aqueduct-40-updated-decision-relevant-global-water-risk-indicators?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA-vOsBhAAEiwAIWR0TWJuFiO-1twTcQoCy8vPmc33dkcLVn4qjBF4DMA6dtAxCQUSypkwBKRoC1LkQAvD_BwE

McKenzie, R. (22 de noviembre de 2017). Understanding the effects of sunlight, temperature and precipitation. Top Crop Manager. https://www.topcropmanager.com/back-to-basics-20879/

Smith, M. (1992). CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Symeonidou, S., & Vagiona, D. (2018). The role of the water footprint in the context of green marketing. Environmental Science and Pollution Research International, 25(27), 26837–26849. https://doi.org/10.1007/S11356-018-1838-0

Tarboton, D. G., Ames, D. P., Horsburgh, J. S., Goodall, J. L., Couch, A., Hooper, R., Bales, J., Wang, S., Castronova, A., Seul, M., Idaszak, R., Li, Z., Dash, P., Black, S., Ramirez, M., Yi, H., Calloway, C., & Cogswell, C. (2024). HydroShare retrospective: Science and technology advances of a comprehensive data and model publication environment for the water science domain. Environmental Modelling & Software, 172, 105902. https://doi.org/10.1016/J.ENVSOFT.2023.105902

United Nations (UN). 2023. Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Edición Especial. Jennifer Ross (Ed.).

Warner, J. F., & Meissner, R. (2021). Cape Town's "Day Zero" water crisis: A manufactured media event? International Journal of Disaster Risk Reduction, 64, 102481. https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2021.102481

Water Footprint Network. (s.f.). Do you know how much water was used to grow your food and to produce your clothes and the things you buy? https://www.waterfootprint.org/time-for-action/what-can-consumers-do/

15 REGATEC, propuesta de un monitoreo del uso del agua para un consumo responsable en Zacapoaxtla, Puebla.

Lourdes Becerra García[1]

[1]Instituto Tecnológico Superior de Zacapoaxtla (*autor de correspondencia: lourdes.bg@zacapoaxtla.tecnm.mx)
Universidad Autónoma del Estado de México (*autor de correspondencia: dog@uaemex.mx).

Resumen

El presente artículo se basa en información arrojada de un censo que se hizo en la zona centro del Municipio de Zacapoaxtla, Puebla y de sus colonias cercanas, donde se ha descubierto un consumo de agua irresponsable principalmente por el desconocimiento de litros gastados de agua, específicamente en el área de la ducha. De allí nace la propuesta que tiene por nombre REGATEC, que consiste en una regadera inteligente que puede monitorear el consumo de agua en el área de la ducha de a través del uso de sensores de flujo de agua. REGATEC también propone que los datos arrojados por los sensores den a conocer a través de una pantalla LCD, la cantidad de litros exactos que se consumen, el tiempo transcurrido de la ducha y el cálculo en pesos que representa el gasto económico que implica tener la regadera en función. Con esta propuesta se espera que, con datos más claros de consumo, en un futuro se fomente un ahorro de agua en la comunidad.

Introducción

La Ciudad de Zacapoaxtla tiene su nombre en los radicales nahuas Zacatl que significa “paja” o “zacate”, póhuatl que significa “contar” y tlan cuyo significado es “lugar”, en conjunto significa: “lugar donde se cuenta el zacate”, pertenece a la Sierra Madre Oriental localizada en la sierra Norte del Estado de Puebla. Sus corrientes principales de agua que abastecen a todo el Municipio son: los ríos Apulco, Ahuacatlán, Huichautla, Hueyateno y Ochiatenco. (Pérez-Bravo, 2010). Sin embargo, el abastecimiento de agua por parte de sus ríos es cada vez más escaso (SOMAPAZ, 2024), por lo que la iniciativa de REGATEC nace bajo las siguientes motivaciones: en primer lugar, se ha demostrado que, el desconocimiento del consumo de agua en los hogares encuestados de Zacapoaxtla, ha llevado a un desperdicio innecesario de agua. En segundo lugar, la posibilidad de monitorear el gasto del agua con herramientas instaladas en la ducha que son económicas, resistentes y poco contaminantes, puede contribuir a fomentar un consumo más responsable de este vital recurso.

Por ende, se plantean tres principales objetivos:

a. Censar la cantidad exacta de litros de agua que pasan por el tubo de la regadera, con el uso de un caudalímetro instalado en la tubería, para monitorear el consumo de agua en el área de la ducha.
b. Enviar datos del sensor de flujo de agua a una pantalla colocada cerca de la regadera, a través del uso de una pantalla LCD, con el fin de conocer los litros consumidos, el tiempo transcurrido y el cálculo de gasto de agua en pesos.
c. Tener conocimiento del consumo de agua en el área de la regadera, a través de la instalación de un dispositivo de censado inteligente, que lleve a fomentar un consumo de agua responsable.

Uno de los problemas abordados en este proyecto es que hay una falta de conocimiento de la cantidad de agua que se consume en los hogares de Zacapoaxtla, (Encuesta elaborada por Alejandro Hueyixtahuat Alvarado, septiembre del 2023) y una de sus más preocupantes consecuencias es el desperdicio de agua. Las familias no comprenden la razón de la escasez de agua que se vuelve cada vez más frecuente, pues siendo una Zona tan rica en ríos y manantiales y con las bondades naturales de un clima húmedo, se preguntan por qué falta el agua.

El desconocer la cantidad de agua que se gasta en cada hogar, más el no saber las nuevas condiciones de aumento de la población y cambio climático, son una combinación difícil que ha agravado más el problema, por lo que este proyecto pretende poder concientizar a la población, con el conocimiento de datos reales y precisos que reflejan en conjunto una cultura del gasto de agua que se tiene en cada casa.

Los habitantes de la zona censada en Zacapoaxtla no se preocupan por tener una cultura de ahorro de agua, esto ha dificultado que, se puedan implementar prácticas en los hogares un consumo más responsable, expresando por parte de los ciudadanos ciertas acciones que se creen que son alternativas de solución al problema, como por ejemplo apartar el agua en tambos cuando el agua cae de manera normal.

En entrevistas realizadas en este año, se descubrió que, la manera de pensar y de actuar de la población, influye en cómo se puede concientizar sobre el cuidado del agua, además de que, en los hogares, las familias ni siquiera vislumbran una alternativa viable de solución que los lleve a un consumo más responsable. (Sánchez-Mora, 2024).

En el proyecto REGATEC se ha elegido el uso de un censor de litros de agua, también llamado caudalímetro que mida la cantidad precisa de litros que pasan por la tubería. Se ha elegido también el uso de una placa Arduino[1] que funciona como medio de comunicación y configuración entre el censor y el usuario. Además, se ha implementado al prototipo una pantalla denominada LCD[2] para que muestre en formato de texto simple la información necesaria: número de litros, tiempo transcurrido y un cálculo equivalente de gasto económico de ese uso de agua, este último dato calculado de acuerdo a la tarifa que cobra el Sistema Operador de agua potable y alcantarillado del Municipio de Zacapoaxtla SOMAPAZ de la zona Centro de Zacapoaxtla. (Ver Figura 1, muestra del prototipo armado). Se muestra en la Figura 2 un ejemplo más claro de cómo puede ser la visualización de datos en pantalla LCD.



Figura 1 Ejemplo de muestra del prototipo montado en la regadera.

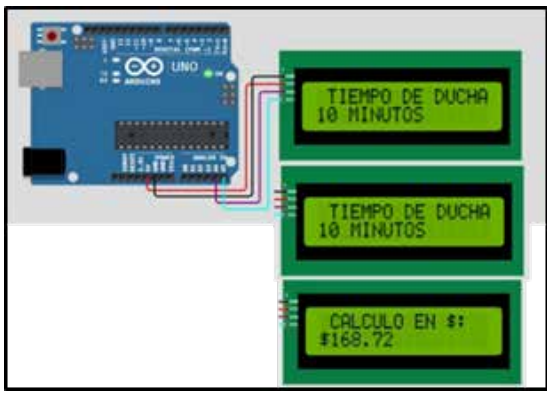


Figura 2 Ejemplo de visualización de datos mostrados en pantalla de la LCD.

Esta propuesta de monitoreo de consumo se hace a través de dispositivos tecnológicos muy simples, pequeños, baratos, duraderos y no invasivos, tal como se describe en la siguiente tabla:
Tabla 1: Lista de características de la tecnología

Característica	Motivo de uso
Tecnología barata	Precio máximo de todo el armado de $1,000
Tecnología reutilizable	Se pueden armar algunas piezas en vez de comprar
De bajo consumo	Un uso de luz eléctrica de máximo 6,4 Wph
Largo tiempo de vida	8 a 10 años
Alternativas sustentables	El prototipo de puede alimentar con uso de panel solar
Uso de Software gratuito	Código en Arduino

A continuación, en la tabla 2, se muestran todas las oportunidades que a su vez son una propuesta de solución a los problemas planteados, que pueden ser una realidad en todos los hogares de la Ciudad.

ARDUINO: Arduino es una plataforma de hardware y software que permite crear proyectos electrónicos de manera fácil y accesible. Está formada por una placa (una pequeña tarjeta de circuito) que se conecta a tu computadora, y un programa (un lenguaje de código) que se usa para darle instrucciones a esa placa. (ARDUINO, 2024)
LCD: Es una pantalla de cristal líquido nombrada por sus siglas en inglés Liquid Crystal Display, que se utiliza para ver imágenes fijas y en movimiento. (UAEH, 2021)

Problemáticas y oportunidades

Tabla 2 Problemáticas y oportunidades para un consumo responsable de agua en los hogares.

Problemáticas	Oportunidades
Existe desconocimiento de los litros de agua que se consumen en el área de la regadera.	Con el apoyo de instrumentos de monitoreo se puede dar a conocer la cantidad de agua consumida en litros, de una forma exacta y automática al momento de hacer funcionar la regadera.
Se desconoce la relación que hay entre el tiempo de uso de la regadera y los litros de agua consumidos.	Con el uso de pantallas LCD se puede tener información del tiempo transcurrido de la ducha y su relación con los litros consumidos.
Se desconoce el monto económico que se genera con cada litro gastado de agua.	REGATEC puede mostrar a los usuarios un cálculo aproximado en pesos equivalente a los litros consumidos de agua.

Como logro hasta el momento de este proyecto es que, con el censor en funcionamiento se ha podido monitorear el número de litros que pasan por la tubería donde se ha montado el prototipo muestra, enviando esta información a la pantalla del computador, como se muestra en la Figura 3.

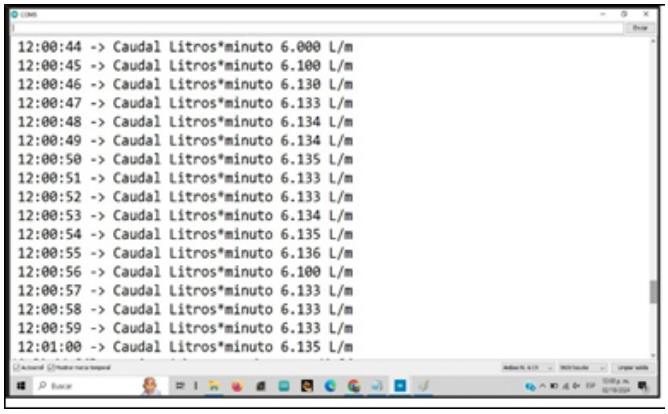


Figura 3 Datos del sensor mostrados en la pantalla del computador.

Las pruebas consistieron en abrir el paso de agua durante 5, 10, 15, 20 y 30 minutos de manera independiente, obteniendo datos correspondientes por separado, en una hora donde el agua llega a la casa con más potencia y calculando de manera automática la cantidad de agua que se gasta en una ducha. Los datos calculados se resumen en la siguiente tabla. (Ver tabla 3)

Tabla 3 Cálculo de litros según sensor en un lapso de 5 a 30 minutos.

Tiempo en minutos	Suma de litros arrojados del sensor
5 minutos	10.355 litros
10 minutos	20.71 litros
15 minutos	31.065 litros
20 minutos	41.42 litros
30 minutos	62.13 litros

Cabe mencionar que, en un estudio previo realizado en la zona, el 73% de los encuestados aseguran bañarse por más de 15 minutos sin cerrar la regadera y el 100% de ellos desconoce cuántos litros de agua se gastan. (Alvarado, 2023). Si esta cantidad de agua consumida por persona en cada ducha, la dimensionamos por al menos 4 integrantes de la familia, estamos hablando del gasto de agua de alrededor de 250 litros al momento de ducharse.

Con esta información que se tiene en esta etapa de pruebas de REGATEC, se puede asegurar que después de cada uso del flujo de agua, se conozcan de manera precisa los litros consumidos de agua y su relación con el tiempo trascurrido de uso del paso de agua constante. Además, si se implementa a esta información, el monto en pesos de ese uso exacto, estamos hablando de que a la población Zacapoaxteca le estamos diciendo exactamente cuánto gasta de agua, en qué tiempo y cuánto le está costando en términos de dinero. Ahora bien, enfocando el proyecto al área de la ducha, que ha sido el área que mayor desinterés de consumo responsable ha presentado, y que es un área de fácil instalación del prototipo, podemos apoyar prácticamente a cualquier ciudadano a fomentar una cultura de consumo responsable con un método barato, simple, automático, preciso e inteligente.

Para concluir, REGATEC tiene mucho potencial, ya que se puede programar para que detecte tantos patrones de uso particular cuantos sean necesarios, y así se pueda, de forma automática, controlar la cantidad de litros consumidos y pueda más adelante sustituir el uso manual de la apertura de la regadera. Apoyando de manera considerable a un consumo responsable de agua en cualquier casa donde esté instalado el prototipo.

Referencias

Alvarado, A. H. (2023). ESTUDIO PREVIO SOBRE CULTURA DE CONSUMO DE AGUA. Zacapoaxtla.

ARDUINO. (2024). STORE ARDUINO. Obtenido de https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3

Becerra-García, L. (octubre de 2024). Simulador LCD Wokwi. Obtenido de https://wokwi.com/projects/339278300160459347

Pérez-Bravo, R. S.-G. (2010). Orquídeas de Las Lomas-La Manzanilla, Sierra Madre Oriental . Puebla, México.: Boletín de la Sociedad Botánica de México.

Sánchez-Mora, M. C. (23 de mayo de 2024). Regatec. (F. M. Martínez, Entrevistador)

SEMARNAT. (2024). SEMARNAT. Obtenido de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/indicadores_verdes17/indicadores/archivos/pdf/04_innovacion/metadatos/V_IEPP_4.3.1_met.pdf

SOMAPAZ. (Octubre de 2024). SOMAPAZ. Obtenido de https://soapamz.gob.mx/rates

UAEH. (2021). ARDUINO tutorial. Multimedia educativa. Obtenido de http://ceca.uaeh.edu.mx/informatica/oas_final/red4_arduino/lcd.html

16 Diversidad de reglas y prácticas locales en la gestión del agua en Morelos: pluralismo jurídico y resistencias cotidianas

Nohora Beatriz Guzmán Ramírez[1]

[1]Universidad Autónoma del Estado de Morelos, nobegura@gmail.com

Resumen

El texto aborda cómo el pluralismo jurídico y las resistencias cotidianas moldean la gestión del agua en Morelos. Las comunidades rurales y urbanas se enfrentan por el acceso al recurso, mientras que las normativas estatales y los usos consuetudinarios coexisten, generando tensiones y perpetuando desigualdades históricas. Revelando que estos procesos son una realidad cotidiana, en el cual conviven sistemas normativos diversos que deben negociarse constantemente frente a las demandas del Estado.

Introducción

El estado de Morelos forma parte de la Megalopolis integrada por la CDMX y el Estado de México, además de los estados de Hidalgo, Puebla, Querétaro y Tlaxcala. Ha recibido la migración del centro del país, de otros estados y del extranjero (INEGI, 2020), que ha encontrado en Morelos un lugar para el turismo y vivir (Sobrino, 2011; Rivera-Sánchez, et.al, 2014). Es así como este estado ha tenido un crecimiento poblacional considerable, y a su vez un proceso de urbanización acelerado en las últimas décadas que ha puesto en la mira la crisis por el manejo y acceso a los recursos naturales. El agua constituye uno de estos recursos que se encuentra en el ojo del huracán principalmente por la contaminación y la disputa urbano-rural.

Desde tiempos prehispánicos, el estado de Morelos ha sido una región agrícola donde el agua ha sido un recurso indispensable. Los sistemas de riego con canales que cruzan las montañas, así como las terrazas agrícolas en los Altos de Morelos son testigos de esta larga historia de manejo del agua. Sin embargo, con la llegada de la colonización española y el establecimiento de las haciendas, se produjo un cambio profundo en las dinámicas sociales, económicas y políticas relacionadas con el uso del agua. Las haciendas monopolizaron este recurso, adaptando la infraestructura hidráulica existente para satisfacer sus necesidades productivas, principalmente en la agricultura y la industria de la caña de azúcar (Von Wobeser, 2011; Von Wobeser, 2011). Este control centralizado del agua provocó numerosos conflictos, no solo entre hacendados y pueblos, sino también entre las mismas comunidades rurales que disputaban el acceso a este recurso vital (Valladares, 2004).

Tras la Revolución Mexicana, la restitución de tierras mediante la creación de ejidos y bienes comunales trajo consigo un nuevo escenario en la gestión del agua (Aboites, 2000). Sin embargo, la infraestructura hidroagrícola, en muchos casos heredada de las haciendas, continuó determinando la distribución del agua, lo que generó conflictos persistentes entre los nuevos usuarios de riego. A pesar del cambio en la propiedad de la tierra, las estructuras de poder que controlaban el agua no se alteraron significativamente, y los usuarios situados aguas abajo seguían siendo desfavorecidos en la distribución del recurso. Este panorama ha sido exacerbado por la creciente urbanización, transformado muchas tierras agrícolas en zonas residenciales y generando aún más competencia por el agua.

El pluralismo jurídico y las resistencias cotidianas son ejes teóricos clave para entender las dinámicas actuales de gestión del agua en Morelos. Para esta reflexión entenderemos el pluralismo jurídico como la coexistencia de múltiples sistemas normativos en un mismo territorio (De Sousa, 2002). En Morelos, esto se manifiesta en la interacción entre las normativas estatales y los sistemas de usos y costumbres que rigen el acceso y la distribución del agua en las comunidades rurales. Las leyes estatales, diseñadas para regular el uso del agua y preservar el recurso, a menudo entran en conflicto con las normas tradicionales de las comunidades, que han gestionado el agua durante siglos mediante acuerdos consuetudinarios basados en la reciprocidad y la equidad (Ocampo-Fletes, et. Al., 2018; Guzmán, 2009).

Por otro lado, asumiremos las resistencias cotidianas como formas sutiles y no organizadas de oposición que los actores sociales utilizan para resistir a las imposiciones de poder (Scott, 2007). En el contexto del agua en Morelos, estas resistencias se expresan en acciones como la modificación de la infraestructura hidráulica por parte de las comunidades, el desvío clandestino de agua o la reinterpretación de las concesiones y derechos de uso en función de las necesidades locales. Estas resistencias no suelen ser confrontaciones abiertas, sino pequeños actos que desafían el control estatal o las políticas externas que alteran las dinámicas tradicionales de gestión.

Actualmente, la situación del agua en Morelos continúa siendo conflictiva. La urbanización ha absorbido muchas tierras de cultivo y ha transformado el uso del agua, que antes estaba destinada principalmente al riego agrícola, para satisfacer las necesidades domésticas de las áreas urbanas en expansión. Este cambio ha generado tensiones entre los usuarios agrícolas y los urbanos, pues el agua, aunque bajo concesiones distintas, sigue siendo objeto de disputa (Guzmán y Guzmán, 2021). Las comunidades rurales, que históricamente han gestionado el agua bajo sistemas de usos y costumbres, ahora se enfrentan a las crecientes demandas urbanas y a las regulaciones estatales que buscan armonizar estos usos.

El objetivo de este ensayo es analizar cómo el pluralismo jurídico y las resistencias cotidianas configuran las dinámicas de gestión del agua en Morelos, particularmente en los conflictos entre el uso agrícola y doméstico del recurso. La hipótesis es que, si bien los sistemas de usos y costumbres han sido esenciales para el manejo del agua desde el periodo posrevolucionario, también han contribuido a perpetuar desigualdades en la distribución del recurso. Además, las resistencias cotidianas han surgido como respuestas locales a estas desigualdades, desafiando las imposiciones estatales y las crecientes presiones urbanas que alteran las formas tradicionales de gestión del agua.

El agua en Morelos

Históricamente, el estado de Morelos ha sido una región agrícola con un fuerte vínculo con la gestión del agua. Desde la época prehispánica, las comunidades desarrollaron avanzados sistemas de riego que les permitieron adaptarse a las características geográficas y climáticas de la región. La construcción de terrazas y canales en terrenos montañosos fue clave para su éxito agrícola, lo que diferenciaba a Morelos de otras zonas de Mesoamérica. Estas infraestructuras se destacaban por su sofisticación técnica, por su interrelación con la organización social y cultural de las comunidades. Por ello el agua, estaba ligada a las prácticas y creencias comunitarias.

La llegada de los colonizadores españoles en el siglo XVI supuso una transformación significativa en la estructura económica y social de Morelos. La expansión de las haciendas, especialmente con la introducción del cultivo de caña de azúcar, implicó una reorganización de los sistemas de riego preexistentes. Los colonizadores adaptaron la infraestructura hidráulica indígena con tecnología europea, como acequias y norias, para abastecer a las plantaciones de caña (Von Mentz, 1997). El control del agua se centralizó en manos de los hacendados, quienes utilizaban este poder no solo para fortalecer su posición económica, sino también como una herramienta de dominación sobre las comunidades indígenas, a menudo desplazándolas y alterando sus formas tradicionales de gestión del agua. Durante este periodo, el agua no solo era utilizada para el riego, sino también como fuente de energía para los ingenios azucareros, consolidando aún más el poder colonial en torno a su control (Latargère, 2023; Guzmán y Guzmán, 2021).

El siglo XIX y principios del XX trajeron consigo la Revolución Mexicana y las reformas agrarias, que supusieron un cambio radical en la propiedad de la tierra y la gestión del agua. La expropiación de las grandes haciendas y la redistribución de tierras en forma de ejidos y pequeñas propiedades democratizó, al menos parcialmente, el acceso al agua (Guzmán, 2009; Latargère, 2023). Las políticas agrarias promovieron la restitución de tierras a las comunidades indígenas y campesinas, favoreciendo la creación de sistemas de riego comunitarios y la revitalización de las prácticas tradicionales de gestión hídrica. La fragmentación de la tierra y la necesidad de coordinar el uso del agua entre los nuevos propietarios generaron conflictos, y las leyes nacionales intentaron regular el recurso.

Durante la segunda mitad del siglo XX, la región de Morelos experimentó una acelerada transformación debido al crecimiento urbano e industrial (Alvarado

y Di Castro, 2011). Las ciudades comenzaron a expandirse y demandaron un suministro constante de agua potable, lo que cambió el enfoque tradicional del agua como un recurso esencialmente agrícola. A medida que la población urbana crecía, también lo hacía la demanda de agua para uso doméstico, y la infraestructura hidráulica tuvo que adaptarse a estas nuevas necesidades. Este cambio en la prioridad del uso del agua generó tensiones entre los sectores agrícolas, industriales y domésticos, sobre todo porque el agua, que antes estaba destinada casi exclusivamente a la agricultura, ahora se disputaba entre diversos usuarios.

Las políticas neoliberales de las últimas décadas, orientadas a la modernización y privatización de los servicios de agua, intensificaron estas tensiones. Movimientos sociales y campesinos emergieron en defensa del derecho al agua y en oposición a las políticas que favorecían los intereses urbanos e industriales sobre los comunitarios y agrícolas. Ejemplos destacados de estas resistencias son el Movimiento en Defensa del Agua de Tepoztlán en la década de 1990 y las protestas contra el Proyecto Integral Morelos en los últimos años. Estas luchas reflejan la resistencia de las comunidades locales ante la privatización del agua y la amenaza a su acceso.

El crecimiento urbano en Morelos ha sido alto, pasando de 272,842 habitantes en 1950 a casi 2 millones en 2020, lo que representa un aumento del 622% en setenta años (INEGI, 2020). Este proceso de urbanización ha alterado drásticamente las dinámicas de gestión del agua, ya que la prioridad ha pasado de las necesidades agrícolas a satisfacer las crecientes demandas de las áreas urbanas (Secretaría de Economía, 2020). La construcción de sistemas de suministro de agua potable y redes de alcantarillado ha sido esencial para el bienestar de la población urbana, pero también ha generado una sobreexplotación de las fuentes de agua, provocando tensiones entre los diferentes sectores que compiten por el recurso.

La competencia por el agua entre los usos agrícolas, industriales y domésticos ha provocado una serie de conflictos a lo largo de las últimas décadas. A medida que la industrialización avanzó, especialmente en las décadas de los setenta y ochenta, incrementaron las cantidades de agua para sus procesos productivos. Esto no solo aumentó la presión sobre las fuentes de agua, sino que también elevó los costos para los agricultores, quienes tuvieron que invertir en tecnologías más eficientes de extracción y distribución de agua para poder continuar con su producción (Guzmán, 2009). También algunas industrias implementaron sistemas de tratamiento de aguas residuales, lo que aumentó sus costos operativos.

Las políticas públicas han jugado un papel crucial en la transformación de la gestión del agua en Morelos. Los proyectos de infraestructura hídrica, como la construcción de presas y acueductos, tuvieron el objetivo de satisfacer la creciente demanda urbana e industrial, pero también alteraron los flujos naturales de agua y afectaron las prácticas agrícolas tradicionales.

Los cambios climáticos también han cambiado los patrones de precipitación, y el aumento de sequías han reducido la disponibilidad de agua tanto superficial como subterránea. Las comunidades rurales, han tenido que adaptarse a esta nueva realidad, implementando prácticas de conservación y uso eficiente del agua. Sin embargo, el acceso al agua potable para la población urbana también se ha visto afectado, aumentando la vulnerabilidad de los grupos más desfavorecidos.

En este contexto, la tecnología y la innovación juegan un papel fundamental. La adopción de técnicas eficientes de riego y el tratamiento de aguas residuales han sido implementadas de manera limitada por los sectores agrícola, urbano e industrial. Sin embargo, la implementación de estas tecnologías ha sido desigual y en muchos casos está limitada por la falta de recursos y acceso a la capacitación.
Actualmente, la disponibilidad de agua en Morelos es un tema crítico. Según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), dos de los cuatro acuíferos principales del estado están en situación de sobreexplotación. La urbanización descontrolada, junto con el estiaje prolongado, ha llevado a una disminución significativa de las reservas de agua, lo que ha afectado tanto a la agricultura como al suministro de agua potable en las ciudades (CONAGUA, 2024). La falta de inversión en la modernización de la infraestructura hidráulica, que en muchos casos tiene más de 40 años, ha provocado un desperdicio significativo de agua, agravando aún más la situación (Domínguez, 2024).

A pesar de estos desafíos, Morelos sigue reflejando dinámicas globales en torno a la gestión del agua. El manejo del agua en Morelos es un ejemplo claro de cómo la historia, la cultura y las políticas públicas interactúan para dar forma a las dinámicas contemporáneas de un recurso vital, cuya gestión será fundamental para el futuro desarrollo de la región.

Expresión histórica del pluralismo jurídico en la gestión del agua

El caso de la Junta de Aguas de la Barranca de la Duraznotla y Las Ventanas es un ejemplo revelador para analizar las tensiones que surgen entre los sistemas normativos comunitarios y la imposición de las normativas estatales en el manejo del agua, un aspecto central del pluralismo jurídico. Esta junta, ubicada en los límites de los estados de Puebla y Morelos, gestionaba tanto el agua para riego como para uso doméstico. Sin embargo, con la formalización de las juntas de agua por el gobierno posrevolucionario en la década de 1920, comenzó un proceso de reorganización y legalización que, aunque buscaba regular y ordenar el uso del recurso, entraba en conflicto con las formas tradicionales de gestión que ya venían funcionando en las comunidades bajo usos y costumbres (Valladares, 2004; Guzmán, 2013).

La creación de la Junta de Aguas de la Barranca de la Duraznotla en 1933 siguió las pautas establecidas por el reglamento del 25 de mayo de 1926, que exigía la constitución de un comité directivo. Sin embargo, el reglamento introdujo formas de organización que diferían significativamente de las prácticas comunitarias tradicionales, lo que generó fricciones y desafíos para los usuarios (Guzmán, 2013). Uno de los puntos críticos fue la exigencia de llevar una contabilidad y realizar cortes de caja, una obligación que no solo contravenía la estructura organizativa tradicional basada en la reciprocidad comunitaria, y que requería conocimientos contables mínimos, no siempre presentes en los miembros del comité.

Así estas juntas operaban simultáneamente bajo dos sistemas normativos: el comunitario, basado en los usos y costumbres que habían regido históricamente la gestión del agua, y el estatal, que imponía reglas formales y procedimientos burocráticos. Mientras el Estado reconocía y legalizaba las juntas, las comunidades seguían practicando, en la medida de lo posible, sus métodos tradicionales (Guzmán, 2006; Guzmán 2009; Estrada, 2004). Esto se puede observar en la forma en que las comunidades resistieron la imposición de normas estatales, como la contabilidad de caja o el trabajo comunitario gratuito, que estaba profundamente arraigado en su organización social.

Esta dinámica entre los sistemas normativos dio lugar a una serie de resistencias cotidianas, que se manifestaron tanto en la forma de rechazo a las normas estatales como en la adaptación de estas a las necesidades locales. Por ejemplo, a pesar de que las juntas estaban legalmente obligadas a cobrar por el servicio de agua, las comunidades se resistieron, manteniendo la práctica de ofrecer el servicio de forma gratuita, como se había hecho tradicionalmente. Este rechazo a la monetización del servicio era una clara manifestación de una resistencia cotidiana, donde las comunidades desafiaban, de manera sutil pero persistente, las normativas impuestas por el Estado (Guzmán Gómez, et.al., 2014).

Otro ejemplo de estas resistencias se observa en la forma en que las comunidades gestionaban la elección de sus representantes. Aunque el reglamento estatal exigía elecciones formales y la aprobación del comité por parte de las autoridades gubernamentales, en la práctica, las comunidades seguían valorando criterios tradicionales de autoridad, como el trabajo y la contribución a la comunidad, sobre las credenciales formales (Guzmán, 2006; Guzmán, 2011). Esta discrepancia entre los criterios de legitimidad comunitaria y estatal generó numerosos conflictos en la designación de los comités, con usuarios que desconocían a los líderes electos formalmente si estos no eran reconocidos por la comunidad.

Uno de los mayores desafíos a los que se enfrentó la Junta de Aguas de la Barranca de la Duraznotla y Las Ventanas fue la resolución de los conflictos entre las comunidades aguas arriba y aguas abajo. Las comunidades situadas en la parte baja de la barranca, como San Francisco Tepango, a menudo denunciaban que se les privaba de agua debido al control ejercido por las comunidades situadas más arriba en el curso del río. Este conflicto es un ejemplo clásico de cómo la desigual distribución del agua, Mientras que el reglamento estatal trataba de regular el uso del agua con criterios universales, las comunidades locales recurrían a sus formas tradicionales de gestión y a estrategias de resistencia para proteger sus derechos sobre el recurso (Guzmán, 2013).

El conflicto entre los pueblos de Hueyapan y San Francisco Tepango por el acceso al agua ilustra las tensiones resultantes de la superposición de normativas. Las comunidades aguas abajo, como Tepango, acusaban a los usuarios de Hueyapan de desviar agua, perjudicando su acceso al recurso (Villagómez, 2024). Aunque el reglamento de la junta de aguas prohibía estas desviaciones, las comunidades aguas arriba, con más poder sobre el recurso, modificaban la infraestructura para asegurarse el acceso preferencial. Este tipo de acción es una forma de resistencia que desafía las imposiciones estatales y refleja cómo las comunidades locales negociaban su acceso al agua dentro del marco del pluralismo jurídico.

La incapacidad del Estado para hacer cumplir las normativas y resolver estos conflictos de manera efectiva también es un tema recurrente en la historia de las juntas de agua. La escasez de personal y la falta de intervención gubernamental en los momentos críticos permitieron que las comunidades continuaran gestionando el recurso según sus propias reglas, lo que a su vez perpetuaba los conflictos y las desigualdades en el acceso al agua.

Conflictos, pluralismo jurídico y resistencias cotidianas

En 1992, la población de Yautepec, Morelos, fue escenario de un intenso conflicto por el control del Comité de Agua Potable, enfrentando a la comunidad local y el gobierno municipal. Este conflicto, que duró alrededor de cuatro meses, derivó en la intervención de grupos armados estatales, la toma de las oficinas municipales y actos violentos, lo que muestra cómo los recursos hídricos pueden ser elementos clave en disputas de poder a nivel local (Guzmán, 2015). Así se hace evidente la coexistencia de diferentes marcos normativos que guían la gestión del agua, lo que se enmarca en la teoría del pluralismo jurídico. Además, las acciones de resistencia de la comunidad frente a las imposiciones del gobierno local reflejan formas de resistencias cotidianas, conceptos que estructuran el análisis de este conflicto (Guzmán, 2006).

Yautepec, ubicada en la cuenca del río del mismo nombre, ha experimentado un crecimiento urbano acelerado desde la década de los cincuenta, lo que ha incrementado la presión sobre los recursos naturales, particularmente el agua. Este crecimiento fue impulsado por la apertura de la Autopista del Sol y por la fuerte migración tras el terremoto de 1985 en la Ciudad de México, lo que convirtió al municipio en un foco de especulación inmobiliaria. Aunque muchas de las nuevas viviendas no son habitadas de forma permanente, su construcción demanda una cantidad significativa de agua para jardines, albercas y otras necesidades de mantenimiento, lo que genera tensiones con los habitantes permanentes, quienes ven reducido su acceso al agua.

El conflicto de 1992 se desarrolló en un contexto de transformaciones en la administración del agua en México, resultado de políticas neoliberales implementadas a nivel federal, como la descentralización del manejo del agua potable. Estas reformas, iniciadas con la modificación del artículo 115 de la Constitución en 1983, transferían la administración del agua potable y el alcantarillado a los municipios. Sin embargo, en la percepción de las comunidades locales, esta política no fue vista como una descentralización, sino como una centralización del poder en manos del Estado (Pineda, 2002).

En este escenario, el pluralismo jurídico se hace evidente, ya que las comunidades locales de Yautepec continuaban manejando el agua bajo sus sistemas de usos y costumbres, mientras que el gobierno estatal y municipal imponían un nuevo marco normativo basado en las reformas de la Ley Estatal de Agua Potable. Este choque entre las normativas comunitarias y estatales generó una resistencia organizada por parte del Comité de Agua de Yautepec, que veía en la descentralización una amenaza al control comunitario sobre el recurso.

El Comité del Agua, conformado por representantes de las colonias de Yautepec, se había fortalecido en la década de los ochenta ante la primera crisis de abastecimiento de agua potable. El crecimiento urbano había dejado sin agua a muchas colonias nuevas, y el comité surgió como respuesta de las comunidades para gestionar el recurso y asegurar el acceso equitativo. Este comité operaba bajo un sistema de gestión comunitaria, donde las decisiones se tomaban en asambleas y los cargos se desempeñaban de manera ad honorem, en una estructura que reflejaba los valores de reciprocidad y trabajo comunitario característicos de las organizaciones locales en Morelos.

Sin embargo, la implementación del decreto 189 en 1992, que establecía el Sistema de Agua Potable de Yautepec bajo el control del gobierno municipal, provocó la radicalización de la resistencia del Comité de Agua. Para la comunidad, la descentralización no representaba una mejora en la eficiencia del servicio, sino un intento de las autoridades municipales y estatales por controlar el recurso en beneficio de los fraccionamientos y la instalación de industrias. La comunidad temía que la creciente urbanización y la industrialización generarían una presión insostenible sobre el recurso hídrico, afectando el acceso al agua de los habitantes de Yautepec.

El gobierno, al promulgar el decreto 189, intentaba hacer valer el principio de que los recursos hídricos eran propiedad de la Nación y debían ser administrados por las autoridades competentes, mientras que la comunidad defendía su derecho local, basado en años de gestión autónoma del recurso.

En respuesta, el Comité del Agua y parte de la población tomaron las instalaciones del ayuntamiento en junio de 1992. Este acto de resistencia fue una forma de desafiar las decisiones del gobierno y reafirmar el control comunitario sobre el agua. En este caso, la toma de las instalaciones municipales fue una manifestación concreta de resistencia, pues no solo era una defensa del recurso hídrico, sino también una lucha por la soberanía comunitaria frente a las decisiones del gobierno.

El conflicto culminó en un plebiscito en septiembre de 1992, donde la población votó en contra de la descentralización, obligando al gobierno a derogar el decreto 189 y a reconocer al Comité del Agua como administrador legítimo del recurso. Este resultado fue un triunfo para las fuerzas comunitarias y una muestra de la capacidad de las comunidades locales para resistir las imposiciones del Estado, manteniendo su autonomía en la gestión del agua.
Este ejemplo muestra cómo el pluralismo jurídico y las resistencias operan en la gestión del agua en Morelos. Mientras que el gobierno intentaba imponer un marco normativo centralizado y tecnocrático, las comunidades locales utilizaron sus formas tradicionales de organización para resistir estas imposiciones, defendiendo su derecho al agua y su capacidad para gestionarla.

Disputas por el agua urbano- rural

Como ya se ha mencionado el Estado de Morelos ha experimentado un crecimiento poblacional y urbano significativo en las últimas décadas (Alvarado y Di Castro, 2011). Este crecimiento, que no se debe únicamente a un aumento demográfico, ha sido impulsado por procesos especulativos en la industria de la construcción, lo que ha generado un fuerte impacto sobre los recursos naturales. A través de un análisis de los procesos que han dado forma al paisaje urbano-rural de la región, es posible entender cómo estos cambios han afectado tanto la gestión del agua como las dinámicas sociales en el estado.

Desde mediados del siglo XX, factores como la apertura de la autopista México-Cuernavaca y el desarrollo de parques industriales han facilitado la expansión urbana en Morelos, particularmente en Cuernavaca, Jiutepec, Temixco y Cuautla. Este crecimiento urbano ha ejercido una presión significativa sobre los recursos naturales y el uso de la tierra, afectando negativamente la agricultura, especialmente en zonas rurales y periurbanas. Un factor clave en este proceso ha sido la especulación inmobiliaria, que ha llevado a la expansión de la mancha urbana sin una adecuada planificación, transformando tierras agrícolas en desarrollos residenciales, y afectando la infraestructura hidráulica.
El pluralismo jurídico es evidente en la gestión del agua en Morelos. Los sistemas de irrigación, como el Distrito de Riego 016, han sido clave para el mantenimiento de la agricultura de riego, pero han enfrentado desafíos significativos debido a la urbanización. Las comunidades rurales, a través de sus juntas de agua y comisariados ejidales.

La resistencia cotidiana de los ejidatarios y agricultores en Morelos se ha manifestado en diversas formas a lo largo de los años. Frente al avance de la urbanización, muchos de ellos han desarrollado estrategias para preservar su estatus como ejidatarios, manteniendo la posesión de algunas parcelas de tierra o de bienes ejidales comunes. Estas estrategias aseguran la representación de los ejidatarios en procesos de negociación con el gobierno, y la participación en la gestión local del agua. Esta forma de resistencia, que busca proteger los derechos colectivos sobre la tierra y los recursos, refleja las dinámicas de resistencia cotidiana descritas por James C. Scott (2007).

Uno de los ejemplos más claros de pluralismo jurídico y resistencias cotidianas en Morelos es la coexistencia entre la agricultura periurbana y la creciente mancha urbana. La infraestructura hidroagrícola se ha visto gravemente deteriorada por el crecimiento urbano, que ha invadido tierras de cultivo y ha generado contaminación en los canales de riego. Este conflicto por el uso del agua y la tierra es una manifestación del choque entre las normativas tradicionales de gestión del recurso y las imposiciones del desarrollo urbano.

La expansión urbana ha transformado áreas rurales en espacios mixtos, donde actividades agrícolas tradicionales, como el cultivo de caña de azúcar y plantas ornamentales, coexisten con desarrollos residenciales de lujo. Estos desarrollos, que responden a la demanda de viviendas turísticas y de alto valor, ejercen una presión adicional sobre los recursos hídricos, particularmente en la infraestructura de riego, que ha sido gravemente afectada por la contaminación y la sobreexplotación. Las comunidades rurales han resistido estos cambios manteniendo sus sistemas de gestión del agua, pero la creciente demanda de agua para uso urbano ha generado conflictos que amenazan la continuidad de estas actividades agrícolas.

El proceso de transferencia de la gestión de los sistemas de riego, iniciado en la década de 1990, es otro ejemplo de la tensión entre los marcos normativos estatales y las formas tradicionales de organización comunitaria. Aunque la mayoría de los módulos del Distrito de Riego 016 han aceptado la transferencia, algunas unidades se han resistido a este proceso, lo que ha llevado a un deterioro de la infraestructura y a una creciente presión sobre los recursos hídricos. En este contexto, las asociaciones de usuarios de riego han desempeñado un papel importante en la gestión del agua y en la defensa de los derechos de los agricultores, resistiendo la centralización del control del agua y exigiendo el cumplimiento de las promesas gubernamentales para el mantenimiento de la infraestructura.

A pesar de los esfuerzos del gobierno para modernizar la gestión del agua y reducir los subsidios a la agricultura, las comunidades rurales han desarrollado nuevas estrategias productivas para adaptarse a las cambiantes condiciones económicas y ambientales. La agricultura periurbana, que incluye el cultivo de plantas ornamentales, ha surgido como una alternativa viable para muchos ejidatarios, quienes han aprovechado la proximidad de las zonas urbanas para diversificar sus actividades económicas y acceder a nuevos mercados.

El caso de Morelos ilustra cómo el pluralismo jurídico y las resistencias cotidianas influyen en la gestión del agua y la tierra en contextos de rápido crecimiento urbano. Las comunidades rurales han resistido las imposiciones del Estado y del sector privado mediante la defensa de sus derechos históricos sobre el agua y la tierra, utilizando estrategias que combinan la organización comunitaria y la adaptación a nuevas formas de producción. Sin embargo, el avance de la urbanización y la presión sobre los recursos naturales plantean grandes desafíos para la continuidad de estas formas de resistencia, y exigen una mayor coordinación entre los actores involucrados para garantizar un uso sostenible de los recursos en el futuro.

Resistencias a políticas gubernamentales

El texto presenta un análisis detallado de la evolución de la política hidroagrícola en México a partir de 1990, con especial énfasis en los procesos de descentralización y autogestión en los sistemas de riego. Los ejes teóricos que estructuran esta discusión incluyen el pluralismo jurídico, las resistencias cotidianas y la relación entre el Estado y las organizaciones campesinas en la gestión de los recursos hídricos.

Pluralismo Jurídico: En el caso de los sistemas de riego en México, especialmente el de El Rodeo, se observa la coexistencia de múltiples marcos legales e institucionales que regulan el acceso y uso del agua. Mientras que la Comisión Nacional del Agua (Conagua) establece normas formales a través de concesiones y tarifas, los ejidatarios y pequeños propietarios, organizados en asociaciones civiles, implementan sus propias reglas para la gestión del agua, a menudo en contradicción con las disposiciones gubernamentales (CONAGUA, 2024). Este es un ejemplo de pluralismo jurídico, donde diferentes sistemas normativos coexisten y a veces chocan. El manejo tradicional del agua basado en la organización ejidal y la autogestión contrasta con las políticas promovidas por el Estado, lo que genera tensiones y conflictos, como se ve en la negativa de los usuarios de El Rodeo a aceptar la transferencia y la consecuente desincorporación del sistema de riego del distrito oficial (Guzmán, 2006).

Resistencias Cotidianas: Este eje teórico, que se refiere a las tácticas sutiles y continuas de resistencia frente a las imposiciones externas, es evidente en la manera en que los agricultores de El Rodeo han manejado la concesión del agua. Aunque el Estado buscaba centralizar y modernizar el manejo de los recursos hídricos, los agricultores han resistido estos cambios mediante estrategias de autogestión y la conservación de sus sistemas tradicionales de organización. Las faenas, el control local sobre los canales de riego y las asambleas de toma de decisiones son prácticas cotidianas que desafían las imposiciones estatales, permitiendo a los ejidatarios mantener cierto grado de autonomía frente a las políticas neoliberales de descentralización.

Relación Estado-campesinos: El caso de El Rodeo también refleja una relación compleja y tensa entre el Estado y los agricultores. A lo largo de la historia del sistema de riego, las políticas gubernamentales han oscilado entre el apoyo a las organizaciones campesinas y su subordinación a las decisiones centralizadas del gobierno. En el caso de la desincorporación de El Rodeo, la negativa de los agricultores a aceptar las condiciones impuestas por la Conagua revela una clara resistencia a la intervención estatal, favoreciendo en su lugar la autogestión. A nivel teórico, este tipo de conflicto se alinea con la idea de que los espacios de poder y control sobre los recursos están en disputa entre los actores locales y las instancias gubernamentales 8Guzmán, 2006).

Finalmente, la historia de El Rodeo también destaca un aspecto importante de la teoría de la autonomía campesina. A pesar de las presiones económicas y las transformaciones socioeconómicas, los agricultores han mantenido su capacidad de organización, lo que ha permitido la supervivencia del sistema de riego. Esto sugiere que, en ciertos contextos, las formas tradicionales de gestión de los recursos pueden ser más efectivas que las estructuras centralizadas impuestas por el Estado, proporcionando un modelo alternativo para la gestión de los bienes comunes en zonas rurales.

Conclusiones

Este análisis pone de relieve la interacción compleja entre las normativas estatales y las tradiciones locales en un contexto marcado por la urbanización, la industrialización y los cambios ambientales.

El pluralismo jurídico es un eje fundamental para entender las disputas por el agua en Morelos, ya que refleja la coexistencia de varios sistemas normativos que regulan el acceso y uso de este recurso vital. Desde tiempos prehispánicos, las comunidades de Morelos han gestionado el agua basándose en normas consuetudinarias que priorizan la reciprocidad y la equidad. Sin embargo, con la llegada de los colonizadores españoles y el posterior establecimiento de las haciendas, se impuso un control centralizado del agua que modificó drásticamente las estructuras de poder locales, privilegiando el uso agrícola e industrial en detrimento de las comunidades rurales.

Esta situación no cambió de manera significativa tras la Revolución Mexicana, a pesar de la redistribución de tierras. Los ejidos y las propiedades comunales heredaron muchas de las infraestructuras de riego de las haciendas, perpetuando las desigualdades en el acceso al agua. En este contexto, el pluralismo jurídico se manifiesta en la interacción conflictiva entre las normativas estatales, que buscan centralizar y modernizar la gestión del agua, y las normas comunitarias, que se mantienen vigentes en la administración de sistemas tradicionales de riego.

A lo largo de las últimas décadas, las políticas neoliberales orientadas a la descentralización y privatización de los recursos han exacerbado estas tensiones. La creación de asociaciones de usuarios de riego, impulsada por el Estado para gestionar de manera más eficiente los sistemas hidráulicos, ha chocado con la resistencia de los ejidatarios y pequeños propietarios, quienes se han organizado para mantener el control local del agua. En algunos casos, como en el sistema de riego de El Rodeo, los usuarios han optado por no aceptar las condiciones impuestas por la CONAGUA, prefiriendo gestionar de manera autónoma sus recursos a pesar de las dificultades económicas que esto conlleva.

Las resistencias cotidianas, otro de los conceptos clave en este análisis, complementan el pluralismo jurídico al mostrar cómo las comunidades locales resisten sutilmente las imposiciones del poder estatal. Estas resistencias no se expresan necesariamente en confrontaciones directas, sino en pequeñas acciones que desafían las normativas externas. En el caso de Morelos, las resistencias cotidianas se observan en la forma en que los agricultores y ejidatarios modifican la infraestructura de riego, desvían clandestinamente agua o reinterpretan las concesiones y derechos de uso según sus necesidades locales. Estos actos, aunque pequeños, reflejan una capacidad de resistencia y adaptación que permite a las comunidades mantener cierto grado de autonomía frente a las políticas centralizadas.

Uno de los desafíos que enfrentan las comunidades rurales de Morelos es la creciente urbanización, que ha transformado muchas tierras agrícolas en zonas residenciales y ha generado una presión adicional sobre los recursos hídricos. La competencia por el agua entre los usuarios agrícolas y los urbanos ha intensificado los conflictos, ya que el agua destinada al riego agrícola ahora se disputa para satisfacer las necesidades domésticas de las áreas urbanas en expansión. Este cambio en el uso del agua ha incrementado las tensiones entre los sistemas tradicionales de gestión, basados en usos y costumbres, y las regulaciones estatales que buscan armonizar los diferentes usos del recurso.

En este sentido, el estudio de la gestión social del agua en Morelos aporta una serie de lecciones importantes para los debates contemporáneos sobre la gobernanza de los recursos naturales. En primer lugar, destaca la importancia de reconocer la diversidad de sistemas normativos que coexisten en los territorios rurales, especialmente en lo que respecta a los recursos hídricos. El pluralismo jurídico no es solo un marco teórico útil, sino una realidad cotidiana para muchas comunidades que deben negociar constantemente entre sus propias tradiciones y las exigencias del Estado.

En segundo lugar, este análisis subraya la necesidad de considerar las resistencias cotidianas como una forma válida y efectiva de oposición frente a las políticas externas. Las comunidades rurales de Morelos han demostrado una notable capacidad para adaptar sus prácticas y mantener el control sobre sus recursos a pesar de las presiones externas, lo que sugiere que las formas tradicionales de gestión pueden ser más resilientes y sostenibles que los modelos impuestos desde fuera.

En tercer lugar, el caso de Morelos plantea preguntas sobre el futuro de la gestión del agua en contextos de creciente urbanización y cambio climático. Las tensiones entre los usos agrícolas y domésticos del agua seguirán intensificándose a medida que las ciudades sigan expandiéndose y los patrones climáticos se vuelvan más impredecibles. En este escenario, será crucial encontrar formas de integrar las diferentes normativas y prácticas de gestión del agua para garantizar un uso equitativo y sostenible del recurso.

Por último, el estudio de la gestión del agua en Morelos revela cómo el pluralismo jurídico y las resistencias cotidianas configuran las dinámicas locales de gobernanza de los recursos. Lejos de ser conceptos abstractos, estos marcos teóricos ofrecen una lente útil para entender las tensiones entre las normativas estatales y las tradiciones locales, así como las estrategias de resistencia que emplean las comunidades rurales para proteger sus derechos y formas de vida. A medida que las presiones sobre el agua continúan aumentando, será cada vez más necesario adoptar enfoques más inclusivos y flexibles para la gestión de este recurso vital, reconociendo la validez de las prácticas tradicionales y buscando formas de integrarlas en las políticas públicas.
Problemas y oportunidades

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo con lo presentado en este capítulo

Problemáticas	Oportunidades
El conflicto entre normativas estatales y sistemas tradicionales de gestión del agua genera tensiones, acentuadas por la sobreexplotación de acuíferos y la creciente demanda urbana sobre recursos agrícolas.	Integrar sistemas tradicionales en la gestión estatal, fortalecer la autogestión comunitaria y promover tecnologías de riego eficiente podrían equilibrar las demandas urbanas y rurales, fomentando una gestión equitativa del agua.

Referencias Bibliográficas

Aboites, L. (2000). El Agua De La Nación: Una Historia Política De México (1888-1946). En An. Antrop, 37, CIESAS, pp. 371-379

Alvarado, C y Di Castro, M. R. (2011) Un acercamiento al fenómeno de la fragmentación socio territorial en la zona noreste y noroeste de la ciudad de Cuernavaca, Morelos. En: Revista Geográfica de América Central. Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica. II Semestre 2011. pp. 1-15

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2024). https://www.gob.mx/conagua/

De Sousa Santos, B. (2002). El derecho y la globalización desde abajo.

Domínguez, E. (2024, 9 de febrero). Ceagua alerta por "grave" escasez de agua en Morelos. El Sol de Cuernavaca. https://www.elsoldecuernavaca.com.mx/local/morelos-en-alerta-por-grave-escasez-de-agua-11418273.html

Estrada, A. y Franco, H. (2004). Entre la ley y la costumbre. El uso y manejo el agua potable en el municipio de Temoaya, Estado de México. Paramo del campo y la ciudad, núm. 7, pp. 123-132.

Guzmán Ramírez, N. (2009). La transformación del ejido y la gestión del agua en el estado de Morelos. Espaciotiempo, 2 (4). Pp.29-40.

Guzmán Ramírez, N. (2006). "El Rodeo", un caso de unida de riego autogestionada. En Boletín del Archivo Histórico del Agua, 34, pp. 48-55. https://biblat.unam.mx/hevila/Boletindelarchivohistoricodelagua/2006/vol11/no34/5.pdf

Guzmán Ramírez, N. (2011). El agua para la agricultura de riego en el estado de Morelos, una historia de conflictos e intereses. Desarrollo, Ambiente y Cultura, Vol. 1, Núm. 0.

Guzmán Ramírez, N. y Guzmán Gómez, E. (2021). Agua, paisaje e impacto ambiental. En Inventio, 8(16), pp. 13-22. https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/382

Guzmán, Nohora (2013). Junta de aguas de la Duraznotla o Las Ventanas. Más de 100 años de historia. En Guzmán Ramírez, N y Sandré, I. (coords.), 100 años de irrigación en México (pp. 193-207). UAEM.

Guzmán Ramírez, N. (2015). En Martínez Omaña, M. C. y Romero Navarrete, L. (coord.), Agua e historia. Experiencias regionales, siglos XIX-XXI, pp. 170-186. Instituto Mora.

INEGI. (2020). Censo de población y vivienda 2020. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

Latargère, J. (2023). Una perspectiva constructivista y cultural de los conflictos por agua en Morelos, México. En Iztapalapa, revista de Ciencias Sociales y Humanidades, núm. 94, año 44, pp. 49-82. https://www.scielo.org.mx/pdf/izta/v44n94/2007-9176-izta-44-94-49.pdf

seOcampo-Fletes, I., Parra-Inzunza, F. y Ruiz-Barbosa, Á. (2018). Derechos al uso de agua y estrategias de apropiación en la región semiárida de Puebla, México. Agricultura, sociedad y desarrollo, vol. 15, n°1, pp. 63-83.

Pineda Pablos, N. (2002). La política urbana de agua potable en México: del centralismo y los subsidios a la municipalización, la autosuficiencia y la privatización. Región y sociedad, vol. 14, n° 24.

Rivera-Sánchez, L., Odgers-Ortiz, O. y Hernández, A. (2014). La migración internacional y la diversificación religiosa en Morelos. Una mirada sociodemográfica. Papeles de población, vol. 20, núm. 80, pp.

Scott, J. (2007). Los dominados y el arte de la resistencia. Ediciones Era.

Secretaría de Economía. (2020). Morelos, entidad federativa. Gobierno de México. https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/geo/morelos-mo

Sobrino, J. (2011). Migración interna en México durante el siglo XX. Consejo Nacional de Población. http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Resource/1503/Migracion_interna_en_Mexico_durante_el_siglo_XX.pdf

Valladares, L. R. (2004). Conflictos hidráulicos en Morelos, México, 1880-1940: De la era de la hacienda al modelo ejidal campesino. En J. Palerm Viqueira, A. Escobar Ohmstede, & J. A. Andrade Galindo (Coords.) Boletín del Archivo Histórico del Agua, (pp. 67-79).

Villagómez Reséndz, Radames. (2024). Conocimiento local y territorialidad en Hueyapan, Morelos, México. Inventio, vol. 20, núm. 50. https://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/959/1167

Von Mentz, B., Scharrer, B., Toussaint, A., & Estrada Cajigal, S. (1997). Haciendas de Morelos. Gobierno del Estado de Morelos.

Von Wobeser, G. (2004) La hacienda azucarera en la época colonial. Segunda edición. Universidad Autónoma de México.

17 Resiliencia hídrica urbana en las ciudades

Marisol González Aguilar1, Arturo Venancio Flores2

1Docente de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma del Estado de México (magonzaleza@uaemex.mx); 2Profesor-Investigador de tiempo completo de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Resumen

Las ciudades a nivel mundial están viviendo una crisis del agua, un problema que no conoce una única fórmula para su atención y solución. La creciente escasez del recurso hídrico ha provocado que la distribución del agua beneficie a las ciudades, dejando a la población de las periferias sin acceso al recurso.

El siguiente texto aborda la importancia de la resiliencia hídrica en la gestión integral del agua, para lograr que las grandes metrópolis y las comunidades garanticen la accesibilidad al recurso hídrico. Los hallazgos son bajo un análisis teórico del concepto de la resiliencia y su relación con el agua, una mirada para trabajar por ciudades y comunidades resilientes a la escasez del agua que se vive a nivel mundial.

Existe una responsabilidad por parte de todos los actores involucrados en la gestión del agua, es necesario plantear las estrategias que garanticen atender las necesidades de acceso al agua en la megalópolis.

Introducción

La complejidad de las ciudades radica en sus componentes, que son muy diversos, entre los que se encuentran los de tipo ambiental. Existen en la historia casos de grandes civilizaciones que entraron en decadencia por las fallas en sus sistemas, siendo el sistema hídrico uno de los más afectados, que trae como consecuencia problemas a la población. Una de las interrogantes actuales, es ¿Cómo abastecer a las megalópolis de agua?, la discusión se centra en la escasez, sin embargo, deben de abordarse también las propuestas para los próximos años en donde la megalópolis concentrara a mayor población.

De acuerdo con la Guía de Acción Climática para Planificadores Urbanos del año 2024, las ciudades están en la primera línea de la crisis climática. Es evidente que son las ciudades y sus habitantes quienes sufren los impactos del cambio climático, uno de los principales y más preocupantes por atender, es el acceso al agua en las grandes ciudades.

Es momento de preguntar ¿Qué acciones se realizan para garantizar el acceso al agua en las megalópolis?, quizá la respuesta ponga a dudar a los gobiernos de las ciudades y es que, se ha buscado el poder económico en dichas ciudades, pero no se han concentrado en atender a las grandes poblaciones que son afectadas ante la crisis del agua. Aumentar la resiliencia de las ciudades es lograr que resistan y estén preparadas para hacer frente a los cambios que están sufriendo de manera constante, uno de ellos es la falta de agua. Es una necesidad actuar ante el panorama de escasez del agua en las ciudades.

Es a través de la resiliencia hídrica, que se busca un nuevo enfoque a la gestión del recurso hídrico, que sea favorable para los escenarios presentes y futuros, que traen consigo escasez del vital líquido para abastecer a las ciudades y comunidades. Los problemas ambientales de las metrópolis, actualmente se centran en el abastecimiento de agua para los habitantes, esto debido a que en estos espacios es en donde se concentran la mayoría de las actividades económicas y que además son de suma importancia para la generación de empleos y espacios de recreación de tipo social y cultural.

Para poder gestionar el recurso hídrico en las ciudades es necesario que exista una estructura de gobernanza que no solo sea a una escala metropolitana, si no que logre sus funciones más allá de los límites territoriales y de tipo político – administrativos. Es así como la gestión del agua debe existir en las ciudades y comunidades rurales de manera igualitaria y justa para los habitantes, en donde se atiendan las necesidades y no exista desigualdad hídrica.

Las cifras a nivel mundial estiman que para el año 2030 el 60% de la población vivirá en las ciudades (ONU- Habitat, 2022), esto a su vez se refleja en una mayor demanda de recursos, entre ellos el agua.

Referentes teóricos de la resiliencia

A lo largo del tiempo la perspectiva que ha tenido el concepto de resiliencia es cada vez más vinculado a los sistemas sociales y ecológicos. De acuerdo con Folke (2006) la resiliencia es entendida como aquella capacidad de los sistemas (sociales o biofísicos) de persistir ante una perturbación, logrando adaptarse al cambio, y del mismo modo, transformarse, dando paso a una nueva configuración del sistema y de sus funciones.

El concepto de la resiliencia fue introducido en términos ecológicos por Crawford Holling (1973), con el propósito de entender los procesos a través de los cuales los ecosistemas logran persistir ante las perturbaciones y los cambios. En este contexto, el significado ecológico original de la resiliencia se centra en la persistencia de una población o comunidad a nivel de ecosistema. Con el paso del tiempo, la resiliencia ha sido redefinida y ampliada en las distintas disciplinas, como lo fue en el campo del urbanismo. Del mismo modo, el concepto es usado en varias disciplinas científicas y con enfoque en los sistemas ecológicos y socioecológicos (Anderies, 2006).

Diversos autores han logrado establecer el significado desde la ecología para la resiliencia, el cual se puede definir de tres principales maneras: la primera es que la cantidad de cambio que un sistema sufre y el mismo tiempo logra mantenerse en su estructura y su proceso; otro de ellos es la característica de un sistema que tiene la capacidad de lograr auto organizarse. La última característica, y no menos importante, es aquella que menciona el grado en el que un sistema logra adaptarse y al mismo tiempo aprender de un colapso (Folke, 2006).

Se define que el concepto de resiliencia aplicado a los sistemas sociales es la capacidad de un grupo o comunidades para hacer frente a tensiones y perturbaciones externas como el resultado de cambios de carácter social, político y ambiental (Adger, 2000).

Del mismo modo el autor menciona que la resiliencia socio ecológica brinda una capacidad a los sistemas de lograr absorber una perturbación recurrente y al mismo tiempo retener en el proceso, para lograr llevar una retroalimentación. Se puede definir que la resiliencia cada vez más se está viendo desde una perspectiva en la cual se logra analizar a un sistema.

Dicho lo anterior, es momento de poder establecer qué implica para la gestión del recurso hídrico en las megalópolis la resiliencia hídrica, pero antes de llegar al concepto debe de analizarse a la resiliencia desde sus aportes al urbanismo lo cual se especifica en los siguientes renglones.

Resiliencia urbana

Hablar de la resiliencia urbana es reconocer la importancia de aumentar la resiliencia para las ciudades, esto implica establecer estrategias no sólo en materia del agua, sino también en atender a las diferentes perturbaciones y transformaciones que acontecen en la ciudad.

Para que en el futuro las ciudades logren tener una capacidad adaptativa al agua, es necesario que exista un aprendizaje y opciones de un adecuado desarrollo para la gestión integral del agua. A continuación, se muestra el antecedente teórico de la resiliencia urbana y su relación con las ciudades.

La resiliencia urbana, o resiliencia en las ciudades, comenzó su aparición a nivel internacional, con organizaciones que ejercen su difusión, como lo son Resilience Alliance, Community y Regional Resilience Institute, Resilient City y Building Resilient Regions, por mencionar sólo algunas de carácter internacional, sin embargo, los últimos diez años han sido de vital importancia ya que ha logrado un desarrollo que se prevé vaya en expansión a nivel mundial.

Para Polése (2010), define a la resiliencia urbana, como la capacidad de las economías locales para transformarse frente a los shocks tecnológicos que socavan su base económica preguntándose, en esencia, sobre cómo reinventar sus economías, de este modo se alude a una perspectiva amplia de adaptabilidad.

La literatura sobre la resiliencia urbana, muestran diversas definiciones, entre las que destaca también la definición de ciudad resiliente, la cual se define como: aquella que está preparada para absorber y recuperarse de cualquier choque o estrés durante el mantenimiento conservando sus funciones esenciales, estructuras e identidad. Construir resiliencia requiere identificar y evaluar los peligros, reduciendo la vulnerabilidad y exposición, contando con una resistencia creciente y capacidad adaptativa (Guerrero, 2019).

En los estudios urbanos, la resiliencia se relacionó con la reducción de riesgos de desastres y la adaptación al cambio climático, buscando que las ciudades lograran hacer frente a los peligros. Es así como el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat, 2016) define la resiliencia urbana como, la capacidad de los sistemas urbanos para recuperarse rápidamente de algún evento que sea ocasionado por un fenómeno de carácter natural o antrópico.

La cual tiene como propósito hacer que este evento cause daños y desastres en el lugar, de esta forma se reducen los daños materiales y se mantiene la continuidad y funcionalidad de las ciudades ante una crisis.

En el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres, se define a la resiliencia como la capacidad que tiene un sistema, una comunidad o una sociedad expuestos ante una amenaza, para resistir, absorber, adaptarse, transformarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficiente, en particular mediante la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas mediante la gestión de riesgos (UNISDR, 2017).

De acuerdo con la Resilience Alliance (2002), definir a la resiliencia es poder describirla a través de tres características básicas que son las siguientes:

- Una es la cantidad de cambio o transformaciones que un sistema complejo puede soportar manteniendo las mismas propiedades funcionales y estructurales,
- La segunda es el grado en el que el sistema es capaz de autoorganizarse,
- La tercera corresponde a la habilidad del sistema complejo para desarrollar e incrementar la capacidad de aprender, innovar y adaptarse.

La resiliencia se puede entender cómo lo inverso a la vulnerabilidad, en términos que se intenta destacar los elementos positivos de la población para enfrentar una adversidad: grado de cómo se organizan, se preparan y tienen los recursos necesarios, no desde la mirada del riesgo que expone la marginación y pobreza.

Una vez conocidos los conceptos de resiliencia, y su enfoque en los riesgos, queda claro que la mayoría toma en cuenta la capacidad de gestionar la amplia gama de choques y tensiones que puede ocurrir en una ciudad, no hay una estándar de la definición.

El enfoque de la resiliencia urbana está dado principalmente a las problemáticas que se dan en las ciudades, ocasionadas por distintos factores, entre ellos entra la escasez del agua, el cual se abordará en este texto. Es importante mencionar que el término de resiliencia es cercano a la capacidad adaptativa esto es, la capacidad de vivir y reproducirse en diversos contextos ambientales, mejorando las condiciones de una especie, individuo o población, incluso ante la ausencia de cambios (Henríquez, 2016).

Si bien es cierto que la evolución de la resiliencia ha sido constante, la incorporación de este en los instrumentos que rigen a nivel nacional, estatal y municipal, aún tienen mucho por desarrollar, de tal modo que se busca aportar en términos urbanos a la resiliencia y lograr que se tengan mejores resultados en las ciudades.

La resiliencia urbana vista desde las ciudades debe plantear las estrategias para lograr que en un sistema se tengan los menores impactos ante una situación de estrés hídrico. Aumentar la resiliencia en las ciudades significa que se deben reducir las brechas de desigualdad que existen entre las personas que habitan en los centros urbanos y la población de las comunidades en las periferias. De acuerdo con ONU- Habitat (2018), la resiliencia debe ayudar a reducir los riesgos en las ciudades y ayudar a disminuir la fragilidad del territorio.

Visibilizar la injusticia territorial que vive la población que habita en las zonas rurales, es también generar una estrategia para que se garantice su acceso al agua, ser resiliente no sólo en la ciudad, sino también en la comunidad.

Ante los desafíos hídricos que se presentan a nivel mundial y la vulnerabilidad de la población a encontrarse en una situación de escasez de agua, debe llamar la atención de la academia, el sector gubernamental y social, el propiciar las condiciones para garantizar el acceso al agua, bajo una gestión integral tomando en consideración el crecimiento demográfico desmedido de los últimos años, que ha traído consigo el aumento de las demandas de la población para abastecerse del servicio de agua potable.

Por otro lado, la preocupación de saber si verdaderamente en el futuro se va a garantizar el acceso al agua, se requiere de gobiernos con una visión integral y llevar a cabo acciones intersectoriales que mitiguen los impactos hídricos afectarán a la población más vulnerable.

Resiliencia en los recursos hídricos

Lograr integrar el concepto de la resiliencia, la resiliencia urbana, la resiliencia y los recursos hídricos, es permitir qué se visualice al agua no sólo como una amenaza en las ciudades ante los fenómenos perturbadores, sino más bien, encontrar la capacidad de hacer frente y desafiar con éxito la problemática de la demanda del agua, que día a día miles de personas padecen.

La resiliencia se ha introducido en el campo de los recursos hídricos desde el comienzo de este Siglo. No obstante, Yu (2007), hizo una evaluación de la resiliencia del agua para la provincia de Shanxi en China, sobre la cual se aborda el concepto de resiliencia de los recursos hídricos y sus características, sin embargo, todavía hay relativamente pocos artículos de investigación sobre resiliencia regional de los recursos hídricos.

Existen diversos autores que coinciden en que se debe aumentar la resiliencia del agua, en específico la gestión (Johannessen y Wamsler, 2017), sin embargo, hasta la actualidad existe muy poca visión de las estrategias que coadyuben a aumentar la resiliencia de los sistemas del agua. De acuerdo con Walker y Salt (2012), para lograr evaluar la resiliencia del agua es necesario que se definan en primera instancia los límites del sistema y las perturbaciones a las cuales se está expuesta.

Ante esta situación de tener que definir los límites de un sistema, hablar de la megalópolis implica reconocer que se conforma no sólo del territorio urbano, este va más allá de los lugares que cuentan con infraestructura para abastecerse del servicio del agua potable, debido a que también se incluye las comunidades y los asentamientos humanos que se encuentran en la periferia, mismos que están sufriendo la escasez del agua en un panorama perturbador y que a futuro se vislumbra sea aún mayor. Dicho lo anterior, Howe (2011), menciona que es un reto tener que establecer las limitantes que conforman un sistema urbano, encuentra la complejidad debida a que el agua tiene diferentes escalas y estas pueden estar dadas dependiendo quien haga su uso, pueden ser los hogares, usuarios, comunidades, instituciones, sólo por mencionar algunos de ellos.

Entender el sistema del agua, es comprender que se compone de la cantidad que existe de infraestructura en una ciudad, pero también puede ser comprendida por el sistema qué existe de alcantarillado y distribución del agua sin importar la forma de abastecimiento del recurso hídrico.

Ante el contexto actual de la crisis del agua en México y a nivel mundial, es necesario que se analicen los sistemas naturales que existen y su conexión con los recursos hídricos, esto con el propósito de identificar las afectaciones qué se tienen a nivel ambiental. En el análisis y reporte de CONAGUA (2024), se visualiza que las presas se encuentran en números rojos para el país y la zona centro es una de las más afectadas.

Resiliencia hídrica

La complejidad de los sistemas del agua ha hecho que sea un desafío establecer y contribuir una definición propia de la resiliencia hídrica, sin embargo, es necesario que las ciudades aumenten su capacidad para atender y hacer frente al incertidumbre qué existe la escasez del agua, lo cual afecta y deja vulnerable a los habitantes de la megalópolis y las comunidades.

El enfoque de la resiliencia hídrica surge con el objetivo de ayudar a que las ciudades, logren desarrollar la capacidad de soportar, adaptarse y transformase ante los nuevos desafíos que surgen por la escasez del agua (CWRA,2019). Es necesario que se tenga una adecuada planificación de la distribución del agua, debido a que cada vez es más insostenible abastecer a una población urbanizada y con mayores necesidades de un recurso que se está agotando.

Esta necesidad de la gestión del agua se denota más preocupante en las zonas urbanas, las cuales buscan cada vez dar servicio de abastecimiento a más población, la cual ya no garantiza que sea adecuada y de calidad ante los crecientes problemas y desafíos que este recurso representa.

Los problemas que provoca el cambio climático en las ciudades deben ser afrontados desde la escasez del recurso, debido a que el agua juega un papel importante en los sistemas ecológicos.

A lo largo del tiempo el agua ha tenido un papel importante al lograr que los sistemas ecológicos se mantengan estables lo que al mismo tiempo ha permitido que se brinde un servicio estable del agua, pero ante los efectos del cambio climático estos ciclos se han alterado, entre ellos el ciclo hidrológico, mismo que ha tenido que adaptarse ante las transformaciones que ha sufrido el planeta. De acuerdo con la UNICEF (2024), el cambio climático está afectando la disponibilidad del agua, provocando una escasez del recurso y también la contaminación impacta cada vez más en el agua, afectando de manera drástica la cantidad y calidad del agua. Actualmente la resiliencia hídrica se puede determinar como un conocimiento y concepto de frontera que permite a las comunidades y las ciudades lograr tener una relación adecuada para la gestión integral del agua.

De manera general el pensamiento de la resiliencia y su relación con el agua se ha aplicado en diferentes prácticas, lo que implica un reconocimiento de qué esta estrategia permite que la gestión de los recursos hídricos destaque en varios sectores, al mismo tiempo que contribuye a los ecosistemas.

Ante el panorama mundial que existe de la escasez del agua, la resiliencia hídrica busca lograr dar una capacidad de sobrevivir y así hacer frente a la crisis del agua. Para esto es indispensable que los actores del agua participen en sus diferentes niveles, ya que son ellos los que establecen la dinámica de trabajo y el proceso para la gestión del recurso hídrico. Frente a la crisis del agua esto sólo es posible sí también se logra una buena coordinación en la gobernanza de la gestión del agua en el territorio.

Debe existir una transformación en los sistemas para lograr que las instituciones hagan frente a esta incertidumbre de escasez que prevalece y de esta manera se atienda para la población, debido a qué es compleja la gestión del recurso, pero al mismo tiempo es un tema emergente que debe de atenderse.

La resiliencia del agua ya no es sólo un tema del agua, esta mirada debe ir más allá y enfocarse en las consecuencias del cambio climático, el consumismo que existe en las ciudades, así como las actividades económicas que en ella se desempeñan. Ser un gestor del agua actualmente implica ir más allá de la administración territorial del agua, es tener una mirada qué aborde los enfoques de las comunidades para construir un futuro más resiliente en materia de recursos hídricos, logrando establecer estrategias que se destaquen en cada sector y estas no necesariamente van a ser las mismas para todos, teniendo en consideración que la gestión del recurso hídrico es instinto en las ciudades y las comunidades.

Hablar de sistemas hídricos implica reconocer que no existe una sola receta, ni fórmula que de manera mágica resuelva el problema (Perló, 2018). Particularmente la población que se asienta a las afueras de las ciudades es la menos beneficiada con el servicio de agua, y es que, aun que se manifieste que existen tendidos de red hidráulica en toda la ciudad, las zonas aledañas carecen del servicio. Por lo cual debe de atenderse ese problema no solo través de indicadores de líneas de distribución, si no más allá de todo lo que involucra el abastecimiento de agua.

¿Existe Resiliencia Hídrica en las Megalópolis?

Las grandes urbes superan la capacidad de poder abastecer a la población del servicio de agua potable. En ellas se acumulan grandes flujos de actividades que al mismo tiempo generan problemáticas, una es el incremento del servicio de agua a los ciudadanos y la nula capacidad de poder abastecer a la población.

Entender a la megalópolis constituye la necesidad de atender no solo a las zonas urbanas, va más allá del límite territorial y debe atender el territorio rural ante la intensa crisis del agua que se vive en todo el territorio. La complejidad que existe en las grandes áreas urbanas para acceder al recurso hídrico lleva también a una sobreexplotación de los mantos acuíferos, que a su vez ha ido afectando la cantidad y calidad del agua.

Entre más crece la mancha urbana, se deben dimensionar las atenciones a los problemas hídricos como una forma eficaz de coordinar y garantizar atención a un problema que no es menor al ser un derecho humano al que todo ciudadano debería tener acceso y que está siendo garantizado. Existe

una disminución de abasto de agua a las comunidades rurales para atender las necesidades de demanda de agua de las urbes, sin embargo, se aumenta el tandeo del agua en hogares con menores ingresos.

La pregunta es, ¿Existe Resiliencia Hídrica en las Megalópolis?, ante esta incógnita es necesario repensar las capacidades que tiene el territorio y la población para poder hacer frente a la escasez del agua, una condición que ha ido en aumento y que ha transformado la vida de quienes se están quedando sin el recurso. En muchos de los casos, las ciudades han optado por la perforación de pozos como una solución fácil y rápida, sin dimensionar las consecuencias al ambiente.

Existe una gran presión del ser humano con los recursos hídricos en todos sus niveles, lo que se incita a un deterioro ambiental, el futuro del agua no tiene que ser el de la escasez, si se ve desde la perspectiva de la resiliencia.
La teoría de la resiliencia ofrece una perspectiva de como comprender el proceso de adaptación de las personas el salvaguardar y mantener el abastecimiento del agua en las ciudades y comunidades. Afrontar y resistir los problemas de escasez del agua, es parte de lo que día a día viven los habitantes de las grandes metrópolis.

Conclusiones

El concepto de la resiliencia ha sido usado en diversas disciplinas, desde la física, ingeniería, la psicología, por mencionar algunas, sin embargo, con el paso del tiempo ha ido adquiriendo importancia en los estudios urbanos, misma que ha sido cambiante a nivel internacional y que hasta los últimos tres años, se ha visto su importancia en trasladar la resiliencia con el tema del agua, debido al panorama mundial de la crisis del agua que viven las ciudades del mundo.

Detrás de todas las actividades que desarrolla el ser humano en las ciudades, está el servicio del agua que es indispensable, sin agua seria critica la funcionalidad de una ciudad, es cerrar una de las arterias de las ciudades y de esta manera no se sostiene la ciudadanía.

Problemáticas y oportunidades

En esta sección a manera de resumen se muestra la problemática de la resiliencia hídrica en la megalópolis y las alternativas que se proponen.

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades de la resiliencia hídrica

Problemáticas	Oportunidades
La gestión del agua no se da a nivel megalopolitano lo que no permite su atención.	Contar con estrategias de resiliencia y adaptación con la población en la metrópoli coadyuba a afrontar la escasez del agua.
No existen estrategias de colaboración entre instituciones para afrontar la escasez del agua.	La información podría llegar a las ciudades y comunidades, si se brindan espacios para todos y con accesibilidad que garantice afrontar una escasez del agua.
Existe desconocimiento de estrategias resilientes en atención al servicio de agua en la ciudad.	Brindar herramientas ante un problema de escasez a la población, permite no llegar a un colapso severo.
No existen estrategias de adaptación ante situaciones de escasez del recurso hídrico	La resiliencia hídrica permite lograr una adaptación de las ciudades y comunidades.

Referencias

Adger, N., (2000). Social and ecological resilience: are they related?. Progress in Human Geography, 24(3).

Anderies, J. M., B. H. Walker, y A. P. Kinzig. (2006). Fifteen weddings and a funeral: case studies and resilience-based management. Ecology and Society 11(1):21 http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art21/

CONAGUA (2024). Sistema Nacional de Información del Agua. Monitoreo de las Principales Presas de México.

CWRA (2019). CWRA Steering Group.

C40 Cities (2024). Guía de Acción Climática para Urbanistas. UrbanShift.

Folke. C (2006). Resiliencia: La aparición de una perspectiva para los análisis de sistemas sociales y ecológicos. Glob. Environ. Chang., 16, págs. 253-267, 10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002

Guerrero, F. (2019). Voces sobre Ciudades Sostenibles y Resilientes. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá.

Holling, C.S. (1973). Resilience and stability of ecologica systems. Annual Review of Ecology and Systematics.

Johannessen, A. y Wamsler, C. (2017). What does resilience mean for urban water services?. Ecology and Society. 22. 10.5751/ES-08870-220101.

ONU-Habitat (2016). Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos.

ONU-Habitat (2018). Día Mundial de las Ciudades 2018.

ONU-Habitat (2022). La Nueva Agenda Urbana.

Perló, M y Loreta, M. (2018). La crisis del agua y la metrópoli: Alternativas para la Zona Metropolitana del Valle del México (Vol. 4). Siglo XXI Editores, México.

Polése, M. (2010). The resilient city: on the determinants of successful urban economies. Working Paper, 2010-03, Centre-Urbanisation Culture Société. INRS. University of Quebec, Montréal.

Resilience Alliance, Disponible en: http://www.resalliance.org

UNISDR (2017). Herramienta de auto-evaluación para la resiliencia frente a desastres a nivel local. Nivel Detallado.

UNICEF (2024). Estado Mundial de la Infancia 2024. UNICEF Innocenti: Centro Mundial de Investigaciones y Estudios Prospectivos. Florencia, Italia.

Walter, B. y Salt, D, (2012) Resilience Practice: Building Capacity to Absorb Disturbance and Maintain Function. Washington: Island Press.

Yu CS (2007) Quantitative assessment of water resource system resilience. J Hydraul Eng Suppl.

18 Mecanismos de pago por servicios ambientales en ecosistemas forestales del Estado de México, como instrumentos para la gestión integral del agua en la Megalópolis

Carlos Rubén Aguilar-Gómez [1], Laura Millán-Rojas [2*], Gabino Nava-Bernal3, Víctor Ávila-Akerberg[4]

[1]Centro Universitario UAEM Temascaltepec; [2]Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (*autora de correspondencia: lauramillann@gmail.com); [3]Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, [4] Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología.

Resumen

La Gestión Integral del Agua (GIA), implica el desarrollo de políticas públicas (PP) dirigidas hacia el desarrollo económico, el desarrollo social y la conservación de los ecosistemas. Como enfoque de gestión, la GIA enfrenta diversos desafíos en zonas donde la dinámica poblacional, social y económica amenaza los ecosistemas forestales y sistemas hídricos, los cuales son los encargados de suministrar agua a una de las zonas más pobladas a nivel nacional, como la megalópolis de México. Dentro de la PP destacan los mecanismos de Pago por Servicios Ambientales (PSA) cuyo objetivo es la conservación de áreas forestales para la provisión de agua a las poblaciones humanas. El presente capítulo, aborda, dos programas impulsados por el gobierno federal y estatal en bosques del Estado de México cuya dinámica influye en la Megalópolis. El primero, operado por la Protectora de Bosques (PROBOSQUE) y el segundo por la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). A partir de un análisis documental de fuentes oficiales, se identifica, el comportamiento, así como los alcances y desafíos de estos programas. El análisis muestra áreas de oportunidad o alternativas para una gestión integral del agua, resaltando: el fortalecimiento del marco jurídico para incrementar el financiamiento y cobertura de los programas, el reconocimiento de los programas como mecanismos prioritarios para la gestión integral del agua y el fortalecimiento de la coordinación interinstitucional.

Introducción

El agua es un elemento vital, que ha influido el desarrollo de las sociedades y definido las formas en que éstas han configurado y expandido territorios en función de la disponibilidad y acceso a este recurso natural.

En los últimos siglos (XX y XXI) uno de los principales retos de la sociedad actual es garantizar dicha disponibilidad, que se ha comprometido por el crecimiento poblacional, cuya cifra mundial se ha triplicado durante el siglo XXI rebasando los 8.000 millones de personas para el año 2022 (Naciones Unidas, 2022). Inherente a este crecimiento, la demanda y presión sobre los recursos hídricos disponibles va en aumento en diversas partes de mundo. Muestra de esto, es el caso de México, en donde las necesidades de agua para abastecer a las ciudades van en aumento y se estima que aproximadamente en veinte años, la brecha entre oferta y demanda será de 23 mil millones de metros cúbicos (DOF, 2020).

El agua es considerada el mayor bien público global, y por tanto su gestión requiere una exploración en múltiples niveles. La GIA involucra cuestiones ambientales, sociales y resolución de conflictos relativos a los usos del agua a escala local, regional y global. Asimismo, los cambios y fenómenos de carácter socioeconómico orientan las fuerzas que repercuten en sistemas y regímenes de gobernanza a diferentes niveles (Chavarro, 2011), condicionan también los actuales usos y formas de administración de los recursos hídricos, dando origen a diversas formas de gestión para asegurar la disponibilidad de este bien natural (gestión pública, gestión privada, gestión sustentable, gestión participativa, gestión integral, etc.) (Millán-Rojas y Mondes de Oca, 2020).

En México, la disminución de agua disponible para consumo humano es un problema, que se incrementa con el deterioro de sistemas hídricos y forestales, cuencas y subcuencas, que a su vez alimentan la infraestructura hidráulica, por ejemplo, el sistema Cutzamala encargado de abastecer de este recurso vital a gran parte de la población del centro del país.

El deterioro y pérdida a la que se enfrentan estos sistemas contribuye a la escasez hídrica y como consecuencia impacta negativamente en el bienestar de las sociedades humanas, ya que dicho recurso natural no solo es fuente de satisfacción de necesidades básicas sino que permite el desarrollo de importantes actividades productivas como la agricultura, pesca y ganadería, considerando que de estas actividades la agricultura corresponde al uso principal del recurso hídrico a nivel mundial, con el 70% de la extracción total, conforme a estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (Conagua, 2019).

Frente a esta situación, organismos internacionales promueven una serie de acciones encaminadas a lograr la sustentabilidad, promoviendo un modelo de gestión integral del agua que busca el equilibrio en el uso, aprovechamiento y administración de los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna) y en el manejo de los ecosistemas comprendidos en una cuenca hidrográfica (T AL, 2012), a partir de una visión de cuenca, sistémica, inclusiva y participativa, considerando el papel que juegan todos los actores involucrados en los procesos de uso y aprovechamiento del agua.

Esta visión, además de ser un eje discursivo, dirige parte de la toma de decisiones en materia ambiental e hídrica a nivel federal y estatal. Reflejándose en la aplicación de mecanismos e instrumentos de Política Pública, como los Pagos por Servicios Ambientales (PSA). Dichos mecanismos, reconocen las funciones ecológicas de los bosques y su papel en la prestación de servicios ecosistémicos, promoviendo la conservación de estos a través del otorgamiento de estímulos económicos para dicho fin.

Megalópolis, bosques y agua

La conservación de los bosques interfiere en la captación de agua, García-Hernández et al. (2008) señalan que la cobertura arbórea y las propiedades del suelo, permiten una mayor infiltración en condiciones forestales óptimas, entonces, si el bosque esta conservado, se obtiene más producción de agua y se asegura la recarga de mantos acuíferos. Por tanto, la pérdida de cobertura forestal compromete estas funciones ecológicas, como lo mencionan Hamilton et al. (2007), al sugerir que, la cantidad de árboles eliminados afecta o repercute en el caudal de agua.

Los bosques, contribuyen también al mantenimiento de la calidad de agua y de la capacidad de recarga de acuíferos, incidiendo en la disponibilidad de agua y por tanto en el bienestar de la poblaciones rurales y urbanas (Villanueva et al., 2023). Estas últimas siendo las que en mayor medida demandan de este recurso natural.
En el centro de México destaca la gran Megalópolis de la Ciudad de México, cuya dinámica económica, social y política pone en jaque las principales fuentes de captación, almacenamiento y suministro de agua. En esta zona los ecosistemas que requieren de mayores medidas de conservación son los bosques templados, de oyamel y pino-encino, así como, ecosistemas que han sido severamente afectados por la influencia de la mancha urbana y las actividades económicas implícitas en el avance territorial de la misma (Geomática de la CAMe y Conabio, 2018).

La Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe), señala que la Megalópolis es una gran concentración urbana que se encuentra en la región centro de México, definida legalmente por primera vez en la década de 1990, y conformada por la Ciudad de México, el Estado de México y los estados de Hidalgo, Puebla, Morelos, y Tlaxcala. Siendo una de las zonas más poblada con más de 32 millones de habitantes en un territorio que comprende aproximadamente 240 municipios que albergan a su vez a 14 metrópolis (CAME, 2018). Los municipios que se encuentran en la megalópolis se caracterizan por mantener una relación funcional con la Ciudad de México (Heras et al., 2020).

En la Megalópolis convergen, regiones hidrológicas y cuencas y subcuencas, además de una diversidad de cuerpos de agua, y ríos que comprende el sistema hídrico del cual se beneficia la población humana. Destacan, las cuencas del Río Balsas, Río Pánuco, Cuenca de México, Lerma Chapala, Río Papaloapan y Río Tecolutla CAME, 2018).

En el territorio, que comprende la Megalópolis, destacan importantes zonas forestales cuyas funciones ecológicas las convierte en los principales sistemas de captación hídrica. Por su ubicación, comprende parte de los sistemas montañosos de la Sierra Madre Oriental y el Sistema Volcánico Transmexicano, siendo estas elevaciones montañosas importantes reservorios de ecosistemas forestales, principalmente templados.

Por su importancia ecológica e hídrica, destaca el gran Bosque de Agua, que abarca parte del territorio de la Ciudad de México, Cuernavaca y Toluca y alimenta los acuíferos que brindan agua a los habitantes de la Megalópolis del centro del país (Ávila y González, 2023). También se ubican Áreas Naturales Protegidas, 32 de carácter federal y 90 estatales y municipales (CAMe, 2018), entre las que se encuentran Parque Nacional El Tepeyac, Parque Nacional Desierto del Carmen o de Nixcongo, Parque Nacional Tula, Parque Nacional Lagunas de Zempoala, Parque Otomí-Mexica, Ajusco, Sierra de Guadalupe, Corredor Biológico Chichinautzin, entre otras.

Los bosques de esta región se encuentran en un estado de vulnerabilidad debido a las problemáticas socio-ambientales que enfrentan, como el crecimiento poblacional y la deforestación por cambio de uso de suelo y la extracción ilegal de recursos forestales maderables y no maderables (PROBOSQUE, 2022).

Por su situación actual, así como su importancia ecológica e hídrica estos bosques también son territorio de incidencia de políticas públicas en materia forestal e hídrica. Destacando el mecanismo de PSA, objeto de análisis del presente artículo.

En este texto se considera el caso del Estado de México, que administrativamente se divide en nueve regiones forestales (PROBOSQUE, 2024), todas ellas inmersas en el territorio asociado a la Megalópolis de México, con la característica de que comprenden importantes ecosistemas forestales y cuencas tributarias que suministran de agua a diferentes centros urbanos como el Valle de Toluca, el Valle de México y la Ciudad de México principalmente. Cuatro de estas regiones colindando y rodeando a la Ciudad de México casi en su totalidad (Región Forestal Amecameca, Región Forestal Toluca, Región Forestal Naucalpan y Región Forestal Texcoco) donde dueños y poseedores de terrenos forestales participan en los PSA.

PSA instrumento de incidencia socioambiental

Los PSA son instrumentos que operan bajo principios de sostenibilidad económicos, sociales y ambientales, a su vez han sido objetos de análisis y reflexión en torno a su implementación, los beneficios y las dificultades que enfrentan en zonas forestales rurales, en menor medida se han documentado para el caso de la periferia de las grandes zonas urbanas (Cetina et al., 2022). Por tal motivo este estudio se enfoca en los bosques del Estado de México que influyen en la dinámica hídrica y suministro a la gran megalópolis del centro del país.
La historia de la aplicación de los PSA en territorio mexicano se remonta al año 2003, aplicados con la finalidad de contribuir a la conservación de ecosistemas forestales, si bien los ha sido ampliamente documentados, existe el debate sobre el impacto limitado en términos de conservación (Perevochtchikova y Oggioni, 2014; Villanueva et al., 2023).

González y Riascos (2007) llevaron a cabo un estudio del panorama latinoamericano de PSA donde hacen mención de las fallas de mercado y rescatan que los servicios ambientales pueden carecer de precio pero no de valor. Los trabajos en Latinoamérica respecto a la creación de estos programas resaltan el objetivo cortoplacista de proteger o garantizar el recurso agua a través de una transacción entre usuarios y proveedores específicos.

Balvanera et al. (2012), destaca la intención de estos mecanismos para considerar, por un lado, las necesidades de los ecosistemas y por otro las necesidades de las sociedades que dependen de los servicios ambientales que proveen, resaltando los intereses interdisciplinarios para su configuración, aplicación y estudio.

Estos mecanismos, al ser parte de un marco institucional, normativo y político, enfrentan una serie de retos y desafíos en su implementación a escala local, como ya lo reportaron Martin-Ortega et al., (2013). Entre estos destacan, la falta de información disponible en cuanto a los resultados de implementación (Perevochtchikova y Oggioni, 2014), las diferencias entre las estimaciones, precios y valores de los servicios ambientales (Gonzáles y Riascos, 2007), factores de cambio inherentes a eventos o fenómenos ambientales como el cambio climático, inseguridad, ingobernabilidad, diversificación de compradores y vendedores (Balvanera et al., 2012), la especificidad al enfocarse en un solo tipo de servicios dejando fuera otros tipos de servicios o contribuciones de los ecosistemas (Martín-Ortega, 2013), y los distintos fallos de mercado y las limitaciones que trae consigo al visión ganar-ganar, que en su momento derivó en la creación proyectos ambiciosos con poca evidencia de sus contribuciones a la conservación (Muradian et al., 2013).

Los anti-PSA en México explican que cuando este esquema existe, de cierta forma, se otorga un control parcial sobre la tierra, devaluando las actividades productivas de los campesinos, de manera que este grupo de críticos lo interpretan como un ataque a la vida rural colectiva. Por otro lado McAfee y Shapiro (2010) y Muradian et al. (2013), estudiosos del tema, consideran que eventos contextuales y sociopolíticos como las reformas neoliberales en México fueron mal interpretados al suponer que estos procesos facilitarían la aplicabilidad de los PSA, pero no fue así.

Los mecanismos de los PSA contienen fallas estructurales y de implementación, por lo que en el contexto mexicano no han podido lograr sus objetivos establecidos en materia ambiental y social, debido a las divergencias existentes en el conocimiento general de las reglas de operación, trámites burocráticos y obligaciones de quienes otorgan los estímulos y los beneficiarios (Perevochtchikova y Vázquez, 2014). Las condiciones de los terrenos forestales beneficiados generan cuestionamientos en torno a su verdadera eficacia, ya que algunos tienen poco o muy poco riesgo de deforestación o los mecanismos son aplicados en zonas relativamente conservadas, por lo tanto, las probabilidades o "resultados" de conservación visualizados, los sitúan en un nivel alto. Otro factor que atrae la atención es la ambigüedad existente en los intereses, aceptación y afinidad de los propietarios respecto a estos mecanismos, lo que lleva a cuestionar la legitimidad de las intenciones para acceder a los recursos del programa, ya que no siembre surgen de un aparente interés por proteger el suelo y los recursos naturales asociados (Alix-García et al., 2005), como los bosques.

A pesar de todas las fallas y cuestionamientos asociados a su implementación, es importante resaltar que a través de estos mecanismos se ha disminuido el riesgo de deforestación y se han mantenido los acuíferos, éste a su vez se han enriquecido o complementado con programas de reforestación, plantaciones y desarrollo forestal (Muñoz-Piña et al., 2008), y demás actividades que implican el manejo forestal y en ocasiones el manejo forestal comunitario.

En los bosques del Estado de México, operan dos programas dirigidos a la implementación de este tipo de mecanismo, el primero corresponde al Programa Apoyos para el Desarrollo Forestal Sustentable, actualmente conocido como Programa Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar (DOF, 2022), de la CONAFOR, que, entre sus componentes de apoyo, establece dos modalidades:

1. Pago por Servicios Ambientales (PSA) que apoya a las personas dueñas de los terrenos forestales que tienen ecosistemas en buen estado de conservación, ubicados en zonas con altos valores ambientales. Este apoyo consiste en un incentivo económico por cinco años, condicionado al cumplimiento de compromisos adquiridos por los beneficiarios, quienes deben reinvertir al menos el 50% del recurso asignado a actividades de conservación, protección, manejo, organización, gobernanza y proyectos productivos amigables con el medio ambiente.
2. Mecanismos Locales de Pago por Servicios Ambientales a través de Fondos Concurrentes (MLPSA-FC), es un tipo de colaboración entre la CONAFOR y otras instancias o actores públicos o privados, con el objetivo de sumar recursos económicos y formar alianzas estratégicas para el pago por servicios ambientales a las personas propietarias de terrenos forestales. El fondo concurrente se integra con una aportación de la CONAFOR que representa máximo el 50% del total, la cual se complementa con aportaciones de socios o partes interesadas, en el caso del Estado de México dicha colaboración generalmente es con PROBOSQUE (CONAFOR, 2022).

El segundo de estos programas es el operado por PROBOSQUE, el "Programa Pago por Servicios Ambientales Hidrológicos del Estado de México", que consiste en la entrega de un estímulo económico a Núcleos Agrarios, las Personas Físicas y/o Jurídico Colectivas. El objetivo de este es el de contribuir con la sostenibilidad de los bosques del Estado de México, mediante la entrega de estímulos económicos y asesoría técnica forestal, para realizar acciones de conservación, protección y fomento forestal, que permitan la permanencia y aumento de la cobertura forestal, propiciando la infiltración de agua (PROBOSQUE, 2024).

Para este estudio, se resaltan ambos programas debido a la relevancia y presencia territorial en bosques del Estado de México, encargados de captar y suministrar el recurso hídrico a las principales cuencas y subcuencas que abastecen la megalópolis. A continuación, se muestran los principales hallazgos.

Metodología

El estudio se realizó en tres fases, la primera corresponde a una revisión de información en las fuentes oficiales de las instituciones involucradas (CONAFOR y PROBOSQUE), en el periodo de tiempo de 2017 a 2022, dicha información contempló los siguientes componentes de análisis: beneficiarios de los PSA en el Estado de México, el total de hectáreas con las que participaban en el programa y el monto recibido. La segunda fase concentró la información en una base de datos de Excel para obtener un panorama gráfico del estatus de los PSA en el Estado de México debido a que cuenta con dos cuencas hidrológicas, la cuenca del Río Lerma que aporta el recurso a la zona conurbada del valle de Toluca y municipios del Valle de México, mientras que la del río Balsas, mediante el sistema Cutzamala distribuye el agua a la Megalópolis. Y la tercera fase llevó a cabo un análisis comparativo para identificar el comportamiento temporal y territorial (cobertura de aplicación) así como los alcances y desafíos de estos programas, contrastándolos con trabajos publicados a diferentes escalas que abordan el estudio de los PSA. Con base en dicho análisis se establecieron áreas de oportunidad o alternativas para una gestión integral del agua.

Resultados y Discusión

De acuerdo con los resultados de los PSA como instrumentos en la GIA, se puede observar que para el caso de CONAFOR (Figura 1) en cualquiera de sus modalidades para el periodo de tiempo 2017-2022, se identifica un comportamiento de zigzag con cifras elevadas en los años pares, mientras que es mínimo en los años impares, para el caso de 2019 la posible respuesta es la pandemia de la COVID-19, que obligó a las personas a permanecer en sus residencias evitando así ejercer los trámites correspondes, así como las instituciones que tuvieron que establecer estrategias de operación, minimizando los impactos y alcances del programa. Mientras que para el caso del año 2021 el periodo de elecciones para Diputados y Ayuntamientos (INE, 2021), lo que somete a las dependencias a una veda electoral y recorte presupuestal o en su caso, la poca promoción del programa. Así mismo, las cantidades de predios apoyados es congruente con las hectáreas participantes y siguen el mismo patrón de comportamiento. No obstante, se distingue para los años pares una disminución en los predios apoyados, así como en las comunidades que participan. Esto podría depender de varios factores, por ejemplo, desde el punto de vista social, el interés de las comunidades para participar en el programa o la falta de requisitos que impidieron su cumplimiento, mientras que, desde el punto de vista institucional, podría deberse a una falta de promoción del programa, o en cuestiones económicas, la falta de financiamiento o la priorización de zonas de conservación para la generación de servicios ambientales.

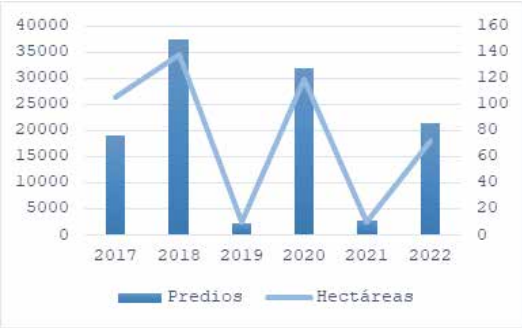


Figura 1. Número de predios y hectáreas apoyados del PSA CONAFOR. Fuente: CONAFOR (2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022).

El PSA de PROBOSQUE (Figura 2), para los primeros dos años del periodo 2017-2022, mostró un aumento del 29.95%, no obstante, a partir de 2019 se reportan las mismas cantidades de acuerdo con la información disponible (PROBOSQUE, 2019,2020) ya que se establece el padrón de beneficiarios a través de fondos concurrentes convenio 2020-2024 con la CONAFOR. Podría decirse que debido a que el FIPASAHEM corresponde al financiamiento y este a su vez de las aportaciones que dan los municipios, la cantidad económica no tiene una variación significativa que permitiera aumentar el número de beneficiarios o en caso contrario disminuirlos, partiendo del principio de que a mayor financiamiento mayor número de beneficiarios y a menor financiamiento menor número de beneficiarios.

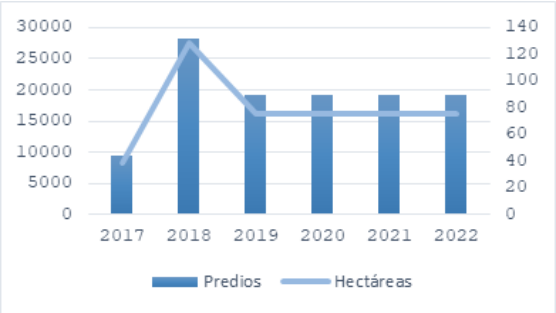


Figura 2. Número de predios y hectáreas apoyados del PSA PROBOSQUE. Fuente: PROBOSQUE (2017,2018, 2019.)

Si se comparan ambas gráficas (Fig. 1 y Fig. 2), se observa que en los dos primeros años ambos programas tuvieron un comportamiento similar en cuanto a un aumento en el interés de los beneficiarios por participar y predios apoyados. Para el caso de los años pares (2020 y 2022) se establecen dos premisas, la primera es que para el año 2020 el PSA CONAFOR apoyó la mitad de los predios seleccionados por PROBOSQUE mientras que para el año 2022 la cantidad de predios apoyados son similares, en este sentido, es importante hacer mención que como dicho programa (PSA CONAFOR a través de fondos concurrentes) otorgó un estímulo económico y otra institución (en este caso PSA PROBOSQUE), complementa las cantidades, podrían estar reportando los mismos datos instituciones, que originalmente están apoyando pero que en la realidad se duplica el beneficiario y las cifras (Figura 3).

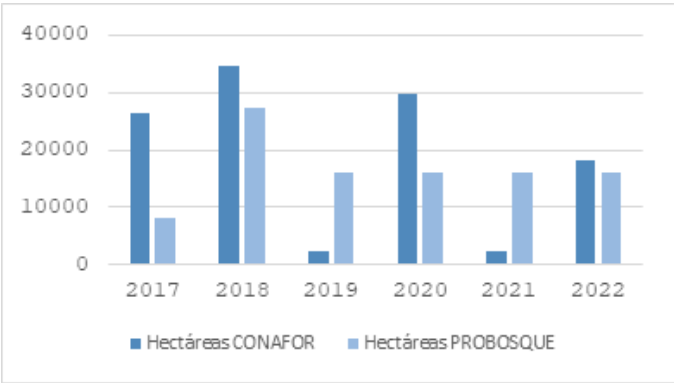


Figura 3. Hectáreas apoyadas por el PSA ROBOSQUE Y CONAFOR.

Esto podría suponer distintos puntos de vista: 1) aquellos predios que cuentan con el apoyo de una institución no pueden tener acceso a la otra debido a que trabajan en conjunto y esto reflejaría un doble apoyo, 2) si bien las instituciones trabajan de forma colaborativa para cumplir sus objetivos, podrían estar perdiendo la oportunidad de incrementar la masa forestal apoyada bajo los esquemas de PSA y a su vez la oportunidad de potencializar el financiamiento, de esta forma se incrementaría el número de participantes logrando impactar positivamente en el aspecto social, además, la masa forestal que aseguraría la recarga de mantos acuíferos para el aprovechamiento humano, principalmente en la Megalópolis.

En este caso se tendría que considerar la comunicación interinstitucional como un eje central y continuo en la aplicación de los PSA en el Estado de México, no solo en la firma de convenios para trabajar bajo la modalidad de Fondos Concurrentes, sino mediante un proceso de evaluación de resultados buscando cómo mejorar su aplicación, y conocer el impacto social y ambiental. Contemplando que el involucramiento de diferentes instituciones podría ser importante debido a que se puede obtener una percepción crítica de los PSA y su aplicación mediante foros de discusión y resultados, la academia es un sector que ha trabajado, a excepción de algunos esfuerzos, de forma independiente para la evaluación de los PSA a nivel Nacional Perevochtchikova y Rojo (2015); Aguilar-Gómez et al. (2015); Perevochtchikova y Vázquez (2014); Perevochtchikova y Ochoa (2012); Manson et al. (2013), Muñoz-Piña et al. (2008); Alix-García et al. (2005).

La participación social es un elemento clave en la GIA y por lo tanto en el desarrollo, aplicación y evaluación de los PSA, refiriéndonos a los beneficiarios como entes clave del éxito de dichos esquemas, ya que ellos son los que realmente se encargan de su operatividad y aplicación, tanto en obras de conservación como con el cumplimiento de las tareas asignadas bajo el principio de condicionalidad (se recibe un pago sí y solo sí se cumple con las tareas asignadas de acuerdo a una evaluación de las necesidades de cada predio).

Para el caso del financiamiento (Figura 4), se deberá considerar cómo es que una institución Nacional como CONAFOR, aporta más recursos monetarios al PSA (años 2018, 2020 y 2022), en donde el programa estatal debería buscar la forma de incrementar los apoyos y el número de hectáreas bajo este esquema, siendo que por ningún motivo las cifras disminuyan, sin embargo, la respuesta podría deberse a que la aportación de los municipios del Estado de México al Fideicomiso varía en cuestión de participación y montos económicos.

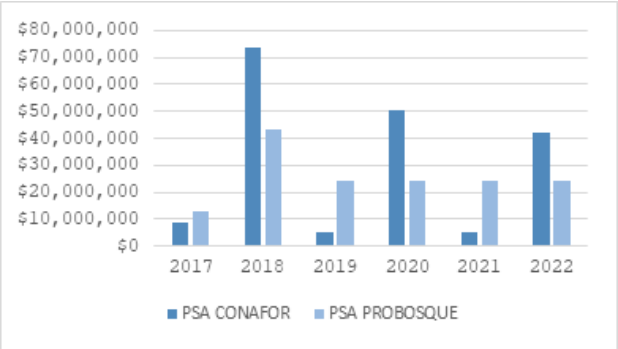


Figura 4. Pagos de PSA de PROBOSQUE Y CONAFOR.

Por ejemplo, los municipios que participaban aportando al PSA eran 106, sin embargo los que han dejado de hacerlo son 54.4% de los 125 municipios del Estado de México, mientras que el 15.2% nunca lo ha hecho (Figura 5), resaltando entre estos Ecatepec de Morelos, Tecámac, Valle de Chalco y Zinacantepec, todos ellos pertenecientes a zonas conurbadas o la megalópolis de la Ciudad de México, en este sentido, se hace necesario el involucramiento del 100% de los municipios para el fondo económico de este esquema mediante el fortalecimiento del marco jurídico que obligue a todos a destinar un porcentaje de su presupuesto al PSA.

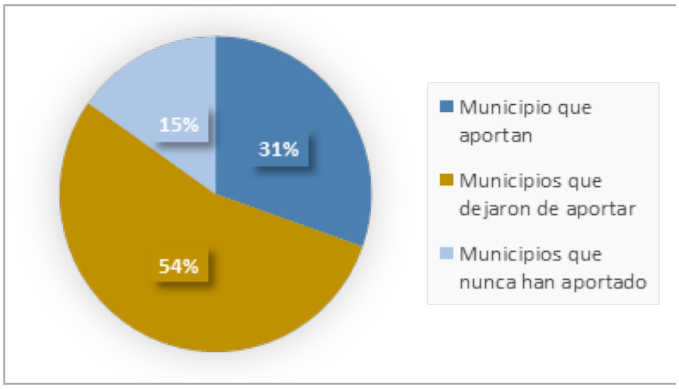


Figura 5. Distribución porcentual de las aportaciones municipales al PSA.

Para considerar que un programa es eficiente se podría evaluar de acuerdo con criterios que no son propiamente de inversión económica, principalmente cuando sus reglas de operación y las obras de conservación bajo el principio de condicionalidad son similares. Es decir, la inversión de los programas no está sujeta a su eficiencia, para saberlo se necesita una evaluación detallada por cada región en donde se apliquen cualquiera de los dos esquemas y que permita de acuerdo con sus objetivos, conocer sus resultados tomando en cuenta escalas de tiempo pertinentes, debido a que el término de conservación se establece con este criterio. No obstante, se considera que debilidad de las instituciones es la falta de personal que pueda realizar estas evaluaciones.

En el contexto actual, la GIA deberá ser considerada como un elemento importante que demanda el establecimiento de líneas estratégicas de atención respecto a las prioridades sociales y ambientales, en este caso, el abastecimiento de agua para el desarrollo de las actividades humanas desde el artículo 4° de la Constitución Política Mexicana, se considera un derecho y corresponde al Estado cumplirlo cabalmente. No obstante, se llevan a cabo actividades que al parecer cumplen con el mínimo necesario para cubrir con las actividades obligadas o comprometidas, pero no se distingue un esfuerzo significativo por mejorar o conocer las necesidades actuales y la percepción de los agentes involucrados desde su operación a nivel institucional como a nivel de los predios participantes, saber esto, permitiría identificar las posibles deficiencias y así abordarlas.

A continuación, se presenta una tabla resumen de problemáticas y oportunidades que permiten vislumbrar el aporte del análisis realizado para la Gestión Integral del Agua a través de los mecanismos de PSA principalmente en el Estado de México.

Problemáticas y oportunidades

A pesar de los obstáculos, la megalópolis de México tiene el potencial de convertirse en un modelo de gestión hídrica sostenible en el futuro (ver Tabla 1). La colaboración entre gobiernos, instituciones académicas y la sociedad civil es esencial para desarrollar soluciones innovadoras que garanticen un suministro adecuado y equitativo de agua para todos sus habitantes. La transformación de estos retos en oportunidades dependerá del compromiso continuo y la acción coordinada de todos los actores involucrados.

Tabla 1. Problemáticas y oportunidades de los PSA como instrumentos para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México.

Problemáticas	Oportunidades
Apoyar los mismos predios a través de fondos concurrentes podría resultar en una duplicidad de información.	Establecer la manera en cómo se reportan los predios apoyados para buscar la transparencia de la información.
Algunos beneficiarios no son elegibles, debido a la falta de financiamiento.	Se puede incrementar la masa forestal apoyada y por lo tanto sus impactos sociales y económicos.
Falta de comunicación entre instituciones en la aplicación y operatividad de los PSA	La comunicación interinstitucional deberá ser un eje central y continuo
	La incorporación de la academia y los beneficiarios para conocer una perspectiva crítica es indispensable en aras de mejorar los esquemas.
La falta de obligatoriedad para aportar el Fideicomiso del PSA PROBOSQUE, hace que el programa aumente o disminuya la cobertura de aplicación.	Es importante el fortalecimiento del marco jurídico que obligue a todos a destinar un porcentaje de su presupuesto al PSA.
Falta de evaluaciones de los impactos de los PSA y su eficiencia.	Los PSA se podrían evaluar de acuerdo con criterios que no son propiamente de inversión económica, debido a su principio de condicionalidad.

Agradecimientos

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECyT) por el registro y estimulo de la Dra. Laura Millán Rojas en el marco del Programa Investigadoras e Investigadores COMECYT.

Referencias bibliográficas

Alix-García, J., de Janvry, A., Sadoulet, E., Torres, J. M., (2005). An Asessment of México's Payment for Environmental Services Program. United Nations Food and Agriculture Organization.

Ávila-Akerberg, V., González-Martínez, T. (Coord.) (2023). Del monte baja la vida: historia biocultural de la cuenca presa de Guadalupe, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México.

Balvanera, P., Uriarte, M., Almeida-Leñero, L., Altesor, A., DeClerck, F., Gardner, T., Hall, J., Lara, A., Laterra, P., Peña-Claros, M., Dalva, M., Matos, S., Romero-Duque, L. P., Vogl, L., Arreola, L. F., Caro-Borrero, A. P., Gallego, F., MehaJain., Little, C., de Oliveira.,… Vallejos, M., (2012) "Ecosystem services research in Latin America: The state of the art". Ecosystem Services, 2, 56-70.

Cetina Arenas, L., Koff, H., Maganda-Ramírez, C., y Almeida-Leñero, L. O. (2022). Los pagos por servicios ambientales en la Ciudad de México: un enfoque de coherencia de políticas públicas. Región y sociedad, 34, 1-28.

Chavarro A. (2011). Claves de una gestión pública del recurso hídrico. Una revisión de bibliografía. Gestión Ambiental, 14, (1), 07-22.

Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe 2017). Programa de Gestión Federal para mejorar la calidad del aire de la Megalópolis, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales –INNEC.

Comisión Nacional de Agua (CONAGUA 2019). Agua en el mundo, Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022). Apoyos CONAFOR (listados de resultados). https://www.gob.mx/conafor/acciones-y-programas/apoyos-conafor

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR 2022). Pago por Servicios Ambientales: Incentivos económicos para la conservación de los ecosistemas https://www.gob.mx/conafor/articulos/pago-por-servicios-ambientales-incentivos-economicos-para-la-conservacion-de-los-ecosistemas

Diario Oficial de la Federación (DOF2020). DECRETO por el que se aprueba el Programa Nacional Hídrico 2020-2024.https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/642632/PNH_2020-2024__ptimo.pdf

Diario Oficial de la Federación (DOF 2022). Reglas de Operación 2023 del

Programa Desarrollo Forestal Sustentable para el Bienestar. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5676155&fecha=29/12/2022#gsc.tab=0 EL 04 DE ABRIL DE 2024

Dourojeanni, A., Jouravlev y Chávez G. (2002). Gestión de agua a nivel de cuencas: teórica y práctica. Serie Recursos Naturales e Infraestructura No. 47. Santiago de Chile: CEPAL.

García-Hernández M. A., Castellanos-Vargas I., Cano-Santana Z., Peláez-Rocha C.M. (2008). Variación de la velocidad de infiltración media en seis ecosistemas inalterados. Terra Latinoamericana, 26 (1). 21-27.

Geomática de la CAMe y Conabio (2018). Sitios prioritarios para la conservación en la Megalópolis https://www.gob.mx/comisionambiental/articulos/sitios-prioritarios-para-la-conservacion

González T. Á., Riascos A. E., (2007). Panorama Latinoamericano del Pago por Servicios Ambientales. Gestión y Ambiente. Universidad Nacional de Colombia, 129-144.

Hamilton,K., Bayon, R., Turner, G.and Higgins, D. (2007). State of the Voluntary Carbon Market Washington D. C.: The Ecosystem Marketplace. New Carbon Finance.8pp.

Heras Gutiérrez, D. De Las., Adame, S., Caden, E. G., & Campos, J. (2020). Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: perspectiva desde el análisis espacial. Economía, sociedad y territorio, 20 (62), 719-752.

INE, Instituto Nacional Electoral, Estado de México (2021). Elecciones Edomex. https://ine.mx/voto-y-elecciones/elecciones-2021/estado-de-mexico/

Manson, H. R., Barrantes, G., Bauche, P. P., (2013). Lecciones de Costa Rica y México para el desarrollo y fortalecimiento de programas de pago por servicios ambientales hidrológicos en América Latina en Lara A., Laterra A., Manson R., Barrantes G. (Comp.), Servicios ecosistémicos hídricos: estudios de caso en América Latina y el Caribe. Valdivia, Chile. Red ProAgua, CYTED, Imprenta América.

Martin-Ortega, J., Ojea, E., Roux, C., (2013). Payments for Water Ecosystem Services in Latin America: A literature review and conceptual model. Ecosystem Services. 6, 122:132.

McAfee K., and Shapiro† E. N. (2010). Payments for Ecosystem services in Mexico: Nature, Neoliberalism, Social Movements, and the State. Annals of the Association of American Geographers. 100 (3), 579-599.

Millán-Rojas L., Montes de Oca A. (2020). Posturas extendidas de la gestión hídrica ¿medios hacia la sustentabilidad?, Revista CoPaLa. 5 (9), 51-65.

Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J. M., Braña, J., (2008). Paying for the hydrological services of Mexico's forest: Analisys, negotiations and results. Ecological Economics. (65), 725-736.

Muñoz-Piña, C., Guevara, A., Torres, J. M., Braña, J., (2008). Paying for the hydrological services of Mexico's forest: Analisys, negotiations and results. Ecological Economics. 65, 725-736.

Muradian R., Arsel M., Pellegrini L., Adaman F., Aguilar B., Agarwal B., Corbera E., Ezzine de Blas D., Farley J., Froger G., Garcia-Frapolli E., Go´-mez-Baggethun E., Gowdy J., Kosoy N., Le Coq J.F., Leroy P., May P., Meral P., Mibielli P.,… Urama K. (2013). Payments for ecosystem services and the fatal attraction of win-win solutions. Policy Perspective. Conservation letters, 6 (4) 1-6.

Naciones Unidas (2023). Informe sobre el Estado de la Población Mundial 2023. https://www.unfpa.org/sites/default/files/swop23/SWOP2023-SPANISH-230403-web.pdf

Perevochtchikova M., Oggioni J. (2014). Global and Mexican analytical review of the state of art on ecosystem and environmental services: A geografical approach. Investigaciones geográficas, Boletin del Instituto de Geografía. 85, 47-65.

Perevochtchikova, M., Ochoa, T. A. M., (2012). Avances y limitantes del programa de Pago por Servicios Ambientales hidrológicos en México (2003-2009). Revista México Ciencia Forestal. 3 (10), 89-112.

Perevochtchikova, M., Rojo N. I. A. (2015). The perceptions about payments schemes for ecosystem services: Study case of the San Miguel and Santo Tomás Ajusco Community, Mexico. Ecosystem services. 14, 27-36.

Perevochtchikova, M., Vázquez, B. A., (2014). Impacto Del Programa De Pago Por Servicios Ambientales Hidrológicos (PSAH) En Suelo De Conservación Del D.F., México. Centro de Estudios Demográficos Urbanos y Ambientales, El Colegio de México.

Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE 2017). Listado de beneficiarios, 2017. Dirección de restauración y fomento, forestal Departamento de Servicios Ambientales, https://probosque.edomex.gob.mx/sites/probosque.edomex.gob.mx/files/files/fipasahem/listaBeneficiariosAprobadosConv2017Conafor.pdf

Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE 2018). Listado de beneficiarios, 2018. Dirección de restauración y fomento, forestal Departamento de Servicios Ambientales. https://probosque.edomex.gob.mx/sites/probosque.edomex.gob.mx/files/files/fipasahem/beneficiariosParaGacetaConvocatoria2018FondosConcurrentes.pdf

Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE 2019). Listado de beneficiarios (FO-PB-516), 2019. Dirección de restauración y fomento, forestal Departamento de Servicios Ambientales https://probosque.edomex.gob.mx/sites/probosque.edomex.gob.mx/files/files/convocatorias/2023/PASAHEM/listBenefPASAHEM-20-24-202309.pdf

Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE 2022). Inventario Estatal Forestal y de Suelos del Estado de México 2022. https://probosque.edomex.gob.mx/inventario_forestal

Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE 2024). Delegaciones regionales forestales. https://probosque.edomex.gob.mx/delegaciones_forestales

Protectora de Bosques del Estado de México (PROBOSQUE 2024) Servicios Ambientales Hidrológicos https://probosque.edomex.gob.mx/fipasahem

Villanueva, A., Fagandini Ruiz, F., Galicia, L., Figueroa B., E. (2023). Análisis espacial de Servicios Ecosistémicos en la periferia de Ciu-dad de México: Implicaciones para la conservación en el Bosque de Agua. Ecosistemas. 32(3), 1-13.

19 Retos que limitan la gestión integral del recurso hídrico, en el sistema comunitario de agua de Atlautla, Estado de México.

Dr. Esteban Cuitlahuac López-Bravo [1]*, Mtra. Alma Iris Ríos-Espinosa[2] y Mtra. Norma Lucía Flores-Zamudio[3]

[1]Universidad Politécnica de Atlautla (*autor de correspondencia: estebanlopez@upatlautla.edu.mx);
[2]Universidad Politécnica de Atlautla;
[3]CECyTEM plantel Atlautla.

Resumen

Este texto muestra parte de los resultados de una investigación doctoral en Innovación, los cuales destacan diez estrategias aprobadas por la población de Atlautla, para afrontar la disminución constante del recurso hídrico que abastece, su sistema comunitario de agua.

Para ello, se desarrolló un ejercicio de planeación participativa asistido por Inteligencia Artificial (IA), del que se desprenden dichas propuestas de solución, mismas que, fueron validadas por un comité experto bajo el Método Delphi. Los resultados aquí presentados, están dirigidos a afrontar el reto de la disminución constante del agua que abastece la red comunitaria, y así aportar en su gestión, de forma integral y sostenible.

Introducción

El municipio mexiquense de Atlautla, ubicado al oriente del Estado y que colinda con los municipios de Amecameca, Ozumba y Ecatzingo, y los estados de Puebla y Morelos (INEGI, 2024) (ver Figura 1); además de contar con el sistema de reparto de agua gubernamental gestionado directamente por el Estado, posee en su cabecera municipal, una segunda red de agua, referida como comunitaria, dado que fue construida por la población de la entidad, la cual, también se encarga de su gestión a través de un comité comunitario.

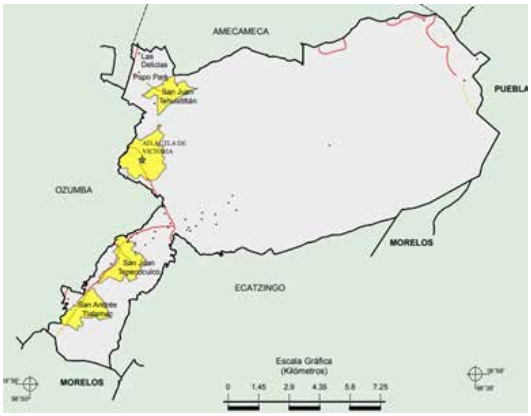


Figura 1 Colindancias del municipio de Atlautla (INEGI, 2010).

Esta segunda red de agua comunitaria, cuya longitud oscila los 16 kilómetros y que abastece aproximadamente a 12,477 personas (INEGI, 2020); se provee del recurso hídrico en lo alto del volcán Popocatépetl por agua pluvial, y en mayor medida, por el ojo de agua de Amalacaxco (ver Figura 2).

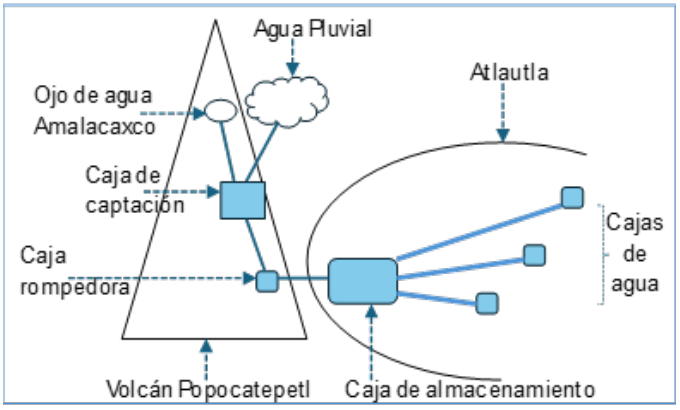


Figura 2 Esquema de la red de agua comunitaria en Atlautla.

A esta red, le circundan una serie de retos significativos, de los que destaca por la importancia de su naturaleza, la disminución constante del recurso hídrico, que la abastece. Este reto, limita la gestión integral del recurso hídrico de la red comunitaria de agua, en su justa proporción, esto es, la escasez del recurso y evidentemente su agotamiento, ponen en duda el sentido de la existencia del sistema de reparto y, por ende, su sostenibilidad y gestión a largo plazo.

Derivado de ello, el objetivo general de este capítulo radica en enlistar las estrategias integrales sostenibles, que permitan afrontar el problema de dicha disminución constante del recurso hídrico, resultantes de un ejercicio de planeación participativa asistida por Inteligencia Artificial.

Es así que, en este ejercicio participativo de representación ciudadana, caracterizado por su desarrollo democrático, plural, horizontal e incluyente (Gómez, 2012; Mussetta, 2009), donde las opiniones, puntos de vista y decisiones de la colectividad toman protagonismo tanto en planeación como en gestión (Terrones-Cordero y Sánchez, 2010), para el desarrollo y el bienestar común; resultaron 10 estrategias, como propuestas de solución a la problemática en cuestión.

Las estrategias resultantes, fueron validadas posteriormente mediante una Conferencia Delphi, por un comité experto, lo que sustenta la pertinencia tanto del ejercicio participativo, como de las propuestas de solución para afrontar la disminución del recurso hídrico, mismo que alimenta la red de agua comunitaria.

Por lo tanto, esta investigación presenta parte de la solución integral y sostenible para optimizar el reparto de agua en la red comunitaria de Atlautla, destacando del ejercicio participativo, la utilización de la IA entendida como, “el poder de toma de decisiones de las máquinas que actúan sobre el comportamiento humano a través de la percepción, el aprendizaje y el razonamiento” (Mughal, et al., 2022:59), la cual, no sólo aporta una incorporación tecnológica interdisciplinaria en los procesos participativos, sino que, derivado de sus bondades más destacadas, como la reducción de tiempos y optimización en la toma de decisiones, el mejorar la certeza de los resultados y su capacidad de reducir recursos materiales, humanos y financieros (Mughal, et al., 2022; Chowdhury y Sadek, 2012), la ubican como una herramienta de innovación significativa en la gestión integral del recurso hídrico.

De este modo, las acciones que van desde la recuperación y conservación de fuentes de agua alternativas, hasta la concientización a temprana edad de los pobladores de Atlautla, para un uso y consumo adecuado del recurso (ver Tabla 1); permiten afrontar el problema de disminución constante de agua, que limita la gestión integral y sostenible del recurso.

Problemática y oportunidades

Tabla 1 Problemática y oportunidades para la gestión integral del recurso hídrico, en el sistema de reparto comunitario de agua de Atlautla, de acuerdo con lo presentado en este capítulo.

Problemática	Oportunidades
Disminución constante de recurso hídrico, que abastece la red de agua comunitaria.	Recuperación y conservación de fuentes de agua alternativas.
	Mejora de la eficiencia en la distribución de agua.
	Promoción de prácticas de uso responsable del agua.
	Captación y almacenamiento de agua de lluvia
	Investigación y desarrollo de tecnologías sostenibles.
	Fortalecimiento de la participación comunitaria.
	Educación en conservación del agua desde temprana edad.
	Evaluación periódica y ajuste de estrategias.
	Programas de capacitación técnica local.
	Plan de contingencia y respuesta a emergencias.

Método y Resultados

Entre los retos a los que se enfrenta la red hídrica comunitaria de Atlautla, a saber, una infraestructura antigua, el aumento en su demanda por parte de la población, un uso inadecuado del recurso, la inexistencia de planes de gestión y, la negativa de colaboración con actores ajenos a la población (López-Bravo, 2024); la disminución del recurso de las fuentes naturales que la abastecen, destaca del resto, por poner en duda la existencia misma del sistema de reparto comunitario.

Esto es, derivado de la extinción del glaciar del volcán Popocatépetl a inicios del milenio (Del Pozzo et al., 2017) y de la cada vez menor cantidad de agua que provee el ojo de Amalacaxco, dos de las tres fuentes naturales de las que se abastece la red; la permanencia del sistema está en riesgo.

Este reto significativo que circunda al sistema comunitario de reparto de agua, se identificó a través de dos momentos distintos, a lo largo de cuatro años de investigación. El primero de ellos tuvo lugar en los meses de noviembre y diciembre de 2020, a través de diálogos con grupos de trabajo de la localidad, por medio de entrevistas semiestructuradas y relatos hablados (Geilfus, 2009) con 10 de los 19 líderes representantes del comité comunitario de agua; fungiendo esto, como un acercamiento inicial al estudio de caso.

El segundo momento constó de una primera entrevista realizada en 2022, al ciudadano responsable de la construcción de la obra de hace más de 50 años, mismo quien ocupó durante todo ese tiempo, la presidencia del comité de agua comunitario; única figura encargada de administrar y gestionar el sistema de reparto. Además, en 2023 se realizó una segunda entrevista al presidente actual del comité de agua. En ambos casos, el tema de disminución del recurso para abastecer el sistema de reparto hídrico, destacó por su persistencia, relevancia e importancia.

Una vez identificado el reto, se desarrolló una planeación participativa donde la población organizada en la figura referida como comité comunitario de agua, colaboró en la delimitación de propuestas de solución en torno al reto en mención. Este comité comunitario, está conformado por hombres y mujeres oriundos de Atlautla, activos en la comunidad. Su conformación se fundamenta en participar sobre cuestiones referentes al sistema de reparto de agua, para beneficio de la población; sus miembros poseen igualdad de oportunidades, aceptación de ideas, derechos y responsabilidades, dentro de las tareas y actividades desarrolladas en este (Clemente et al., 2015).

La planeación participativa, la cual es considerada una práctica que fomenta precisamente la participación de todos los colectivos de la población, para que, a través del consenso se conformen esfuerzos locales para el desarrollo social y el bienestar común (Mussetta, 2009; Gómez, 2012); se llevó a cabo la noche del 18 de mayo de 2023, previa invitación y recordatorio vía mensajería instantánea 15 días antes.

En su ejecución, participó la misma cantidad de hombres como de mujeres, ambos grupos pertenecientes al comité de agua. Este hecho contrasta con la teoría circundante a los comités comunitarios hídricos, en comunidades rurales de América Latina y otras regiones del mundo, en donde se describe el papel de la mujer particularmente dirigido a funciones de acercamiento, acarreo, almacenamiento y recuperación del recurso, excluyéndola de tareas tradicionalmente realizadas por el hombre, tales como la toma de decisiones y su gestión (Soares, 2006; Gutiérrez, et al., 2013; Padilla, 2020).

El ejercicio participativo fue coordinado por el investigador, también referido como aplicador. Utilizando una computadora portátil equipada con un modelo de lenguaje basado en inteligencia artificial para procesamiento y generación de texto, se introdujo inicialmente el problema de la disminución constante del agua que abastece al sistema de reparto comunitario de Atlautla. A partir de esta información, se solicitó a la herramienta tecnológica emergente de IA que generara diez propuestas de solución, adaptadas al contexto específico del municipio.

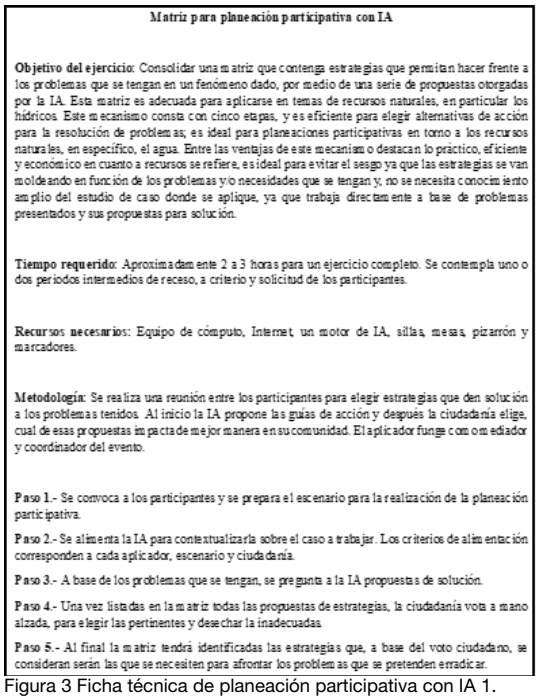
La Inteligencia Artificial Generativa, que es la empleada en este caso, es una área relativamente nueva de las ciencias computacionales, identificada como una tecnología emergente (Oracle, 2024). La IA es “la ciencia y la ingeniería de fabricar máquinas inteligentes, especialmente programas informáticos inteligentes. Está relacionado con la tarea similar de usar computadoras para comprender la inteligencia

humana, pero la IA no tiene que limitarse a métodos que sean biológicamente observables" (McCarthy, 2007:2). Su objetivo es simular las funciones del cerebro humano, imitando el proceso de aprendizaje natural a través de redes neuronales artificiales y sistemas expertos de conocimiento (Jiang et al., 2017).

Una vez que la herramienta de IA enlistó las propuestas de solución solicitadas por el aplicador, este mismo las leyó a los participantes del ejercicio de planeación, para aceptar o denegar por medio del voto a mano alzada, su pertinencia, como estrategia dirigida a afrontar el problema de disminución de agua.

Concluido este mecanismo con las diez estrategias propuestas, únicamente se denegó la número cuatro, a saber, "captación y almacenamiento de agua de lluvia". Dicha negativa de aceptación a la propuesta, obedece a un tema profundamente arraigado de usos y costumbres y resistencia al cambio en la población, la cual, limita la participación de agentes externos al comité de agua, ya sean públicos o privados, sobre cualquier tema de administración y gestión del sistema de reparto.

Las Figuras 3 y 4, muestran los resultados de la aplicación del método, en forma de ficha técnica, al igual que Korstanje (2009), Geilfus (2009), entre otros consolidados teóricos de ejercicios participativos, lo presentan.



Matriz para planeación participativa con IA

Objetivo del ejercicio: Consolidar una matriz que contenga estrategias que permitan hacer frente a los problemas que se tengan en un fenómeno dado, por medio de una serie de propuestas otorgadas por la IA. Esta matriz es adecuada para aplicarse en temas de recursos naturales, en particular los hídricos. Este mecanismo consta con cinco etapas, y es eficiente para elegir alternativas de acción para la resolución de problemas, es ideal para planeaciones participativas en torno a los recursos naturales, en específico, el agua. Entre las ventajas de este mecanismo destacan lo práctico, eficiente y económico en cuanto a recursos se refiere, es ideal para evitar el sesgo ya que las estrategias se van moldeando en función de los problemas y/o necesidades que se tengan y, no se necesita conocimiento amplio del estudio de caso donde se aplique, ya que trabaja directamente a base de problemas presentados y sus propuestas para solución.

Tiempo requerido: Aproximadamente 2 a 3 horas para un ejercicio completo. Se contempla uno o dos periodos intermedios de receso, a criterio y solicitud de los participantes.

Recursos necesarios: Equipo de cómputo, Internet, un motor de IA, sillas, mesas, pizarrón y marcadores.

Metodología: Se realiza una reunión entre los participantes para elegir estrategias que den solución a los problemas tenidos. Al inicio la IA propone las guías de acción y después la ciudadanía elige, cual de esas propuestas impacta de mejor manera en su comunidad. El aplicador funge con mediador y coordinador del evento.

Paso 1.- Se convoca a los participantes y se prepara el escenario para la realización de la planeación participativa.

Paso 2.- Se alimenta la IA para contextualizarla sobre el caso a trabajar. Los criterios de alimentación corresponden a cada aplicador, escenario y ciudadanía.

Paso 3.- A base de los problemas que se tengan, se pregunta a la IA propuestas de solución.

Paso 4.- Una vez listadas en la matriz todas las propuestas de estrategias, la ciudadanía vota a mano alzada, para elegir las pertinentes y desechar la inadecuadas.

Paso 5.- Al final la matriz tendrá identificadas las estrategias que, a base del voto ciudadano, se consideran serán las que se necesiten para afrontar los problemas que se pretenden erradicar.

Figura 3 Ficha técnica de planeación participativa con IA 1.

Ejemplo de matriz para la planeación participativa por IA

Problema	Propuesta de solución por la IA	Discusión	Número de votos	Estatus.
Disminución constante de recurso hídrico que abastece la red de agua comunal.	Recuperación y conservación de fuentes de agua alternativas.	Aplica tal y como se presenta.	5/5	**Aceptada**
	Mejora de la eficiencia en la distribución de agua.	Aplica tal y como se presenta.	4/5	**Aceptada**
	Promoción de prácticas de uso responsable del agua.	Aplica tal y como se presenta.	5/5	**Aceptada**
	Captación y almacenamiento de agua de lluvia.	No se acepta dada la resistencia a la participación con actores externos.	0/5	**Denegada**
	Fortalecimiento de la participación comunitaria.	Aplica tal y como se presenta.	5/5	**Aceptada**
	Educación en conservación del agua desde temprana edad.	Aplica tal y como se presenta.	5/5	**Aceptada**
	Evaluación periódica y ajuste de estrategias.	Aplica tal y como se presenta.	5/5	**Aceptada**
	Programas de capacitación técnica local.	Aplica tal y como se presenta.	5/5	**Aceptada**
	Plan de contingencia y respuesta a emergencias.	Aplica tal y como se presenta.	5/5	**Aceptada**

Resultados:

- 10 propuestas trabajadas.
- Nueve propuestas aceptadas.
- Una propuesta denegada.

Observaciones:

- La inasistencia del total de los convocados no representó problema alguno.
- El que el aplicador (investigador) perteneciera a la comunidad facilitó en demasía el ejercicio, dada su contextualización con el caso.

Figura 4 Ficha técnica de planeación participativa con IA 2.

Para validar la pertinencia de las estrategias propuestas por la IA, el aplicador realizó una conferencia Delphi, a través de un comité de expertos. Delphi es un *"método para sondear a un grupo sobre sus ideas sobre el futuro, particularmente cuando es probable que ocurra un evento específico o cuál será una cantidad específica en fechas determinadas. El sondeo es anónimo, por lo que ningún individuo puede dominar o influir indebidamente al grupo hacia sus estimaciones"* (Glenn y Gordon, 2009:2).

Según Grime y Wright (2016), una estructura clásica del método Delphi comienza con la emisión anónima de juicios, ya sea de forma verbal o escrita, por parte de un comité de expertos. Estos juicios se emiten en función de la probabilidad de que un escenario propuesto se desarrolle en el futuro. Luego, mediante un proceso de consenso, se conservan

los juicios más validados y se descartan aquellos con menor apoyo. Si no se alcanza una solución factible tras esta primera ronda, los expertos tienen la oportunidad de realizar una nueva selección de juicios relevantes. Este proceso se repite para analizar y retroalimentar el grupo a un nivel más detallado, hasta lograr el consenso necesario sobre la mejor solución al problema planteado.

El comité de expertos se conformó por cuatro representantes afectados y por cuatro especialistas de la materia. Los primeros, son aquellos que no poseen conocimiento científico especializado en torno al caso abordado, pero el hecho de encontrarse inmersos dentro de este les faculta a considerarse expertos, dada la experiencia y el empirismo que han adquirido a lo largo del tiempo, esto es, conocen mejor que nadie el objeto de estudio.

Los segundos, son aquellos que sí cuentan con una base teórica y práctica científica, lo que los valida como expertos por el bagaje de conocimiento que la ciencia, les soporta; a lo que Almenara y Moro (2014) clasifican, citando a Landeta, como expertos especializados (EE) y expertos afectados (EA), respectivamente.

La conferencia Delphi se desarrolló en una ronda, esto en función de la heterogeneidad del comité de expertos de pertenecer a estructuras funcionales distintitas, dentro del estudio de caso (Sajesh, 2018). A diferencia del ejercicio Delphi que suele ser tardado al contemplar múltiples rondas de ejecución, la modalidad de conferencia garantiza entre lo más destacado, una simplicidad en su aplicación lo que reduce tiempos, y una amplitud de ejecución en cuestión de espacio geográfico, lo que permite su desarrollo de manera remota, ya que, *"no es necesario que el grupo de expertos se encuentre físicamente en un mismo sitio"* (Vélez, 2003:5).

El instrumento utilizado en la conferencia Delphi (ver Figura 5), se aplicó a cada uno de los ocho miembros del comité de expertos, de manera individual y documentalmente anónima. Los resultados cualitativos obtenidos, se operaron bajo escala Likert para cuantificar la validación de la propuesta de solución.

Cada propuesta pudo tener un umbral bajo de validación de 8pts., como mínimo y 40pts., como máximo, considerado el más alto. Una vez obtenidos los resultados de validación, se convirtieron en porcentaje, para robustecer la percepción del impacto de la misma.

Los resultados arrojados en el ejercicio de aplicación del Delphi, se interpretan a continuación y se detallan en la Tabla 2. Las estrategias (de Est1 a la Est10) para afrontar el primer problema de disminución constante de recurso hídrico que abastece la red de agua comunitaria presentaron un porcentaje general de aceptación muy alto, con un 98.5% y un promedio Likert de 4.925 puntos, definiéndose dados los siguientes parámetros:

1: Muy bajo (8-14 puntos).
2: Bajo (15-21 puntos).
3: Medio (22-28 puntos).
4: Alto (29-35 puntos).
5: Muy alto (36-40 puntos).



INSTRUMENTO DE VALIDACIÓN

El presente instrumento tiene como objetivo, recopilar su opinión de acuerdo a su experticia, de las propuestas de solución al problema de **disminución del recurso hídrico**, resultantes de una planeación participativa previa, mediante las siguientes respuestas de opción múltiple, para su validación.

Instrucciones. Seleccione con la mayor veracidad posible, los siguientes cuestionamientos que el encuestador le aplicará. En el caso que lo solicite, responda lo más detalladamente posible.

ID de Experto:_____

1. Sobre la propuesta de **Recuperación y conservación de fuentes de agua alternativas** que implica, realizar un estudio exhaustivo para identificar otras fuentes de agua cercanas a la comunidad y desarrollar planes para su recuperación y conservación, con el fin de diversificar las fuentes de abastecimiento y reducir la dependencia exclusiva del ojo de agua Amalacaxco; usted la encuentra:

☐Muy de acuerdo
☐De acuerdo
☐Ni de acuerdo ni desacuerdo
☐Desacuerdo
☐Muy desacuerdo

Si considera necesario, retroalimente a detalle esta propuesta: _____

2. Sobre la propuesta de **Mejora de la eficiencia en la distribución del agua** que implica, evaluar el sistema de distribución de agua actual y buscar formas de mejorar su eficiencia, como la reparación de fugas, la optimización de la red de tuberías y la implementación de tecnologías de control y medición del consumo; usted la encuentra:

☐Muy de acuerdo
☐De acuerdo
☐Ni de acuerdo ni desacuerdo
☐Desacuerdo
☐Muy desacuerdo

Si considera necesario, retroalimente a detalle esta propuesta: _____

3. Sobre la propuesta de **Promoción de prácticas de uso responsable del agua** que implica, realizar campañas de concientización y educación para promover el uso responsable del agua entre los habitantes de la comunidad, enfatizando la importancia de evitar el desperdicio y adoptar prácticas de consumo eficiente en los hogares y comercios; usted la encuentra:

☐Muy de acuerdo
☐De acuerdo
☐Ni de acuerdo ni desacuerdo
☐Desacuerdo

Figura 5 Instrumento de validación para conferencia Delphi.

	EA01	EA02	EA03	EA04	EE01	EE02	EE03	EE04	Suma	%	Promedio Likert
Est1	5	5	5	5	5	4	5	5	39	97.5	4.875
Est2	5	5	5	5	5	4	5	5	39	97.5	4.875
Est3	5	5	5	5	5	4	5	5	39	97.5	4.875
Est4	5	5	5	5	5	5	5	4	39	97.5	4.875
Est5	5	5	5	4	5	5	5	5	39	97.5	4.875
Est6	5	5	5	4	5	5	5	5	39	97.5	4.875
Est7	5	5	5	5	5	5	5	5	40	100	5
Est8	5	5	5	5	5	5	5	5	40	100	5
Est9	5	5	5	5	5	5	5	5	40	100	5
Est10	5	5	5	5	5	5	5	5	40	100	5
Total	50	50	50	48	50	47	50	49	394	98.5	4.925

Tabla 2 Cuantificación del Método Delphi, con Likert.

Por un lado, las estrategias más votadas se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Estrategias más votadas.

Número de estrategia	Detalle de estrategia
Estrategia 7.	Educación en conservación del agua desde temprana edad.
Estrategia 8.	Evaluación periódica y ajuste de estrategias.
Estrategia 9.	Programas de capacitación técnica local.
Estrategia 10.	Plan de contingencia y respuesta a emergencias.

Por otro lado, las estrategias menos favorecidas se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4 Estrategias menos votadas.

Número de estrategia	Detalle de estrategia
Estrategia 1.	Recuperación y conservación de fuentes de agua alternativas.
Estrategia 2.	Mejora de la eficiencia en la distribución del agua.
Estrategia 3.	Promoción de prácticas de uso responsable del agua.
Estrategia 4.	Captación y almacenamiento de agua de lluvia.
Estrategia 5.	Investigación y desarrollo de tecnologías sostenibles.
Estrategia 6.	Fortalecimiento de la participación comunitaria.

El participante que evaluó más bajo que el resto se identifica como EE02 (Experto Especializado); mientras que los participantes EA01 (Experto Afectado), EA02, EA03, EA04, EE01, EE02, EE03, evaluaron con la más alta calificación posible.

Descrito lo anterior, se concluye que, para afrontar el reto de disminución constante de recurso hídrico que abastece la red de agua comunal, en la cabecera municipal de Atlautla, Estado de México, la recuperación y conservación de fuentes de agua alternativas, la mejora de la eficiencia en la distribución de agua, la promoción de prácticas de uso responsable del agua, el fortalecimiento de la participación comunitaria, la educación en conservación del agua desde temprana edad, la evaluación periódica y ajuste de estrategias, los programas de capacitación técnica local y, la planeación de contingencia y respuesta a emergencias; resultan ser propuestas de estrategias pertinentes, para afrontarlo.

Su pertinencia recae, tanto en la aceptación de la población quien funge como actor único, en la gestión del sistema de reparto hídrico comunitario de Atlautla, como en la validación del comité experto conformado para la conferencia Delphi.

De forma paralela, se concluye que, para afrontar los retos que circundan al sistema comunitario de agua de Atlautla, aunados al aquí abordado, los ejercicios participativos de planeación de estrategias, apoyados con IA, resultan pertinentes.

Discusión

Los mecanismos implementados en los dos momentos referidos a lo largo del capítulo, resultan adecuados para la identificación de los problemas circundantes al sistema hídrico comunitario de Atlautla. Esto es, los diálogos con grupos de trabajo de la localidad, las entrevistas semiestructuradas y los

relatos hablados con la población, permitieron contextualizar en primera instancia, el estudio de caso.

De la misma forma, las dos entrevistas semiestructuradas ejecutadas posteriormente entre los años 2022 y 2023, con quienes han ocupado el puesto de "presidente" del comité comunitario de agua; permitieron obtener información confiable de los retos circundantes a la red, debido a la naturaleza del puesto que ocupan en el comité de agua, y de las funciones que a este le corresponden.

No obstante, la falta de información "oficial" validada y/o emitida por alguna institución gubernamental, al igual que la inexistencia de algún documento físico o placa conmemorativa que plasme la memoria del pueblo por escrito, limita bastante la validación de estos conflictos, por algún método cuantitativo, restringiendo a este nivel, la gestión integral del recurso.

Es necesario destacar la vinculación de herramientas tecnológicas emergentes, como lo es la IA, en el campo de las ciencias sociales. El uso de la IA en el ejercicio participativo para identificar las estrategias de solución al reto de disminución hídrica, no sólo permitió partir de una base sólida conformada por la conjunción de la base de conocimientos con la que trabaja la IA, por su naturaleza misma, sino que, su aplicación trae consigo ventajas como, la simplificación de la tarea de generación de propuestas pertinentes, dado el desconocimiento natural de temas específicos, circundantes a la red de agua, por parte de la población.

Sin embargo, la replicabilidad del uso de la IA en otras localidades con características similares al caso de Atlautla, en ejercicios participativos para generar estrategias que contravengan los retos que le circunden; se encuentra en función del acceso tecnológico y el conocimiento de su uso, en dichas localidades, destacando el dato que, este tipo de autogestión hídrica predomina en zonas rurales (López, 2012), lo que explica tanto esta relación, como la limitación de una gestión integral.

Por último, las diez estrategias resultantes del ejercicio participativo asistido por IA, tienen un gran potencial para mejorar la gestión integral del recurso hídrico, en el sistema de reparto comunitario de agua de Atlautla. Este potencial radica, en el enfoque integral y multidisciplinario contemplado en la generación de las estrategias, y lo que esto conlleva; y se fortalece, de la validación del comité experto conformado por pobladores con preparación académica en temas hídricos, y por pobladores que se encuentran inmersos en la gestión del sistema de reparto comunitario.

Si bien, apoyarse de las tecnologías computacionales resulta una práctica cada vez más utilizada en ejercicios de ciencias sociales, la intervención de expertos en el tema, como en el caso aquí abordado, puede dar certidumbre ante la resistencia al cambio originada por factores como usos y costumbres, que limitarían la gestión con una perspectiva integral.

Conclusiones

La planeación participativa estribada en la IA, para la gestión del sistema hídrico comunitario de Atlautla, resultó ser una estrategia pertinente para la formulación de propuestas de solución al problema relacionado con la disminución del recurso hídrico. Su pertinencia no sólo se debe a que, permitió la identificación de diez estrategias dirigidas a combatir la disminución del recurso que abastece el sistema de agua comunitario, sino que, posibilitó la ejecución misma del estudio, dada la negativa del comité comunitario de agua, de que participen actores ajenos a la población en la gestión del sistema de reparto.

La IA como herramienta generadora de estrategias de solución a los problemas vinculantes a la red de agua comunitaria, no sólo resulta ser una incorporación tecnológica novedosa, dada su reciente utilización comercial, sino que, las ventajas en cuestión de tiempo al reducir este en los ejercicios participativos, en certeza de los resultados obtenidos, derivado de la naturaleza misma del funcionamiento de la IA y, la simplificación de recurso materiales, humanos, espaciales y monetarios; aportan en su justa proporción, en la innovación del proceso de ejercicios participativos, enfocados a la gestión integral del recurso hídrico.

Referencias bibliográficas

Almenara, J., y Moro, A. (2014). Empleo del método Delphi y su empleo en la investigación en comunicación y educación. EDUTEC. Revista electrónica de tecnología educativa, (48), a272-a272.

Chowdhury, M., y Sadek, A. (2012). Advantages and limitations of artificial intelligence. Artificial intelligence applications to critical transportation issues, 6(3), 360-375.

Clemente, L., Marcos, M., y Mendoza, L. (2015). Gestión y usos del agua desde la perspectiva de la mujer. El caso del municipio de Tecoanapa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1, 59-66.

Del Pozzo, A., Alatorre, I., Arana, S., Bonasia, R., Capra, P… y Tellez, U. (2017). Estudios geológicos y actualización del mapa de peligros del volcán Popocatépetl. Memoria técnica del mapa de peligros del volcán Popocatépetl. Monografías 22. Instituto de Geofísica. UNAM. México.

Geilfus, F. (2009). 80 herramientas para el desarrollo participativo. IICA.

Glenn, J., y Gordon, T. (2009). Futures research methodology-version 3-0. Gordon (Ed.). Washington, DC: Millennium Project.

Gómez, H. (2012). Planeación participativa intercultural: reflexiones para el trabajo social. Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible 8(2): 261-291.

Grime, M., y Wright, G. (2016). Delphi method. Wiley StatsRef: Statistics reference online, 1, 16.

Gutiérrez, V., Nazar, A., Zapata, E., Contreras, J., y Salvatierra, B. (2013). Género y participación de las mujeres en la gestión del agua en las subcuencas Río Sabinal y Cañón del Sumidero, Berriozábal, Chiapas. La ventana. Revista de estudios de género, 4(38), 246-276.

INEGI. (2010). Compendio de información geográfi¬ca municipal 2010 Atlautla México.

INEGI. (2020). Principales resultados por localidad (ITER) 2020.

INEGI. (2024). Espacio y Datos de México https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/default.aspx?ag=15015

Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., ... y Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. Stroke and vascular neurology, 2(4).

Korstanje, F. (2009). Planeación participativa: herramientas para el desarrollo local en comunidades rurales. Estudios Agrarios, 15(42), 9-37.

López, V. (2012). Sistemas de deshielo en los volcanes: tipos de organización para el abastecimiento de agua potable. Tesis de maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, 213pp.

López-Bravo, E. (2024). Planeación participativa para eficientar el reparto de agua de la red comunitaria en Atlautla, Estado de México. Tesis de doctorado en Innovación, CIECAS-IPN, 194pp.

McCarthy, J. (2007). What is artificial intelligence. Computer Science Department Stanford University Stanford, CA 94305.

Mughal, F., Wahid, A., y Khattak, M. (2022). Artificial Intelligence: Evolution, Benefits, and Challenges. In: Garg, S., Aujla, G.S., Kaur, K., Hassan Ahmed Shah, S. (eds) Intelligent Cyber-Physical Systems for Autonomous Transportation. Internet of Things. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-92054-8_4

Mussetta, P. (2009). Participación y gobernanza. El modelo de gobierno del agua en México. Espacios públicos 12(25): 66-84.

Oracle. (2024). ¿Qué es la IA generativa? ¿Cómo funciona? https://www.oracle.com/mx/artificial-intelligence/generative-ai/what-is-generative-ai/

Padilla, M. (2020). Los proyectos comunitarios, una visión de desarrollo desde el escenario turístico rural. Revista Universidad y Sociedad, 12(3), 14-19.

Sajesh, V. (2018). Delphi method: An overview. Scientist, ICAR-CIFT, Cochin.

Soares, D. (2006). Mujeres, agua, leña y desarrollo: estudio de caso sobre género y recursos naturales en los Altos de Chiapas. Gestión y cultura del agua, 2, 293-312.

Terrones-Cordero, A. y Sánchez-Torres, Y. (2010). Planeación participativa: Teoría y práctica. Plaza y Valdés-uaeh, México.

Vélez-Pareja, I. (2003). No. 002524. Master Consultores.

20 Mujeres promotoras de soluciones basadas en la naturaleza en el Bosque de Agua, Morelos, México: retos ante el cambio climático. Hacia la gestión integral del agua en la Megalópolis de México. Caso de la cuenca del Balsas, subcuenca del río Apatlaco

Jazmín González-Zurita[1]*, Úrsula Oswald Spring[2]

[1]Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de México (*autor de correspondencia: jazmingonzalezzurita@gmail.com); [2] Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Autónoma de México

Resumen

Esta investigación analiza la colaboración con mujeres involucradas en la gestión del bosque de agua en Morelos, sus obstáculos y el potencial de co-creación en procesos adaptativos ante efectos adversos del cambio climático, especialmente por la falta de agua destinada al consumo humano y servicios. Mediante una investigación participativa se colaboró con grupos de mujeres organizadas que custodian zonas de bosque mesófilo dentro del Bosque de Agua. El diagnóstico, el mapeo de actores y los talleres participativos permitieron analizar los riesgos y las vulnerabilidades, los servicios ecosistémicos existentes, así como posibles alternativas de adaptación desde un enfoque basado en la naturaleza. Se priorizaron las acciones factibles en conjunto con las interesadas desde un intercambio de saberes. Identificando alternativas de soluciones adaptativas basadas en la naturaleza. Los efectos del cambio climático a nivel local han mostrado múltiples impactos económicos y políticos complejos. Se corroboró la premisa de que los efectos del cambio climático son desiguales, afectando de manera más severa a los grupos más vulnerables (y de manera específica a las mujeres), mismas que son regularmente las más desfavorecidas en términos económicos, sociales, culturales y políticos al depender directamente de los recursos naturales. Así mismo, se analizó el potencial de los grupos organizados de mujeres como agentes de adaptación a los efectos adversos del cambio climático.

Introducción

La importancia del papel de las mujeres como promotoras de la adaptación a los efectos adversos del cambio climático es cada vez más evidente. El acercamiento teórico "Género, Medio ambiente y Desarrollo" promueve la inclusión de las mujeres en el análisis del desarrollo sustentable. Este acercamiento teórico parte de las premisas del Enfoque Género en el Desarrollo (GED por sus siglas en inglés) para diseñar e implementar políticas de desarrollo, donde las mujeres son factores claves en la adaptación de los efectos adversos del cambio climático (Velázquez, 1996; Skinner, 2011) GED considera que género no solo es hablar de mujeres, sino de las relaciones de estas con los desastres naturales inmersos en sistemas sociales, donde se revelan las estructuras de poder. En este enfoque las mujeres y la sociedad en general son afectadas por la degradación ambiental y la variabilidad del clima. Sin embargo, también reconoce que las mujeres son usuarias, consumidoras y conocedoras de los recursos naturales y pueden convertirse en agentes de cambio (Arellano-Montoya, 2003). Así mismo, se reconoce que las mujeres suelen ser las responsables de recoger, almacenar y controlar el uso del agua en sus hogares. Ellas conocen normalmente la calidad y fiabilidad de los recursos hídricos locales y buscan solucionar los problemas referentes a las necesidades básicas de las familias.

La Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer (CEDAW por sus siglas en inglés), argumentaba desde 1979 que la discriminación contra la mujer es un obstáculo importante en su participación y genera desigualdad en la vida política, social, económica y

cultural. Esta obstaculización limita la prosperidad general de la sociedad y de las familias, así como su pleno desarrollo en beneficio de su país y de la humanidad (ACNUDH, 2024).

Los Principios de Dublín, establecidos durante la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente de 1992, reconocen específicamente el papel central de la mujer en el suministro, la gestión y la salvaguarda del agua. Asimismo, la Plataforma de Acción de Pekín de 1995 incluye un capítulo específico (IV G) sobre las mujeres en cargos de poder y toma de decisiones, con los objetivos estratégicos de garantizar la igualdad de acceso y la plena participación en la toma femenina de las decisiones, lo que aumenta su capacidad de liderazgo (ONU Mujeres, 2014).

En 2010, las Naciones Unidas reconocieron oficialmente el acceso al agua potable y al saneamiento como un derecho humano fundamental. Esta declaración insta a promover la participación plena e igualitaria de las mujeres como agentes de cambio en los procesos de las tomas de decisiones relacionadas con el agua (Asamblea General de las Naciones Unidas, 2010).

Aunque estos acuerdos, declaraciones internacionales y marcos teóricos hacen hincapié en la necesidad de un mayor reconocimiento de la importancia y participación de las mujeres en la toma de decisiones respecto al recurso hídrico, la aplicación en la realidad ha ido lento como lo afirma la ONU Mujeres en su contribución a la OACDH (por sus siglas en inglés) sobre el derecho a la participación en los asuntos públicos y el análisis de UNESCO-WWAP (por sus siglas en inglés) de género en el sector del agua (UNESCO, 2021).

Por otro lado, el Compromiso mundial de “no dejar a nadie atrás” en la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible considera que las mujeres son por lo general social y políticamente excluidas (Fukuda-Parr and McNeil, 2019). Estas desventajas limitan las posibilidades de acceder a las instituciones, redes, sistemas de apoyo económico y social para mejorar su situación. Pocas veces son tomadas en cuenta en el desarrollo de las políticas. Por lo mismo, corren mayores riesgos de no gozar de derechos civiles, culturales, económicos, políticos y sociales. Al quedarse sin acceso a la educación, al agua, la vivienda, la protección social y los servicios básicos conlleva que su vulnerabilidad al cambio climático aumente (Oswald, 2023).

Alcanzar las metas de los ODS implica grandes desafíos al abordar las causas profundas e históricas de la discriminación. Este reto mundial de la Agenda 2030 implica enfocar esfuerzos en las y los excluidos social y políticamente. Implica involucrar a instituciones, redes, sistemas de apoyo económico y la sociedad para superar estas desigualdades. En el desarrollo de políticas, las personas excluidas corren riesgos mayores de carecer de derechos civiles, culturales, económicos, políticos y sociales (UNSDG, 2019).

Aunado a esto, el cambio climático conlleva complejos retos adicionales, donde la vulnerabilidad socioambiental distribuye los riesgos de manera desigual. El cambio climático evidencia además las inequidades subyacentes y refleja también el deterioro ambiental en los Sistemas Socio-ecologicos Complejos (SES por sus siglas en inglés). Las y los actores involucrados en este proceso están inmersos en entramados de intereses patriarcales, económicos, políticos, de desigualdad de género y de destrucción ambiental (Sánchez-Santillán et al., 2015; González-Zurita and Oswald-Spring, 2024). Las personas más vulnerables son regularmente las más desfavorecidos en lo económico, social, cultural, político o ambiental. Muchas veces, las mujeres experimentan los efectos negativos del cambio climático. Quedarse sin acceso a educación, agua potable, saneamiento, vivienda, protección social y otros servicios básicos conlleva mayor vulnerabilidad al cambio climático (UNSDG, 2019). El IPCC reconoció en el 2001 dicho impacto diferenciado por las exposiciones distintas a factores sociales y culturales de sexos (Oficina Española de Cambio Climático (OECC), 2017; IPCC, 2019; Kikstra et al., 2022).

El PNUD en su Informe sobre Desarrollo Humano (2019) mencionó que grupos sociales están significativamente desfavorecidos en función de su género, etnia, clase o casta. Las desigualdades de género representan la forma más arraigada, cuyas desventajas afectan a más de la mitad de la población mundial y se ha convertido en un obstáculo muy significativo para el desarrollo sustentable (PNUD, 2019).

Se estima que mujeres y niña/os son además propensos a enfermedades relacionadas con el calor y la mala calidad de agua, agravadas por falta de alimentos sanos. Durante tormentas, inundaciones, huracanes y otros eventos extremos, los grupos vulnerables enfrentan riesgos mayores por la discriminación cultural, la menor movilidad y sus roles de cuidar a los demás. En las políticas inclusivas se vuelve crucial promover y reconocer un papel activo y resiliente de los grupos de mujeres organizadas (IPCC, 2014, 2024).

Las inequidades de género se construyeron histórica y socialmente como reflejo de las estructuras de poder patriarcal, del cual las mujeres fueron despojadas hace miles de años (Reed, 1975). Ahora por lo regular disponen de menos poder en la toma de decisiones familiares, aunque absorben la carga del trabajo doméstico no remunerado. Sufren por inseguridad en el acceso a la propiedad, los recursos financieros y naturales, la falta de oportunidades laborales igualmente remunerados, menor capital político y otras discriminaciones. Estas inequidades provocan vulnerabilidades diferenciadas frente al cambio climático y generan un círculo vicioso, ya que el cambio climático tiende a aumentar las desigualdades de género (Oswald, 2023). Contrario a lo que se piensa comúnmente, la vulnerabilidad no es neutra en el tema de género, donde la construcción social refleja las concepciones culturales del papel que debería juegan en una sociedad determinada (McGregor, 2010).

Esta vulnerabilidad diferenciada con perspectiva de género se vuelve más compleja al integrar la doble vulnerabilidad (ambiental y social) (Figura 1), misma que se vincula con la contaminación y la escasez de agua, intensificada por el impacto climático, la pérdida de fertilidad en los suelos y el deterioro de los servicios ecosistémicos. Esta vulnerabilidad es influenciada por factores sociales como el abatimiento de acuíferos, la privatización de servicios de salud, mala alimentación, desigualdad, discriminación de género, pueblos originarios y pobreza (Wisner, 2003; Oswald , 2014).



Figura 1.Vulnerabilidad diferenciada con perspectiva de género. A partir de causas sociales de los desastres (Wisner, 2003)

En la medida que se construyan capacidades de adaptación frente al cambio climático se reduce la doble vulnerabilidad entre grupos sociales, género, regiones y ecosistemas, ofreciendo condiciones de desarrollo sostenible que permitan alcanzar la Agenda 2030 y cumplir con el Derecho Humano al Agua y Saneamiento (DHAS). Desarrollar esta capacidad adaptativa es crucial para grupos socioambientales más vulnerables, tanto en la recuperación de los ecosistemas como en el involucramiento activo de las mujeres para reducir los riesgos.

Ante mayores riesgos, se ha observado el surgimiento de iniciativas lidereadas por mujeres con un enfoque de “soluciones basadas en la naturaleza”. Buscan aprovechar a los recursos que brinda la naturaleza para abordar desafíos socioambientales locales y regionales, como son la disminución de la disponibilidad de agua o los riesgos relacionados con el cambio climático (WWF, 2024). De la misma forma, la idea de “Economía del Cuidado” desarrollado por la CEPAL busca priorizar la sostenibilidad de la vida, articulando el cuidado de las personas y el planeta con el fin de revertir la desigualdad social y de género (CEPAL, 2021).

El estudio presente se refiere a la zona denominada “Bosque de agua” y representa aproximadamente 800,000 hectáreas de bosques y pastizales de montaña, comprendidos entre los estados de Morelos, Estado de México y Ciudad de México; forma parte de la Megalópolis del Centro de México. Esta región tiene una gran relevancia ambiental y social a nivel nacional por su valor biológico y su importancia en la provisión de servicios ambientales y ecosistémicos, pero es también la zona que genera

el mayor PIB del país. El agua que se consume en la zona metropolitana de Cuernavaca depende, en gran medida, de la recarga hídrica y la infiltración hacia los acuíferos (Jaramillo et al., 2018; Oswald, 2023; Jaramillo and Oswald-Spring, 2024).

Metodología

Mediante investigación participativa se analizaron grupos de mujeres originarias de la comunidad de Santa María Ahuacatlán, Cuernavaca y Huitzilac en Morelos, pertenecientes al polígono del Bosque de Agua. Estas comunidades custodian más de 2,000 hectáreas de bosque mesófilo. Se estudió el papel de los grupos de mujeres organizadas como agentes de cambio, sus obstáculos, experiencias y su potencial co-creador en procesos adaptativos ante los efectos adversos del cambio climático y la reducción de la disponibilidad del agua en cantidad y calidad.

Se estableció un mapeo de actores, un diagnóstico y talleres participativos que permitieron generar información acerca de las acciones realizadas, riesgos y vulnerabilidades específicas, así como un mapeo de servicios ecosistémicos existentes y posibles alternativas de adaptación desde un enfoque de soluciones basadas en la naturaleza.

Se realizó colectivamente un análisis de riesgos y de vulnerabilidades comunitarias, empleando como base la herramienta CRiSTAL (Community-bases Risk Screening Tool-Adaptation and Livelihoods), desarrollada por la IUCN y IISD para identificar riesgos y vulnerabilidades comunitarias. El mapeo participativo de servicios ecosistémicos se basó la herramienta TESSA (Evaluación de Servicios Ecosistémicos a Escala de Sitio) *IUCN-BridLife International. Con base en los resultados de estos procesos participativos se identificaron posibilidades de adaptación al cambio climático basadas en la naturaleza y la inclusión de género.

Resultados

Esta región se caracteriza por una marginación elevada, rezagos educativos, inseguridad, violencia por el crimen organizado, tala ilegal, conflictos locales, discriminación de género, falta de acceso a servicios básicos; pero, a la vez con una riqueza biológica importante y una alta dependencia a los servicios ecosistémicos (García-Barrios et al., 2007; Jaramillo et al., 2018; COESPO, 2020).

Las mujeres expresaron los cambios notados en las temporadas de lluvias y secas, una mayor temperatura, menor disponibilidad de agua, abatimiento de manantiales y arroyos y alteraciones en los ciclos de siembra. Las principales amenazas se suman a grandes retos característicos de estas zonas relacionadas con la tala ilegal, urbanización, y conflictos entre comunidades.

Se identificó como resultado de los talleres la importancia de disponer de proyecciones climáticas para la zona, identificar las amenazas, los grupos más vulnerables y que las instituciones locales tengan acceso a la información actualizada, local y confiable. Concuerdan en priorizar planes de adaptación, conocer las especies vegetales resistentes a la sequía aprovechando su conocimiento ancestral, identificar áreas de conservación de la biodiversidad, reforestaciones con especies nativas y características del bosque monitoreado por ellas. Mostraron su capacidad de respuesta para captar agua de lluvia, sanear y reusar el agua, establecer espacios de participación e intercambio de información, Falta, además, concientizar a las autoridades y realizar acciones capaces de rehabilitar el manantial, donde se apoye, capacite y se empodere más a las iniciativas locales.



Figura 2. Entrevistas y proceso participativo

Conclusiones

El cambio climático mostró múltiples impactos complejos entre las actoras involucradas, con entramados económicos, culturales y políticos complejos. Se confirmó la premisa de que los efectos del cambio climático se distribuyen desigualmente, donde los grupos más vulnerables son comúnmente las más desfavorecidas económica, social, cultural y políticamente, al depender directamente de los recursos naturales y no contar con apoyo gubernamental. La Tabla 1 muestra las principales problemáticas, relacionadas con la escasez de agua para uso y consumo humano y la pérdida de la cobertura vegetal por tala ilegal. Como oportunidades se resalta la capacidad de desarrollar iniciativas locales para realizar medidas de adaptación ante estos retos.

Los grupos analizados representan un ejemplo de un proceso adaptativo efectivo de abajo hacia arriba que surgió y se ha mantenido por el interés de las mujeres. Numerosos son los obstáculos y retos que estas iniciativas enfrentan. Desarrollar resiliencia frente al cambio climático requiere de políticas, programas y prácticas sensibles al género, basadas en evidencias, que permitan acceder a una adecuada comprensión de las causas profundas de las desigualdades de género. Para superarlas, sería necesario contar con datos desagregados por sexo o grupo vulnerable y elaborar análisis con perspectiva de género que permitan visibilizar las repercusiones diferenciadas del cambio climático en mujeres, establecer líneas base e implementar acciones que aporten a cerrar las brechas de género, así como generar sistemas de medición, seguimiento de los progresos y de rendición de cuentas, en relación con la integración de género en políticas climáticas. Es vital reconocer el papel crucial que desempeñan los grupos de mujeres organizadas como agentes de cambio y de adaptación ante los retos socioambientales actuales.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para las mujeres promotoras de la adaptación al cambio climático y soluciones basadas en la naturaleza en el Bosque de Agua, Morelos

Número de estrategia	Detalle de estrategia
Escasez de agua para uso y consumo	Aprovechar y fortalecer las iniciativas de organización lidereadas por mujeres en la zona de bosque de agua con acciones de cosecha de agua de lluvia, contar con proyecciones climáticas de la zona, apoyo para rehabilitar los manantiales, ajustar los ciclos de siembra, saneamiento y reúso de aguas servidas, así como un manejo integral del territorio, donde las mujeres se convierten en usufructuarias de las tierras comunales y ejidales.
Tala ilegal, frecuentemente en manos del crimen organizado	Fortalecer sus iniciativas para conservar la biodiversidad y establecer vigilancias comunitarias. Realizar restauraciones ecológicas y manejar integralmente al bosque.

Referencias bibliográficas

ACNUDH (2024). Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer. Disponible en: https://acnudh.org/

Arellano-Montoya, R. (2003). Género, medio ambiente y desarrollo sustentable: un nuevo reto para los estudios de género. Revista de estudios de género. La ventana. Vol. 2(17), 79-106.

Asamblea General de las Naciones Unidas (2010). Resolución A/RES/64/292. Disponible en: https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml#:~:text=El%2028%20de%20julio%20de,de%20todos%20los%20derechos%20humanos.

CEPAL (2021). La igualdad de género ante el cambio climático. Disponible en: https://www.cepal.org/es/publicaciones/46996-la-igualdad-genero-cambio-climatico-que-pueden-hacer-mecanismos-adelanto-mujeres

COESPO (2020). Consejo Estatal de Población. Disponible en: https://coespo.edomex.gob.mx/

Fukuda-Parr, S., and McNeil, D. (2019). Knowledge and politics in setting ans measuring the SDGs: introduction to special issue. Global policy (S1)10, 11.5-15 doi: 10.1111/1758-5899.12604

García-Barrios, R., Díaz, V., Vázquez, L., and Garzón-Zúñiga, M. (2007). Rescatando el Salto de San Antón. Una historia reciente de construcción institucional. Economía Mexicana, Nueva Epoca XVI, 307–336.

González-Zurita, J., and Oswald-Spring, U. (2024). Modeling water availability under climate change scenarios: a systemic approach in the metropolitan area in Morelos, México. Frontiers in Water 6. doi: 10.3389/FRWA.2024.1466380

IPCC (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.(. Ginebra, Suiza.

IPCC (2019). Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N. Weyer (eds.)]. In press.

IPCC (2024). The Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at: https://www.ipcc.ch/

Jaramillo, F., González, J., and Flores, V. H. (2018). Plan para el Manejo Integral del Sistema de Barrancas del Norponiente de Morelos.

Jaramillo, F., and Oswald-Spring, U. (2024). Diseño del Sistema de Áreas Protegidas, Corredores Biológico-Hidrológicos del Bosque de Agua,. REA-UAMEX.

Kikstra, J. S., Nicholls, Z. R., Smith, C. J., Lewis, J., Lamboll, R. D., and Byers, E. (2022). The IPCC Sixth Assessment Report WGIII climate assessment of mitigation pathways: from emissions to global temperatures. Available at: https://gmd.copernicus.org/articles/15/9075/2022/gmd-15-9075-2022.html

McGregor, S. (2010). Gender and Climate Change: From Impacts to Discourses. PSA.

Oficina Española de Cambio Climático (OECC) (2017). Cambio Climático: Bases Físicas. Guía resumida del quinto informe de evaluación del IPCC. Grupo de trabajo I. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Fundación Biodiversidad.

ONU Mujeres (2014). Declaración y Plataforma de Acción de Beijing. Disponible en: https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/Publicaciones/2015/9853.pdf#:~:text=La%20Declaraci%C3%B3n%20y%20la%20Plataforma%20de%20Beijing,orientaci%C3%B3n%20e%20inspiraci%C3%B3n%20para%20lograr%20la%20igualdad

Oswald, U. (2023). Migración climática y fronteras militarizadas: seguridad humana, de género y ambiental. Frontera norte 35. doi: https://doi.org/10.33679/rfn.v1i1.2292

Oswald. U. (2014). Vulnerabilidad social y género entre migrantes ambientales.

PNUD (2019). Panorama general. Informe sobre Derecho Humano 2019. Más allá del ingreso, más allá de los promedios, más allá del presente: Desigualdades del desarrollo humano en el siglo XXI. Nueva York: PNUD

Sánchez-Santillán, N., de la Lanza-Espino, G., Garduño, R., and Sánchez-Trejo, R. (2015). La influencia antropogénica en el Cambio Climático bajo la óptica de los Sistemas Complejos. Revista Iberoamericana de Ciencias. Disponible en: w.reibci.org

Skinner, E. (2011). Género y cambio climático. Informe general. BRIDGE Development-gender.

UNESCO (2021). Acelerando el logro de la igualdad de género en el ámbito del agua: un Llamado a la acción: documento de posición elaborado por el Grupo de Trabajo de Agua y Género del Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000382984_spa

UNSDG (2019). Leaving no one behind. A UNSDG operational guide for UN contry teams. Disponible en: https://unsdg.un.org/sites/default/files/Interim-Draft-Operational-Guide-on-LNOB-for-UNCTs.pdf

Velázquez, M. (1996). Género y ambiente en Latinoamérica. Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias (CRIM-UNAM).

Wisner, B. (2003). Sustainable Suffering?. Reflections on Development and Disaster Vulnerability in the Post-Johannesburg World. Regional Development Dialogue 24, 135–148.

WWF (2024). Soluciones basadas en la natualeza. Disponible en: https://www.worldwildlife.org/descubre-wwf/historias/en-que-consisten-las-soluciones-basadas-en-la-naturaleza-y-como-pueden-ayudarnos-a-enfrentar-la-crisis-climatica

21 Chimalhuacán, el agua y los olivares

Ixchel Parola-Contreras[1,2*], Georgina Contreras-Santos[1,3] y María del Rocío Santamaría-Cuellar[1,3]

[1]TecNM/Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán (*autor de correspondencia: ixchelparola@teschi.edu.mx);
[2]Red de Investigación Multidisciplinaria Integral 6304/REDP2020;
[3]Cuerpo Académico en formación ITESCHIM-CA-02

Resumen

México enfrenta una profunda crisis hídrica que afecta tanto en áreas urbanas como rurales, en parte debido a la deficiente gestión de recursos hídricos, la contaminación de fuentes y el cambio climático. Chimalhuacán, un municipio del Estado de México, acumula estas problemáticas, con un 40% de su población afectada por la falta de acceso al agua potable, debido a la inoperancia de los pozos y la falta de infraestructura. Aunque se realizan esfuerzos por parte del Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ODAPAS) para reactivar el suministro mediante pipas, la situación persiste, generando quejas y protestas entre los ciudadanos. La pobreza es otro factor significativo en Chimalhuacán, donde el 68.9% de sus habitantes vive en condiciones vulnerables. En este contexto, se resalta el papel de los olivos, no solo como cultivo agrícola, sino como elementos que pueden contribuir al medio ambiente al combatir la contaminación del aire y adaptarse a climas áridos. El olivo es altamente tolerante a la sequía, éste tiene la capacidad de retardar las consecuencias del estrés hídrico provenientes de sus características morfológicas y fisiológicas. Se ha estudiado la recuperación de los frutos con las lluvias. Incentivar su cultivo podría ser parte de una estrategia para mejorar la gestión del vital líquido, promover prácticas agrícolas sostenibles y restaurar ecosistemas. Se requiere una acción coordinada entre el gobierno, la sociedad civil y el sector privado para enfrentar la crisis hídrica, garantizar el acceso equitativo y proteger el medio ambiente, propiciando así un futuro más sustentable y justo para las comunidades afectadas.

Introducción

Los desafíos de México frente a la crisis por la escasez son de urgencia climática y escasez de recursos en un contexto global. Esta situación compromete el acceso para generaciones presentes y futuras, afectando sectores vitales como la agricultura y la industria (Núñez, 2024). Los cinco principales desafíos incluyen: la escasez por distribución desigual de precipitaciones y el cambio climático; la contaminación causada por descargas sin tratar y la falta de infraestructura; la gestión inadecuada a nivel gubernamental por falta de regulación y corrupción; los conflictos socioambientales entre diferentes sectores por su competencia; y la infraestructura hidráulica deteriorada que dificulta la gestión eficiente del recurso.

Abordar estos retos requiere una colaboración integral entre el gobierno, la academia, la sociedad civil y el sector privado, fomentando un uso sostenible y la inversión en infraestructura moderna. Implementar las prácticas agrícolas eficientes y promover su conservación en todos los niveles son cruciales para su preservación y la disponibilidad de los no nacidos. Los olivares son árboles con alta resistencia al estrés hídrico, tienen respuestas fisiológicas y modificaciones en los procesos fotoquímicos, como el potencial hídrico xilemático y la conductancia estomática (Searles et al., 2011; Sofo et al., 2008). Más aún, la conductancia estomática (gs) indica la razón de intercambio de dióxido de carbono y vapor de agua en los estomas de las hojas, regulando la fotosíntesis y la transpiración; el umbral de la gs se determinó en 0.18 mol m-2S-1 como indicador de estrés hídrico en los olivos cv. Arbequina (Ahumada-Orellana et al., 2019). Por otro lado, el aprovechamiento de los desechos de las podas, el orujo y los huesos de las aceitunas pueden llevar a la generación de subproductos como el biochar (Zabaniotou et al., 2015). La superación de

estos desafíos no solo es vital para la supervivencia, sino también para la justicia y equidad social. Las universidades requieren formar capital humano con un enfoque humanista, capaz de promover las soluciones innovadoras para garantizar el acceso equitativo (Chiatchoua & Tomta, 2020). Por lo que el objetivo de este capítulo es incentivar su cultivo podría ser parte de una estrategia para mejorar la gestión, promover prácticas agrícolas sostenibles y restaurar ecosistemas.

Las condiciones del municipio de Chimalhuacán

El oriente del Estado de México pertenece a una sola entidad ubicada sobre una cuenca cerrada de manera natural, y que físicamente está dividida en tres subregiones que pertenecen al municipio de Chimalhuacán. Éste es un territorio conurbado con influencia en los procesos comerciales, de servicios, de transporte, de empleo y de configuración espacial asociado con la periferia de la CDMX (Moreno-Sánchez y Espejel-Mena, 2013, Chimalhuacán en el contexto local, sociourbano y regional).

El municipio de Chimalhuacán tiene una superficie de 73.63 km², que representa el 0.2% de la superficie del Estado de México; dos ejidos integrados por una zona urbana ejidal y el ejido de Santa María Chimalhuacán y dos zonas comunales (Alonso, 1998). El municipio está dividido en cuatro zonas: central, poniente, alta y norte. La zona central (662 Ha) abarca la parte antigua de origen prehispánico a la orilla del Lago de Texcoco y en la falda del cerro Chimalhuachi, con ocupación urbana intensa e irregular, incorporándose al uso urbano predios con actividad agrícola. Mientras que, la zona poniente (443 Ha) presenta fraccionamientos ordenados, que cuentan con la mayoría de los servicios. Por su parte, en la zona alta (860 Ha) se construyen nuevos desarrollos con el trazado de vialidades en los predios con subdivisiones ilegales y escaso equipamiento público en el cerro Chimalhuachi, en la altitud de 2,540 m.s.n.m. Y la zona norte (1,672 Ha), la más extensa y de desarrollos habitacionales en los terrenos desecados del Lago de Texcoco. y equipamiento primario suficiente. En esta zona se encuentra la zona comunal Xochiaca, San Lorenzo y Xochitenco. Por este municipio pasan los ríos Ayotla o Río de la Compañía (Dren 1) y Río Coatepec, que son conductores provenientes de la Ciudad de México y de la región oriente del Estado de México. El Río de la Compañía se encuentra a una altura de 2,600 m.s.n.m; es decir, es más alto que el promedio del territorio municipal, lo que pone en peligro a un sector de la población por inundaciones, fundamentalmente a aquellos que se ubican en colindancias con el municipio de Nezahualcóyotl (Moreno-Sánchez y Espejel-Mena, 2013, Chimalhuacán en el contexto local, sociourbano y regional).

En este municipio viven 736,415 personas, con situaciones de pobreza (67% del total de la población), clasificada en pobreza moderada (54%), mientras que en pobreza extrema la cifra asciende de 12.1 % de los habitantes; en conjunto con altos índices de violencia y rezago económico. A pesar de esto, las principales actividades económicas son las de comercio (58.97%) y servicios no calificados (23.52%) (Baena, 2024). Bajo este contexto y la infraestructura hidráulica deteriorada, miles de habitantes sufren la falta, enfatizándose en 2023 (Figura 1A), debido a que cinco pozos no funcionaron, afectando al 40% de la población que habita en el municipio (Figura 1B). Asimismo, se registraron afectaciones en los pozos: La Palma, Embarcadero, Acuitlapilco, San Agustín II, Vidrieros, La Ladera y Los Olivos en el mismo año (Rojas Garfias, 2024). Los habitantes solventaron la falta del recurso con la compra a las pipas particulares (Figura 1C). Contrariamente, el gobierno local informó que se invirtieron millones de pesos MXN en el mantenimiento de los pozos y se abastece mediante pipas en diferentes colonias y barrios del municipio por el Organismo Descentralizado de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (ODAPAS), reportándose que los pozos “Embarcadero” y “Portezuelos se ven sobreexplotados (Municipio de Chimalhuacán, 2023). Adicionalmente, se invirtieron 10 mio de pesos MXN en la perforación del pozo Vidrieros para dar servicio a seis colonias y del pozo Marco Antonio Sosa que proporciona el vital líquido a más de 20 mil habitantes. Cabe destacar que la demarcación cuenta con 30 pozos, de los cuales se extrae un aproximado de mil 760 litros del vital líquido por segundo (Chimalhuacán Sí, 2017). El mantenimiento de la infraestructura y la inversión en tecnología se agrava cuando las administraciones se quedan sin recursos (Figura 1D), en parte por los adeudos de los habitantes y la inadecuada gestión de los recursos (Victoria, 2024). El panorama en el municipio apunta a que se requieren acciones en todos los ámbitos de gobierno para su cuidado, mantenimiento, inversión en tratamiento de aguas residuales y cuidado del ecosistema.



Figura 1. A) Manifestación de vecinos por falta de agua (González, 2024). B) Colapso de tanque (Salinas, 2023). C) Abastecimiento de agua potable por pipas (Xponencial, 2024). D) Administración sin recursos para el mantenimiento de la infraestructura (Xponencial, 2024).

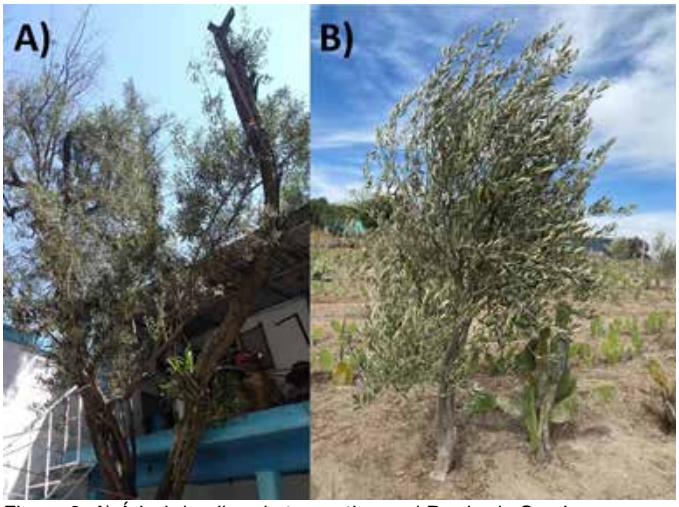


Figura 2. A) Árbol de olivo de traspatio en el Barrio de San Lorenzo, B) Árbol de olivo en cultivo semi-intensivo ubicado en La Ladera; ambas ubicaciones dentro del municipio de Chimalhuacán, Estado de México.

El olivar en Chimalhuacán

Los olivares en esta región no solo representan una fuente vital de ingresos económicos para sus habitantes, sino que también simbolizan una profunda conexión con la cultura y las tradiciones locales. Éstos contribuyen a la equidad socioeconómica y a la protección de la cultura y tradición, dentro del marco de la cultura de la paz. La producción de aceitunas y aceite de oliva no solo proporciona empleos directos en el cultivo, cosecha y procesamiento, sino que también crea oportunidades en sectores secundarios como la comercialización y el turismo agroecológico. Este impulso económico es esencial para combatir la pobreza y reducir las desigualdades socioeconómicas en la región (González, 2023). Al día de hoy se han registrado 31 sitios en los barrios de San Pedro, San Pablo, San Lorenzo, Cabecera, Ladera, Ejido de Santa María, Xochitenco, San Agustín y Xochiaca con árboles de traspatio y cultivos semi-intensivos (Figura 2), registrándose la producción total estimada de 10.6 ton por temporada.

La mayor venta de la aceituna en fresco y en salmuera se hace en la zona oriente del Valle de México (Figura 3), incluyendo la CDMX. El precio de la aceituna de mesa en fresco se oferta en $140 MXN/kg. Las variedades registradas fueron picual, manzanilla, gordal y arbequina. En los recorridos por algunos cultivos y traspatios se ha registrado hasta mayo 2024 que la distribución de las variedades es picual (10%), gordal (7.5%), arbequina (7.5%) y manzanilla (75%). Registrando el Barrio de Xochitenco con la presencia de las variedades anteriormente mencionadas; la variedad manzanilla se cosecha en todos los lugares mencionados anteriormente.



Figura 3. Aceitunas: A) en fresco después de colecta en el cerro Chilmahuachi de la cosecha 2024 en el municipio de Chimalhuacán, Estado de México, B) Aceitunas en salmuera envasadas en vidrio para su curtido (Foto de García, (2024)).

El desarrollo de estrategias de supervivencia de los cultivo en este municipio se debió a su adaptación al suelo, al microclima de la región formado por el lago de Texcoco y sus aguas con altas concentraciones de minerales y sales (Schumann, 2023), y los valores óptimos de pH en el suelo son entre 7 y 8, pudiendo vivir en suelos entre 5.5 y 8.5 (Lavee & Wodner, 1991). Esto concuerda con los elementos nutritivos del suelo medidos (julio 2024) del cerro Chimalhuachi en las coordenadas 19° 24' 19.9" N y 98° 57' 37.8" O, potasio intercambiable (701.4 mg/Kg), calcio intercambiable (3,254.5 mg/Kg), magnesio intercambiable (396 mg/Kg), sodio intercambiable (282 mg/Kg), saturación de calcio (72%), saturación de bases (94.5%), con textura arenosa (arena (75%), arcilla (8%), limo (17%)), baja capacidad de campo (10.8%) y pH de 9. Por su parte, Brito et al. (2019) señalan que los olivos pueden crecer en suelos calcáreos, con grava, pobres, y secos, con suelos franco-arenosos y suministrados con N, P, K y con precipitaciones anuales mayores a 500 mm/año. El clima del municipio está registrado como Cwb (templado con invierno seco y veranos frescos) en la clasificación climática de Köppen (CCA, 2021); en tanto que, la temperatura varía de 6 a 26 °C durante el año y la temperatura media anual es de 14.7 °C; su precipitación pluvial media anual es de 700 mm (INEGI, 2024). Esta adaptabilidad a las condiciones de la zona permitió el equilibrio entre el crecimiento y la reproducción (Pino et al., 2019). Se ha reportado que los olivos son una planta perenne subtropical de gran longevidad, y es considerado una especie glicofítica y esclerófila, lo que los hace más tolerante a la sal y la sequía, algunos otros lo consideran un arbusto desértico con estrategias para superar los largos periodos de sequía (Fernández & Moreno, 1999). Por otro lado, la falta de agua dispara la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) metabolizan la concentración de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos (Brito et al., 2019).

Los olivos crecidos en secano se recuperan cuando la estación de lluvias comienza, mostrando valores similares de potencial hídrico foliar y la conductancia estomatical de aquellos que son regados constantemente (Fernández et al., 1997). Se sabe que la cantidad de agua en los suelos limita la cantidad de carbono que se puede captar y transformar en nueva biomasa; al optimizar la fotosíntesis en función de la disponibilidad, se ajusta la conductancia estomática (gs). Se ha comprobado la relación lineal entre la conductancia estomática y la tasa de asimilación neta de CO2 y que su disponibilidad en la raíz o del suelo afecta directamente a la primera (Pino et al., 2019). Sin embargo, la gs se reduce con el aumento de la fotosíntesis, el incremento de los niveles de CO2, y la acumulación de biomasa haciendo eficiente el consumo Brito et al., 2019). Debido al estrés hídrico en los olivos disminuyen el rendimiento del fruto en fresco y el aceite presente en el pericarpio, al igual que las prácticas culturales y climáticas pueden modificar el contenido de éste; sin embargo, el riego en estadios de crecimiento de la aceituna no incrementa el contenido de aceite en las variedades arbequina y manzanilla (Gucci et al., 2007; Lavee & Wodner, 1991).

La relación del agua y el olivar

Según Moreno et al. (1996) el olivo consume agua cautelosamente cuando se somete a las estaciones climáticas de la zona y sin riego. Adicionalmente estos árboles realizan una amplia gama de intercambio de gases en las hojas de éstos cuando se presenta déficit, y las diferencias genotípicas se hicieron presentes en las adaptaciones foliares morfológicas y estructurales de las variedades Negrinha, Manzanilla y Cobrançosa para protegerse contra la pérdida (Pino et al., 2019). En días con altas temperaturas, los olivos tienen un bajo consumo debido a la baja conductancia hidráulica del xilema y a la disminución de la conductancia estomática (Fernández et al., 2006). Incluso, Villalobos et al. (2012) encontraron en la variedad de Arbequina la tasa neta de asimilación de CO2 entre 5.1 a 17.4 g CO2/m2 día con riego deficitario; mientras que, con riego estuvo entre 10.8 a 21.3 g CO2/m2 día. Entretanto, el aumento de la concentración de CO2 puede compensar los efectos nocivos de la demanda de la evo-transpiración, menor consumo, mejorar la tolerancia a la salinidad y potenciar la captura de carbono en los cultivos de olivo (Mairech et al., 2021; Melgar et al., 2008). Asimismo, cuando la conductancia estomática incrementa también lo hace la tasa de asimilación neta de CO2; estos datos pueden indicar que los olivares son benéficos en la zona de Chimalhuacán ya que el estrés hídrico aunado con la captación de CO2 puede potenciar la disminución de los gases de efecto invernadero en la zona Oriente del Valle de México.

Los cultivos de olivos permiten su ahorro en las zonas donde exista el riego tecnificado, con sistemas como el riego por goteo, sistema que permite un mejor aprovechamiento, aumentando la producción y evitando períodos de estrés hídrico en el olivar. El riego localizado proporciona el líquido y nutrientes directamente a las raíces, optimizando la asimilación y reduciendo la necesidad de riego excesivo (Pastor et al., 2002). Otra estrategia que puede ser implementada para su conservación es mantener y propagarlos resilientes a los cambios climáticos bruscos, utilizando variedades tradicionales y microorganismos que aumenten la tolerancia al estrés hídrico, mejorando la producción y promoviendo prácticas sostenibles (García, 2024). Por su parte, la implementación de los policultivos como la cebada, el nopal, especias, maíz, entre otros cultivos de ciclo corto junto a los olivares han mostrado ser efectivos para ahorrarla y reducir la erosión del suelo; este enfoque mejora la eficiencia en su uso y fomenta un manejo más sostenible de los recursos hídricos (Mercacei, 2018). Al mejorar la infiltración al suelo de la correcta nutrición de las plantas, no solo reduce la cantidad necesaria, sino que también mejora la capacidad del suelo para retenerla; esto se logra mediante el uso de técnicas como el mulching, que protege el suelo y favorece su humedad (Álvarez et al., 2021).

Igualmente, los nuevos genotipos de olivo contribuyen a la eficiencia hídrica en el cultivo como son la selección de variedades tolerantes, mejoras genéticas, investigaciones de contenido hídrico y productividad, riego automatizados y uso de biochar. La selección de las variedades tolerantes de olivo se está desarrollando; ya que se busca sea más resistentes a la sequía y al estrés hídrico. Estas variedades son fundamentales para mantener la productividad en regiones con recursos hídricos limitados como el municipio de Chimalhuacán (Debbabi et al., 2021). Las mejoras genéticas, incluyendo técnicas como CRISPR/Cas9, están enfocadas en editar genes que afectan la resistencia al estrés hídrico, a la producción de metabolitos secundarios benéficos para la salud, beneficiando al consumidor final; como resultado se obtienen plantas que requieren menos agua para crecer y producir, optimizando así el uso del recurso hídrico (Belaj et al., 2022). Las investigaciones han mostrado que ciertas variedades, como ‘Sevillana’, tienen una mayor capacidad para retenerla en comparación con otras como ‘Frantoio’, esto se traduce en una mejor eficiencia en el uso y una menor pérdida de humedad, lo que es crucial en ambientes áridos o con estaciones marcadas (Borjas et al., 2015). La instauración del uso de biochar en el suelo ha demostrado aumentar significativamente la humedad del subsuelo y mejorar la productividad de los olivos. Los estudios indican que los olivos cultivados con infiltradores de biochar pueden alcanzar incrementos del 280% en la producción de aceite (Zabaniotou et al., 2015).

Los árboles de olivo tienen alta resistencia al estrés hídrico, fisiológicamente inhiben la fotosíntesis, la relación de crecimiento raíces/brotes y mantienen la turgencia celular; mientras que cambian la foto-oxidación y la foto-inhibición, como la conductancia estomática (gs) y el potencial de vapor de agua (stem) (Searles et al., 2011; Sofo et al., 2008). La conductancia estomática está en función del ajuste osmótico, la disponibilidad en el suelo, los factores ambientales como el déficit de presión de vapor y la conductividad hidráulica del xilema; adicionalmente involucra interacciones complejas entre factores externos e internos de las hojas. Varios autores identifican a la gs como un indicador de estrés hídrico, su disminución es una respuesta temprana a los déficits en las hojas. Los estomas de las hojas se cierran gradualmente cuando su disponibilidad en el suelo decrece. El potencial hídrico xilemático actúa cerrando los estomas y disminuye el potencial hídrico (2.5 MPa), los valores menores a -3.2 MPa desencadenan metabolitos secundarios para conservarla en los tejidos (Ahumada-Orellana et al., 2019). Molina-Moral et al. (2021) caracterizaron tres estrategias de riego con interés económico en España encontrando que la estrategia de riego en cultivos de secano es viable cuando la precipitación media mensual está por debajo 292 mm y con riego deficitario controlado como el mejor perfil hídrico. Los olivares tienen un impacto considerable en su gestión, este sector recurre a la sostenibilidad hídrica con prácticas y métodos de riego eficientes como Riego Deficitario Controlado (RDC), el uso de Sensores de Humedad del Suelo, la programación del riego basada en la evapotranspiración, manejo sostenible del suelo, sistemas de riego por goteo, capacitación y asesoramiento agrícola (Searles et al., 2011).

Directamente los árboles de olivo contribuyen significativamente a su preservación a través de la mejora de la estructura del suelo, ya que las raíces profundas del olivo aumentan su capacidad

para retenerla. Esto es crucial en regiones áridas o con estaciones secas, donde el olivo se cultiva tradicionalmente. Un suelo bien estructurado puede almacenar más humedad y reducir la escorrentía, lo que permite una mejor infiltración (Borjas et al., 2015). La reducción de la evaporación puede darse a través de la sombra proporcionada por los árboles de olivo, ya que reduce la temperatura del suelo y disminuye la evaporación del agua. Esto es especialmente importante durante los meses calurosos, ya que ayuda a conservar la humedad en el suelo, beneficiando tanto al olivo como a otros cultivos en su proximidad (Gómez et al., 2001). Otro factor preponderante es la biodiversidad y los ecosistemas saludables, ya que pueden servir como hábitats para diversas especies de flora y fauna, contribuyendo a la biodiversidad local. Un ecosistema más diverso puede mejorar la retención en el suelo y fomentar un ciclo hídrico más equilibrado (Iannotta et al., 2007). Finalizando con la captación de agua de lluvia por las copas de los árboles pueden capturarla de la lluvia y permitir que esta se infiltre lentamente en el suelo, lo que ayuda a recargar los acuíferos locales y mantener la disponibilidad en el entorno (Borjas et al., 2015).

Discusión

La crisis de escasez de agua en México, exacerbada por retos climáticos y la distribución desigual de recursos hídricos, tiene una manifestación tangible en localidades como Chimalhuacán. Este municipio, aunque pequeño en extensión geográfica, alberga a una población significativa que enfrenta la urgencia de acceder a un recurso vital que se ve cada vez más comprometido por la ineficacia en la gestión gubernamental, la contaminación de fuentes hídricas y la infraestructura hidráulica deteriorada. Los datos revelan que un alto porcentaje de sus habitantes vive en condiciones de pobreza – superando el 67% – y que la disponibilidad de agua potable se ha vuelto un desafío crítico, especialmente en un contexto donde se han reportado múltiples fallas en pozos de abastecimiento. La relación entre la pobreza, el acceso limitado y la crisis medioambiental refleja el apremio de abordar estos problemas con soluciones integrales y sostenibles.

El mencionado contexto socioeconómico en Chimalhuacán no solo resalta la importancia como un recurso físico, sino también como un elemento crucial para fortalecer la equidad social, proporcionar medios de subsistencia dignos y mejorar la calidad de vida. En este sentido, éstos representan una oportunidad significativa para la mitigación de la crisis hídrica, así como para el desarrollo económico de la región. Estos olivares no solo funcionan como sistemas productivos resilientes, auténticamente adaptados a las características agroclimáticas de la zona, sino que también simbolizan la riqueza cultural y la identidad de la comunidad. La producción de aceitunas y aceite de oliva, bajo prácticas sostenibles, fortalece la economía local y ofrece alternativas efectivas para combatir la pobreza.

La literatura científica indica que tienen un potencial considerable para mejorar la eficiencia en su uso. Mediante la implementación de técnicas como el riego por goteo y el uso de variedades tolerantes a la sequía, es posible optimizar la captación y el consumo, reduciendo así el estrés hídrico inherente a la agricultura tradicional. Las investigaciones sobre los beneficios del biochar y la mejora genética de variedades permiten vislumbrar un futuro donde los olivares no solo prosperen, sino que sean motores de cambio hacia una agricultura más sostenible. Esto implica una sinergia entre la conservación y la producción agrícola, facilitando prácticas que puedan adaptarse y prosperar en un contexto de cambio climático. Sin embargo, su conservación en Chimalhuacán no debe ser entendida únicamente desde la perspectiva productiva. Es indispensable abordar la gestión hídrica desde un enfoque integral, que incluya la rehabilitación de la infraestructura existente, la creación de acuerdos locales para la distribución equitativa y la promoción de la educación ambiental entre los habitantes. Se requiere impulsar un cambio cultural que valore no solo como un recurso, sino como un derecho fundamental accesible para todos, garantizando así que las futuras generaciones puedan disfrutar de este vital líquido. En definitiva, la situación de Chimalhuacán muestra cómo el agua y los cultivos de olivo están intrínsecamente relacionados en un ciclo de sostenibilidad y equidad social. La colaboración entre distintos actores como el gobierno, la sociedad civil, la academia y el sector privado se vuelve un eje crucial para enfrentar estos desafíos. Solo a través de un compromiso colectivo se podrá avanzar hacia su gestión más eficiente y un aprovechamiento sostenible de los olivares, logrando así el equilibrio necesario entre el desarrollo económico y la conservación del medio ambiente, ofreciendo una respuesta adecuada a la crisis hídrica que enfrenta el municipio y, por ende, la región.

Por otro parte, al abordar la distribución desigual de las precipitaciones, se pueden implementar estrategias más efectivas para el manejo y la planificación ambiental. La calidad y homogeneidad de los datos son fundamentales para garantizar resultados precisos en los estudios climáticos y su aplicación en sistemas de información geográfica.

Luego, su contaminación es un desafío multifacético que requiere un enfoque integral para su mitigación. Al abordar las causas subyacentes—como las descargas industriales, agrícolas y urbanas—y mejorar la infraestructura existente, se puede avanzar hacia un futuro más sostenible y saludable para todos. La colaboración entre gobiernos, industrias y comunidades es esencial para lograr un cambio significativo en la calidad. Promover la limpieza y restauración de ríos y cuerpos de agua afectados, así como la preservación de áreas de captación.
Otro punto es que todos los niveles de gobierno contribuyen a la crisis hídrica. La ausencia de un marco regulatorio acorde a la realidad nacional, la corrupción, así como la falta de inversión son algunos de los múltiples problemas asociados con la descuidada gestión en México. Se debe inducir la participación de las comunidades, asegurando que las decisiones se adapten a sus necesidades y contextos locales.

En cuanto a los conflictos socioambientales por el agua, éstos son complejos y multifacéticos, resultantes de una combinación de escasez, competencia entre usos y deficiencias en la gobernanza. Abordar estas cuestiones requiere un enfoque integral que incluya mejoras en la gestión hídrica, cooperación entre sectores y educación sobre el uso sostenible. La resolución efectiva de estos conflictos es crucial para garantizar el acceso equitativo y promover la paz social.

Después, la infraestructura hidráulica deteriorada representa un desafío significativo en la gestión, con consecuencias que afectan tanto a la disponibilidad del recurso como a la salud pública y el medio ambiente. Abordar este problema requiere una combinación de inversiones adecuadas, políticas efectivas y un compromiso colectivo para garantizar un acceso equitativo y sostenible. Solo mediante un enfoque colaborativo se podrá construir una infraestructura resiliente que responda a las necesidades actuales y futuras.

Con respecto al cambio climático, los ciudadanos a pie, la academia, las asociaciones y los productores podrían:

- Planificación adaptativa: Promover la planificación urbana y rural que contemple los impactos del cambio climático en los recursos hídricos, incluyendo la creación de zonas verdes que puedan ayudar a la filtración.
- Inversiones en investigación: Investigar y desarrollar cultivos resistentes a la sequía y prácticas agrícolas que se adapten a los cambios en el clima.
- Concienciación y educación: Sensibilizar a las comunidades sobre el cambio climático y favorecer acciones locales para mitigar su impacto en los recursos hídricos.

Problemáticas y oportunidades

El problema del agua es complejo y multifacético. En general, no es que se “acabe” en el sentido estricto, ya que está en la Tierra está en un ciclo continuo de evaporación, condensación, precipitación y aguas contaminadas. Sin embargo, hay varios factores que contribuyen a la escasez en algunas regiones (Tabla 1).

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para el municipio de Chimalhuacán en la gestión del agua.

Problemáticas	Oportunidades
La distribución desigual de la precipitación	La integración de métodos geoestadísticos y convencionales permite una mejor comprensión y modelado de la distribución espacial de la precipitación
La contaminación	Abordar las causas subyacentes como las descargas industriales, agrícolas y urbanas y mejorar la infraestructura existente; la colaboración entre los participantes para promover la limpieza y restauración.

La gestión inadecuada	El marco regulatorio requiere estar de acuerdo a la realidad nacional, estatal y local; inversión, gestionar la participación de las comunidades de acuerdo a sus necesidades y contextos.
Los conflictos socioambientales entre diferentes sectores por la competencia	Abordar los conflictos socioambientales a través de un enfoque integral: gestión hídrica, cooperación entre sectores y educación sobre el uso sostenible.
La infraestructura hidráulica deteriorada	Afrontar este problema requiere una combinación de inversiones adecuadas, políticas efectivas y un compromiso colectivo para garantizar un acceso equitativo y sostenible al agua.
Cambio climático	Fomentar la planificación urbana y rural, inversiones constantes en investigación, sensibilización acerca del cuidado.
Cultivos resilientes a los cambios bruscos del clima	Los policultivos que incluyan árboles de olivo son una opción viable para mantener la humedad del suelo y captar CO2 minimizando los gases de efecto invernadero.

Conclusión

En conclusión, la situación de Chimalhuacán evidencia la necesidad de integrar la gestión del agua y la agricultura de manera sostenible para abordar la crisis hídrica y la pobreza que afectan a la población. Los olivares, por su naturaleza resiliente y adaptable, emergen como una estrategia viable no solo para optimizar su uso, sino también para impulsar el desarrollo económico local y mantener viva la identidad cultural de la comunidad. No obstante, el éxito de estas iniciativas requiere un enfoque holístico que contemple la rehabilitación de la infraestructura hídrica y la promoción de la educación ambiental, fomentando así una conciencia colectiva sobre la importancia como un derecho fundamental. Es crucial que actores diversos se unan en un esfuerzo colaborativo, para lograr avances significativos en la gestión hídrica y en la sostenibilidad agrícola, garantizando que las futuras generaciones de Chimalhuacán puedan disfrutar de un entorno donde el acceso y a un medio de vida digno sea una realidad. Este camino hacia la equidad social y la conservación ambiental es indispensable en la lucha contra la desigualdad y los efectos del cambio climático en la región.

Referencias bibliográficas

Ahumada-Orellana, L., Ortega-Farías, S., Poblete-Echeverría, C., & Searles, P. S. (2019). Estimation of stomatal conductance and stem water potential threshold values for water stress in olive trees (cv. Arbequina). Irrigation Science, 37(4), 461–467. https://doi.org/10.1007/s00271-019-00623-9

Álvarez Gaxiola, J. F., Aguirre Álvarez, L., Paredes Sánchez, J. A., y Salcido Ramos, B. A. (2021). Agricultura urbana y periurbana: Conocimientos y experiencias en Puebla (D. M. Sánchez Cadena (ed.)). Colegio de Posgraduados.

Baena, M. (2024). Ésta es la colonia más pobre de Chimalhuacán, donde sus habitantes viven de la basura. INFOBAE. https://www.infobae.com/mexico/2024/02/24/esta-es-la-colonia-mas-pobre-de-chimalhuacan-donde-sus-habitantes-viven-de-la-basura/#:~:text=Esta región del oriente del,-ciento de la población total

Belaj, A., Ninot, A., Gómez-Gálvez, F. J., El Riachy, M., Gurbuz-Veral, M., Torres, M., Lazaj, A., Klepo, T., Paz, S., Ugarte, J., Baldoni, L., Lorite, I. J., Šatović, Z., y de la Rosa, R. (2022). Utility of EST-SNP markers for improving management and use of olive genetic resources: A case study at the Worldwide olive germplasm bank of Córdoba. Plants, 11(7). https://doi.org/10.3390/plants11070921

Borjas, R., Rebaza, D., y Julca, A. (2015). Water holding capacity of two olive (Olea europea L.) cultivars in Cañete valley, Lima-Peru. Scientia Agropecuaria, 6(3): 147–154.

Brito, C., Dinis, L. T., Moutinho-Pereira, J., y Correia, C. M. (2019). Drought stress effects and olive tree acclimation under a changing climate. Plants, 8(7): 1–20.

CCA. (2021). Guía sobre índices e indicadores de sequía utilizados en América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental. 83 pp.

Chiatchoua, C., y Tomta, D. (2020). Propuesta de un modelo de innovación regional. En Perspectivas de la innovación regional en México: propuesta de modelo (October, pp. 27–36). Colofón. Ediciones Académicas en Economía. 190 pp.

Chimalhuacán Sí. (2017). #Chimalhuacán perfora pozo Vidrieros. #NotaInformativa ODAPAS. https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1926284277384945yid=663893716957347yset=a.801891623157555ylocale=es_LA

Debbabi, O. S., Mnasri, S. R., Amar, F. Ben, Barek, M., Naceur, B., Montemurro, C., y Miazzi, M. M. (2021). Characterization of olive genetic resources of Tunisia. Genes, 12.

Fernández, J. E., Díaz-Espejo, A., Infante, J. M., Durán, P., Palomo, M. J., Chamorro, V., Girón, I. F., y Villagarcía, L. (2006). Water relations and gas exchange in olive trees under regulated deficit irrigation and partial rootzone drying. Plant and Soil, 284(1–2): 273–291.

Fernández, J. E., y Moreno, F. (1999). Water use by the olive tree. Journal of Crop Production, 2(2): 101–162.

Fernández, J. E., Moreno, F., Girón, I. F., y Blázquez, O. M. (1997). Stomatal control of water use in olive tree leaves. Plant and Soil, 190(2): 179–192.

García, P. (2024). Diseñan nuevos modelos de olivares para afrontar el cambio climático. DiCYT. https://www.dicyt.com/noticias/disenan-nuevos-modelos-de-olivares-para-afrontar-el-cambio-climatico

García, R. (2024). Historia de la llegada del olivo a México, Chimalhuacán, actualidad de los productores y procesos de producción, [Foto]. Conferencia magistral dictada en el Tecnológico de Estudios Superiores de Chimalhuacán, 16/10/2024

Gómez, J. A., Giráldez, J. V., y Fereres, E. (2001). Rainfall interception by olive trees in relation to leaf area. Agricultural Water Management, 49(1): 65–76.

González, M. (2023). Cultivo de olivo en Chimalhuacán, tesoro en medio de la mancha urbana. La Jornada. https://lajornadaestadodemexico.com/cultivo-de-olivo-en-chimalhuacan-tesoro-en-medio-de-la-mancha-urbana/.

González, M. (2024, February 23). Chimalhuacán: Vecinos se manifiestan por falta de agua. La Jornada Estado de México. https://lajornadaestadodemexico.com/chimalhuacan-vecinos-se-manifiestan-por-falta-de-agua/.

Gucci, R., Lodolini, E., y Rapoport, H. F. (2007). Productivity of olive trees with different water status and crop load. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 82(4): 648–656.

Iannotta, N., Belfiore, T., Noce, M. E., Scalercio, S., y Vizzarri, V. (2007). The impact of some compounds utilised in organic olive groves on the non-target arthropod fauna: canopy and soil levels. VI Jornadas Internacionales de Olivar Ecológico: 1–6. https://orgprints.org/id/eprint/12893/1/Ecoliva_impatto_def.pdf

INEGI. (2024, July 15). Clima. Cuéntame. Información Por Entidad. https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mex/territorio/clima.aspx

Lavee, S., y Wodner, M. (1991). Factors affecting the nature of oil accumulation in fruit of olive (Olea europaea L.) cultivars. Journal of Horticultural Science, 66(5): 583–591.

Mairech, H., López-Bernal, Á., Moriondo, M., Dibari, C., Regni, L., Proietti, P., Villalobos, F. J., y Testi, L. (2021). Sustainability of olive growing in the Mediterranean area under future climate scenarios: Exploring the effects of intensification and deficit irrigation. European Journal of Agronomy, 129(March 2020). https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126319

Melgar, J. C., Syvertsen, J. P., y García-Sánchez, F. (2008). Can elevated CO2 improve salt tolerance in olive trees? Journal of Plant Physiology, 165(6): 631–640.

Mercacei. (2018). Cultivo de cebada en los olivares para ahorrar agua y frenar la erosión. https://www.mercacei.com/noticia/49241/actualidad/cultivo-de-cebada-en-los-olivares-para-ahorrar-agua-y-frenar-la-erosion.htm

Moreno, F., Fernández, J. E., Clothier, B. E., y Green, S. R. (1996). Transpiration and root water uptake by olive trees. Plant and Soil, 184(1): 85–96.

Municipio de Chimalhuacán. (2023). El ODAPAS de Chimalhuacán abastece agua mediante pipas a vecinos sin distinción. https://chimalhuacan.gob.mx/2023/05/19/el-odapas-de-chimalhuacan-abastece-agua-mediante-pipas-a-vecinos-sin-distincion/#:~:text=Ayuntamiento de Chimalhuacán%2C a través,potable luego de que el.

Núñez, J. M. (2024, April 5). Los desafíos de México frente a la crisis por escasez de agua. IBERO: 1–3.

Pastor, M., Hidalgo, J., Orgaz, F., Moriana, A., y Fereres, E. (2002). Riego del olivar: Estudio de la respuesta a riegos por goteo deficitarios y obtención de la función de producción. FAO: 53–61.

Pino, E. V., Montalván, I. D., Vera, A. M., y Ramos, L. F. (2019). La conductancia estomática y su relación con la temperatura foliar y humedad del suelo en el cultivo del olivo (Olea europaea L.), en periodo de maduración de frutos, en zonas áridas. La Yarada, Tacna, Perú. Idesia (Arica), 37(4): 55–64.

Rojas Garfias, V. (2024). En Chimalhuacán sufren por agua potable desde

2023. Digital El Valle. https://elvalle.com.mx/2024/01/05/en-chimalhuacan-sufren-por-agua-potable-desde-2023/#:~:text=- Miles de vecinos del municipio,de la Delegación Santa Elena.

Salinas, J. (2023, November 26). Colapso de tanque de agua en Chimalhuacán afecta a 6 mil habitantes. La Jornada. https://www.jornada.com.mx/noticia/2023/11/26/estados/colapso-de-tanque-de-agua-en-chimalhuacan-afecta-a-6-mil-habitantes-4340.

Schumann, cdc C. (2023). El llamado "Olivo del siglo" se encuentra en Chimalhuacán. Municipio de Querétaro. https://cdcnuestrapagina.wordpress.com/2023/12/20/el-llamado-olivo-del-siglo-se-encuentra-en-chimalhuacan/

Searles, P. S., Rousseaux, M. C., & Alcarás, M. A. (2011). El consumo del agua por el cultivo de olivo (Olea europaea L.) en el noroeste de Argentina: una comparación con la Cuenca Mediterránea. Ecología Austral, 21, 15–28.

Sofo, A., Manfreda, S., Fiorentino, M., Dichio, B., & Xiloyannis, C. (2008). The olive tree: a paradigm for drought tolerance in Mediterranean climates. Hydrol. Earth Syst. Sci, 12, 293–301. www.hydrol-earth-syst-sci.net/12/293/2008/

Victoria, E. (2024). Arranca el 2024 con descuentos en el pago de predial y agua en el Edomex. EL Financiero. https://www.elfinanciero.com.mx/estados/2024/01/02/arranca-el-2024-con-descuentos-en-el-pago-de-predial-y-agua-en-el-edomex/

Villalobos, F. J., Perez-Priego, O., Testi, L., Morales, A., y Orgaz, F. (2012). Effects of water supply on carbon and water exchange of olive trees. European Journal of Agronomy, 40; 1–7.

Xponencial. (2024, April 12). Se agrava crisis del agua en Chimalhuacán [Review of Se agrava crisis del agua en Chimalhuacán]. Diario Xponencial Mx, 1. https://www.xponencial.mx/2024/04/12/se-agrava-crisis-del-agua-en-chimalhuacan/.

Zabaniotou, A., Rovas, D., Libutti, A., y Monteleone, M. (2015). Boosting circular economy and closing the loop in agriculture: Case study of a small-scale pyrolysis–biochar based system integrated in an olive farm in symbiosis with an olive mill. Environmental Development, 14: 22–36.

22 Dinámica espacio-temporal y proyección tendencial en la reserva ecológica comunitaria San Miguel Topilejo, Ciudad de México

Gabriela Rivera-Ojeda[1], Raúl Vera-Alejandre [1]*, Blanca E. Gutiérrez-Barba[1]

[1]Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo-Instituto Politécnico Nacional.
(*autor de correspondencia: gveraa@ipn.mx)

Resumen

Las Áreas Naturales Protegidas en territorios de pueblos originarios son importantes tanto ecológica como culturalmente, pero enfrentan problemas debido al cambio de uso de suelo y vegetación (CUSV), que amenaza la biodiversidad y los servicios ecosistémicos como la disponibilidad de agua. Ejemplo de ello es la Reserva Ecológica Comunitaria San Miguel Topilejo (RECSMT), establecida en 2007 al sur de la Alcaldía Tlalpan. Este estudio se centró en analizar los cambios espacio-temporales en el periodo 2000 y 2020, simular un escenario al año 2020 en su ausencia, así como una proyección tendencial para 2030 considerando su establecimiento.

Se llevó a cabo una clasificación supervisada de imágenes satelitales y se identificaron los procesos de CUSV mediante una matriz. Para la simulación y proyección tendencial se utilizó el software Dinámica EGO. Se identificaron seis clases: bosque de pino-encino, bosque de pino, bosque de oyamel, matorral, pastizal y agricultura. El pastizal y bosque de pino-encino son la vegetación más afectada por los procesos de CUSV obteniendo un indicador dinámico de -2.85% y -1.25%, respectivamente. La simulación muestra que, sin la RECSMT, la agricultura habría crecido un 2.56% respecto al mapa real del año 2020, siendo las vías de comunicación las variables con mayor peso de evidencia.

La proyección para 2030 indica una recuperación de pastizales y disminución de la agricultura. En conclusión, el establecimiento de la RECSMT ha sido parcialmente efectivo en la contención de la agricultura, aunque es crucial enfocar esfuerzos en preservar los pastizales, esenciales para la infiltración del agua al acuífero.

Introducción

Al sistema humano-agua se suma el suelo para complejizarlo, por lo que el ser humano ha establecido una relación ancestral entre ellos. Este ha sido nuestro satisfactor para desplazarnos, asentarnos y alimentarnos (Briassoulis, 2020).
Esta relación es cada vez más compleja hasta el dominio de ecosistemas provocando impactos negativos sobre el sistema natural debido a la transformación en la cubierta vegetal y problemas antropogénicos actuales como la agrocontaminación, industrialización y el crecimiento de la población (Lugo-Morín et al., 2015).

Estos impactos negativos están presentes en todo el orbe, incrementando la vulnerabilidad y la disminución en la resiliencia, poniendo en riesgo la dinámica y estructura ecosistémica (Reyes et al., 2021). De acuerdo con Savenije et al. (2013) el ser humano ha impactado la hidrografía terrestre a través de uno o más de los siguientes cuatro medios: a) desviación directa de los flujos de agua, incluidas las transferencias entre cuencas para el suministro de agua a las ciudades, las industrias y la agricultura; b) por la transformación de la red fluvial, por ejemplo, mediante la construcción de presas y embalses o la canalización de ríos; c) actividades que alteran el clima regional o mundial, por ejemplo mediante el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, los cambios en la cobertura terrestre, el uso consuntivo del agua; y d) por el cambio de las características de las cuencas de drenaje, por ejemplo mediante la deforestación, la urbanización, el drenaje de humedales y las prácticas agrícolas.

Es así que la desviación de los cauces para agricultura, las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de químicos en agricultura y la crianza de ganado y el cambio de cobertura vegetal a favor de la urbanización y las actividades agropecuarias, pero en especial la deforestación, están íntimamente relacionados con el uso de suelo y vegetación.

Para combatir este fenómeno, se establecieron las Áreas Naturales Protegidas (ANP), como un instrumento de política pública ambiental para la conservación, cuya función es proteger y mantener la integridad de la diversidad biótica y abiótica que por sus interacciones proporcionan diversos Servicios Ecosistémicos (SE) (Figueroa y Sánchez-Cordero, 2008), sin embargo, en el caso de la Ciudad de México superficies extensas de ANP han sufrido cambios de uso del suelo y de cubierta vegetal (CUSV) por factores biológicos, sociales, económicos y políticos que ejercen gran presión sobre estas áreas (Palomeque-De la Cruz, 2017) y lo cual tiene consecuencias sobre el servicio de infiltración hídrica, uno de los más importantes que proveen.

Uno de estos casos es el territorio de la Comunidad de San Miguel Topilejo localizada en las alcaldías de Tlalpan, Milpa Alta y Xochimilco, dentro del Suelo de Conservación (SC) de la Ciudad de México, el cual tiene una extensión total de 12,270.6 ha, de las cuales 6,000.29 ha del sur de la Comunidad fueron declaradas como ANP local en el año 2007, con la designación de Reserva Ecológica Comunitaria San Miguel Topilejo (RECSMT), siendo administrada por la propia Comunidad ya que su establecimiento no modificó el régimen de propiedad (GODF, 2007; Leñero et al., 2014)

La RECSMT está dividida en dos polígonos teniendo el polígono oriental (PE) una superficie de 1643.6 ha, y el polígono occidental (PW) con una superficie de 4,505.6 ha. Con ello en su momento se consideró como la ANP más grande de la Ciudad de México (PAOT, 2009) (Figura 1).

Al ser un ANP localizada en la megalópolis reviste mayor importancia por el impacto directo a la población avecindada, así como al Bosque de Agua del cual forma parte.

Uno de los factores que ha contribuido al detrimento de los elementos naturales de la RECSMT ha sido la conversión de suelo forestal a uso agrícola y ganadero, agravado por la tala ilegal, sin que se haya evaluado si la declaratoria de ANP ha sido un factor para revertir dicha conversión.

Desde este vacío de información, el propósito del presente trabajo es determinar los cambios que ha sufrido la RECSMT durante las dos últimas décadas mediante modelos espacio-temporales incluyendo la etapa previa a la declaratoria como ANP, con el fin de evaluar la efectividad de su establecimiento respecto al CUSV simulando un escenario al año 2020 en el supuesto que no se hubiera establecido la ANP y una proyección tendencial al año 2030 considerando su creación.
Con ello, el presente estudio aporta a los Programas Nacionales Estratégicos (Pronaces), en particular los de Sistemas Socioecológicos y Agua.

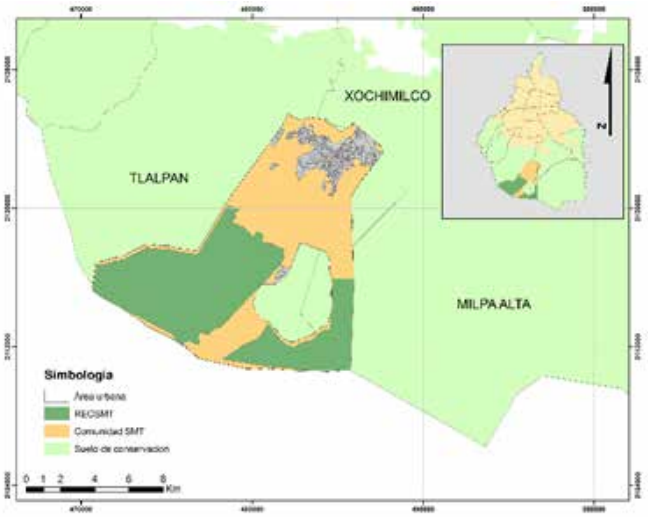


Figura 1 Reserva Ecológica Comunitaria San Miguel Topilejo (RECSMT).

Método

Los tipos de cobertura se determinaron anualmente mediante una clasificación supervisada (algoritmo de máxima verosimilitud) a partir de imágenes Landsat 7 (2000-2012) y Landsat 8 (2013-2020). Las imágenes corresponden a la colección 2 nivel 2 y fueron obtenidas del portal Earth Explorer (earthexplorer.usgs.gov). Las coberturas y usos del suelo son las descritas para la RECSMT por GDF (2012) y Vera (2022) e incluyen coberturas de bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino, matorral y pastizal, sin distinción entre vegetación primaria o secundaria, así como el uso agrícola. Para la verificación, se calculó la matriz de confusión y el coeficiente Kappa.

El análisis de CUSV se realizó mediante una matriz de transición a partir de una condición inicial correspondiente al año 2000 y una final para al año 2020. A partir de esta, se determinó el indicador dinámico (Peijun et al., 2010) para analizar el cambio de la cubierta de suelo específico en un periodo particular mediante la siguiente expresión:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a T} \; X \; 100\%$$

Donde:
K = Indicador dinámico para una cubierta de suelo específica
U_a= Área de la cubierta de suelo fecha de inicio
U_b = Área de la cubierta de suelo fecha de finalización
T= Escala de tiempo que se está considerando

Considerando que la proyección tendencial es una herramienta útil como alerta temprana ante cambios futuros de continuar los impulsores del pasado (Gallardo, 2018), se realizó una simulación al año 2020 bajo la condición de no creación de la RECSMT, así como una proyección tendencial hacia el año 2030, mediante el Software Dinamica EGO (Leija et al., 2021), el cual se fundamenta en algoritmos llamados functors, que representan operaciones cartográficas típicas (Ferreira et al., 2019). Para ello, se utilizaron siete variables explicativas continuas: precipitación media anual, temperatura media anual, pendiente, modelo digital de elevación y distancias a caminos, carreteras y vías férreas (ésta actualmente convertida en ciclopista) y solo para la modelación al año 2030 se agregó el polígono de la RECSMT como variable categórica.

Para calcular la probabilidad de transición entre clases se utilizaron como variables dinámicas los uso del suelo y vegetación derivados de la clasificación para los años 2000 y 2015 validando con el mapa del año 2020.

La construcción del modelo de simulación se realizó con el mapa real del año 2020 y el mapa simulado al año 2020, este proceso se efectuó también para la simulación en el supuesto que no se haya establecido la ANP. La validación se realizó mediante dos métodos: a) una función de decaimiento exponencial, basado en el índice de similitud difusa que muestra si una celda coincidió con el mapa real o si una celda vecina lo hizo; y b) ventanas múltiples y función de decaimiento constante (Soares-Filho, 2009).

Para la proyección tendencial al año 2030, se establecieron los parámetros patcher y expander cuyo objetivo es reproducir los patrones de cambio, por lo que los valores asignados en cada transición requieren de un conocimiento del escenario a simular ya que no existe una forma automatizada para calcularlos o en su caso, variar los valores para que se ajusten al modelo (Campos, 2018; Rodrigues, 2015). Los estadísticos de los parches (media, varianza e isometría) se calcularon mediante el Software Fragstats (www.fragstats.org) con los mapas de uso de suelo y vegetación del año 2000 y 2015.

Resultados

Se identificaron seis clases en la RECSMT: bosque de pino-encino, bosque de oyamel, matorral, pastizal y agricultura (Figura 2 y 3). Los valores de las diferentes coberturas y uso de suelo muestran que la vegetación de coníferas constituida por bosques de oyamel, pino y pino-encino ocuparon el 77.26 % del territorio de la RECSMT en el año 2000 y conservaron un valor similar para el año 2020, pero con cambios importantes en la proporción relativa de cada una, incrementándose la cobertura de bosque de oyamel (+1.3%) y de bosque de pino (+6.1%), pero con una reducción en la cobertura de pino-encino (-8.2%). Por su parte, la superficie de pastizal se redujo (-4.6%) incrementando la de matorral (+10.7%). Finalmente, el uso agrícola se incrementó en un 2.2% (Tabla 1).

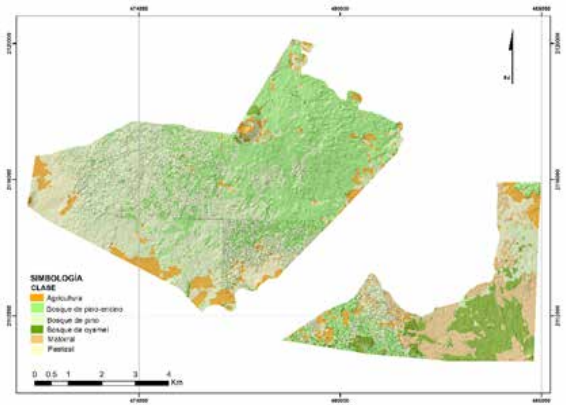


Figura 2 Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2000.

La matriz de cambio generada con los usos de suelo y vegetación del año 2000 y 2020 muestra que el 67% de la superficie de la RECSMT no sufrieron cambios en el periodo estudiado (ver Tabla 2). Respecto a las ganancias, el bosque de pino es el tipo de vegetación que mayor aumento registró obteniendo el 45.43% de las superficies ganadas de todas las clases, en tanto que el mayor porcentaje de pérdidas lo obtuvo el bosque de pino-encino con el 40.81% de las pérdidas totales. Se encontró, que las mayores superficies de transición corresponden al bosque de pino-encino a bosque de pino con 706.1 ha, seguida del pastizal a uso agrícola con una superficie de cambio de 200.3 ha, el bosque de pino a matorral y bosque de oyamel con 135.9 ha y 134.9 ha, respectivamente.

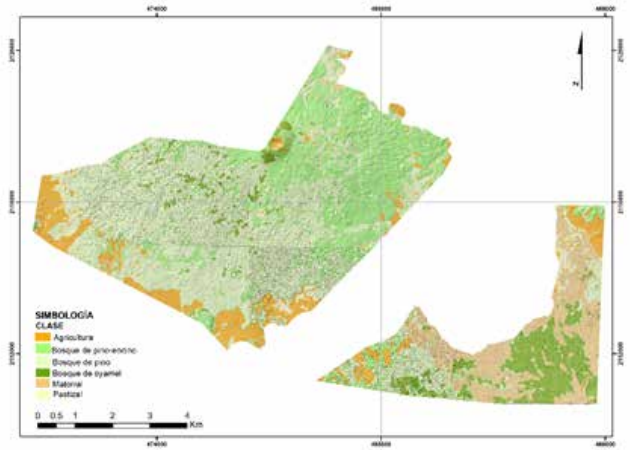


Figura 3 Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2020.

Tabla 1 Superficies de vegetación natural y uso del suelo.

Clases	2000		2020	
	ha	%	ha	%
Bosque de oyamel	495.0	8.2	568.9	9.5
Bosque de pino	2,169.0	36.1	2,532.2	42.2
Bosque de pino-encino	1,972.6	32.9	1,481.0	24.7
Pastizal	488.0	8.1	210.3	3.5
Matorral	447.0	7.4	642.1	10.7
Agricultura	429.7	7.2	566.8	9.4

Estos resultados se pueden confirmar con el indicador dinámico que muestra el porcentaje de transformación en los 20 años de estudio en cada tipo de clase (Figura 4), se aprecia que el pastizal y bosque de pino-encino son la vegetación más afectada por los procesos de CUSV obteniendo un indicador dinámico de -2.85% y -1.25%, respectivamente. Mientras que el matorral ha sido la vegetación más favorecida en términos de ganancia de superficie pues obtuvo un indicador dinámico de 2.18%, seguido de la agricultura con 1.60%.

Los cambios espaciales de las principales transiciones de las diferentes clases se observan en la Figura 5; en especial la modificación de la cobertura vegetal se presenta en mayor medida en la parte central del PE con la modificación del bosque pino-encino a bosque de pino y de bosque de pino a bosque de oyamel, en tanto la conversión del pastizal al uso agrícola se aprecia en la periferia del ANP, en los límites sur y noroccidente del PE, en tanto. Por su parte al norte y suroeste del polígono occidental se evidencia la transformación de bosque de pino a matorral.

Tabla 2 Matriz de cambio

Clase	Ag	BPE	BP	BO	MA	PA	Total	Per
Ag	281	49	62	1	15	22	430	149
BPE	36	1165	706	33	20	14	1973	808
BP	48	199	1633	135	136	18	2169	536
BO	1	37	26	384	46	0	495	111
MA	1	10	13	16	406	2	447	41
PA	200	21	93	0	20	153	488	335
Total	567	1481	2532	569	642	210	6001	1980
Gan	286	316	900	185	237	57	1980	

BPE: Bosque de pino-encino; **BP**: Bosque de pino; **BO**: Bosque de oyamel; **Ma**: Matorral; **Pa**: Pastizal; **Ag**: Agricultura; **Per**: Pérdidas; **Gan**: Ganancias.

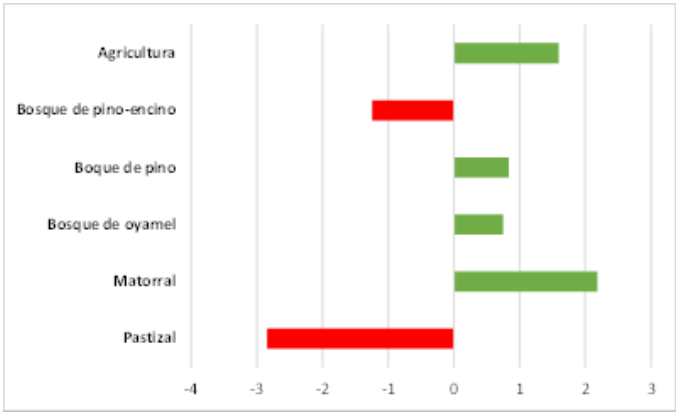


Figura 4 Gráfico de indicador dinámico.

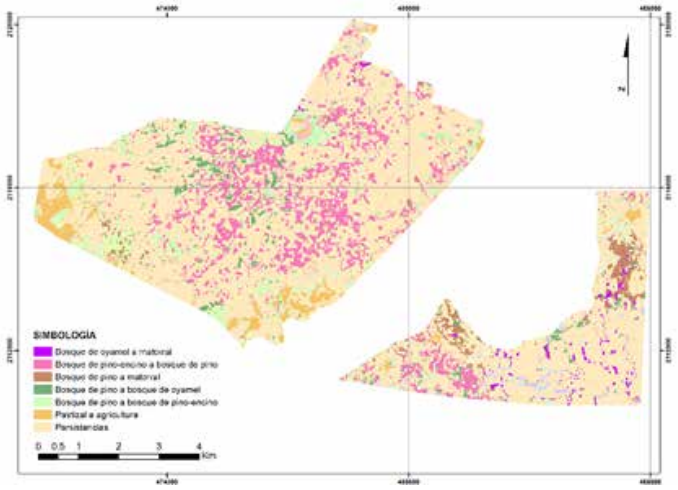


Figura 5 Mapa de CUSV 2000 y 2020.

Para la proyección tendencial se modelaron 17 transiciones que mostraron el 90% de CUSV entre el periodo 2000 – 2015 y que representan las transiciones más importantes en cuanto al tipo de uso de suelo y cobertura. Los pesos de evidencia se analizaron mediante los gráficos de líneas de tendencia que genera Dinamica EGO, se obtuvieron 238 líneas de tendencia de acuerdo con las variables explicativas (precipitación media anual, temperatura media anual, modelo digital de elevación, pendiente y distancias a vías de comunicación).

La simulación en el supuesto de no haber implementado la RECSMT muestra un crecimiento de la agricultura del 12% en los límites de la RECSMT, es decir un incremento del 2.56% respecto al mapa real observado del año 2020; además un aumento del pastizal del 3.6% en zonas cercanas a la agricultura (Figura 6).

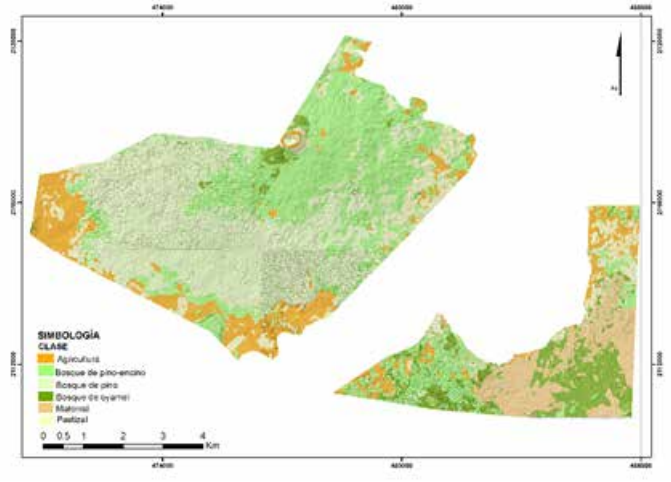


Figura 6 Mapa de uso de suelo y vegetación del año 2020 simulado sin haber establecido la RECSMT.

La proyección tendencial al año 2030 se modeló con los parámetros de expander y patcher. Se observan cambios de acuerdo con las superficies del mapa real observado en el año 2020 en el 10% de la superficie de la ANP (Figura 7), ello debido a que el polígono de la RECSMT en la proyección tendencial funciona como un candado que evita cambios significativos en la ANP por lo que se proyecta un aumento del pastizal del 5.8%, esto se puede comparar con la simulación al 2020 sin incluir el polígono de la reserva pues presenta mayor porcentaje de CUSV (ver Tabla 3). Por otra parte, la superficie del bosque de pino-encino se mantiene sin cambios, sin embargo, su distribución se presenta al suroeste y el bosque de pino tiende a disminuir el 1.5% de su cobertura. En cuanto a la distribución de las zonas de agricultura y pastizal tienden a establecerse en los límites de la RECSMT. En este sentido cabe destacar que las estrategias de conservación que se implementen en el futuro pueden modificar los resultados de la proyección.

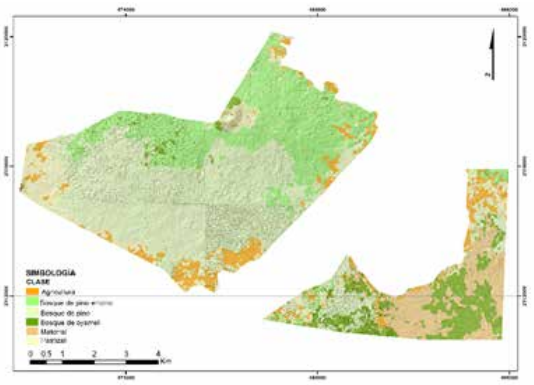


Figura 7 Proyección tendencial de uso de suelo y vegetación.

Tabla 3 Superficies de las coberturas y usos de suelo simuladas.

Clases	Simulación sin el establecimiento de la RECSMT (año 2020)		Proyección tendencial (año 2030)	
	ha	%	ha	%
Agricultura	717.17	12	448.12	7.5
Bosque de pino-encino	1794.14	29.9	1482.67	24.7
Bosque de pino	2076.52	34.6	2445.53	40.7
Bosque de oyamel	491.34	8.2	567.14	9.4
Matorral	493.08	8.2	500.38	8.3
Pastizal	425.91	7.1	560.03	9.3
Total	6,001.30	100	6,001.30	100

Discusión

A partir de los datos obtenidos se logró determinar la dinámica de CUSV en la RECSMT, donde resalta un aumento del 2.29& de la agricultura en un periodo de 20 años, estableciéndose en la periferia de la RECSMT y adentrándose hasta 1 km; estos resultados coinciden con Vázquez l (2015) que reportó el avance de la zona agrícola en el hábitat del gorrión serrano (Xenospiza baileyi) ubicado en los límites de la RECSMT y que se produce por la quema intermitentes de pastizal para convertirlas a cultivos, además las quemas no controladas por estas prácticas devastan las áreas contiguas promoviendo la expansión de la agricultura, pues la topografía de la Reserva es propicia para el establecimiento de la agricultura ya que el suelo se constituye de ceniza volcánica y arena de grano que mantiene la humedad incluso en condiciones de bajas temperaturas (CONACULTA, 2015). Torres-Lima y Rodríguez-Sánchez (2008) señalan que la dinámica de la agricultura se debe a varios factores y mencionan que puede atribuirse a la pérdida de áreas agrícolas debido a la urbanización, y al abandono temporal de la práctica agrícola, pues reportan que el 61% de los agricultores al sur de la CDMX informan que la falta de mercados, precios bajos, uso de intermediarios, fuerte competencia de cultivos fuera de la región y el alto costo de la contratación de mano de obra afecta a mantener las zonas agrícolas; y por otro lado al avance de las actividades agrícolas y pastoreo en zonas boscosas. A pesar que la urbanización es un problema en el SC, Torres-Lima y Rodríguez -Sánchez (2008) también mencionan que los agricultores no reconocen la urbanización como un problema debido a que pueden utilizar las zonas deforestadas para cultivar.

De igual manera los resultados de la clasificación mostraron un aumento de matorral de 195.2 ha, lo que coincide con otros estudios que explican el aumento de los matorrales como el de Magallón (2014) que reportó una extensión del matorral donde existían pastos en el parque Natural Moncayo en un periodo de cinco años con una estimación de crecimiento de hasta 15.9%, la autora lo atribuye a la disminución de pastoreo que facilita el rebrote de este tipo de vegetación pues una vez que no exista perturbación el pastizal experimenta una sucesión hacia la presencia de especies arbustivas (Álvarez, 1999), esto se relaciona con la modificación de pastizal a matorral que presentó la RECSMT de 19.9 ha. Por otro lado, el conjunto de bosques de coníferas constituida por bosques de pino, pino-encino y bosque de oyamel en su conjunto disminuyó 54.64 ha, coincide en el corte temporal del presente trabajo con la PAOT (2010) que reportó la variación de la cobertura forestal del SC, registró una disminución de 1986 a 1993 de 540 ha anuales, un aumento de 617 ha por año de 1993 al 1999 y nuevamente una pérdida de la cobertura de 300 ha por año de 1999 al 2010, esto indica una dinámica de pérdida y recuperación de los bosques por diferentes disturbios. Con relación al hallazgo de la modificación del bosque de pino-encino a bosque de pino de 706.1 ha, es concordante con lo reportado por la SEMARNAT (2003), quien señala una tendiente disminución del bosque mixto que incluye al bosque de pino-encino y al bosque de oyamel-pino en las alcaldías de Álvaro Obregón, Tláhuac, Xochimilco, Milpa alta, Magdalena Contreras, Cuajimalpa y Tlalpan, ya que para el año 1973 existían 8,609 ha, mientras que para el año 2000 abarcaban una superficie de solo 5,865 ha. El plan de Conservación de los bosques de pino-encino de Centroamérica y el ave migratoria Dendroica chrysoparia (Alianza para la conservación de los bosques de pino-encino de Mesoamérica, 2008) reportó la transformación del bosque de encino a pino en Chiapas y Guatemala debido al incremento de incendios por las malas prácticas de agricultura que promueve mayor vulnerabilidad del bosque mixto.

En el caso de la RECSMT, la pérdida del bosque de pino-encino fue aprovechado para la expansión del bosque de pino lo cual puede atribuirse a las perturbaciones ambientales como los incendios, ya que diferentes especies de pino son dependientes del fuego. Lo antes mencionado, concuerda parcialmente con Gómez-Mendoza y Rodríguez-Trejo (2021), ya que identificaron a las especies de Pinus montezumae y Pinus teocote como especies adaptadas al fuego que se regeneran bien en zonas incendiadas con capacidades de rebrotación en juveniles y en adultos con mayor afectación de copa, sin embargo, los autores identificaron a los encinos también como especies tolerantes al fuego ya que mostraron una mayor supervivencia que los pinos en post-incendios. Aun cuando en el presente estudio se identificó un aumento de superficie del bosque de pino para el año 2020, a lo largo del periodo estudiado se observó una pérdida y ganancias de los bosques de pino y bosque de pino-encino ya que ambos tipos de vegetación de bosques tienen estrategias para sobrevivir a los incendios forestales.

De acuerdo con datos de CONAFOR publicados en su portal, la CDMX es uno de los tres estados que presenta mayor presencia de incendios, específicamente en la RECSMT se han presentado 690 incendios en el periodo de 2015 al 2020 de tipo superficial con duración variable de uno siete días y un tamaño de hasta más de 100 ha, siendo las causas actividades agrícolas (quema para preparación de siembra), actividades ilícitas (vandalismo) y actividades pecuarias (quema para pastoreo), que afectaron a las 5 clases de cobertura (bosque de pino-encino, bosque de pino, bosque de oyamel, matorral y pastizal) (CONAFOR, 2021).

Los incendios pueden extenderse fácilmente, esto depende del tipo de combustibles que existe en la zona; Martínez (2020), caracterizó los combustibles forestales y el índice de riesgo en algunos parajes del Volcán Pelado ubicado dentro de la RECSMT, reportó que los combustibles presentes como herbáceas, pastos, hojarasca y la capa de fermentación, son combustibles rápidos que favorecen la dispersión del incendio (Villers, 2009), esto aunado al resto de los árboles talados en la zona que puede incrementar el número de incendios y afectar más a la biodiversidad de la RECSMT.

Respecto al bosque de oyamel, se observó su establecimiento en zonas más elevadas, entre los 3,300 a 3,500 m donde anteriormente había bosque de pino, este fenómeno fue reportado por Flores (2015) que señala cambios en el ecosistema de Abies religiosa por procesos de migración en respuesta al cambio climático, el autor estableció tres gradientes altitudinales superior, medio e inferior en el cerro de Tlaloc del Estado de México, reportó que al nivel inferior la estructura del bosque se está perdiendo pues en el gradiente superior identificó mayor número de plántulas y árboles jóvenes debido al aumento de la temperatura del Valle de México.
Para la proyección de la CUSV sin contemplar el polígono de la RECSMT, se mostró un aumento en la agricultura del 2.56% respecto al mapa real observado del año 2020 para lo que intervienen como variables la distancia a caminos, vías férreas y carreteras; las variables relacionadas con el CUSV concuerdan parcialmente con Espinoza (2016), que reportó que las variables de distancias a vías y elevación se relacionan con la pérdida de cobertura en un paisaje de Nicaragua. No obstante, esta autora modeló la proyección con otras variables que también tuvieron relación con el CUSV como distancias a centro de poblados, tipo de suelo y erosión entre otras, siendo la distancia a centro de poblado la que obtuvo mayor peso de evidencia, por lo que es recomendable ampliar la zona de estudio de la RECSMT en la proyección tendencial para vislumbrar el efecto que podría tener la zona urbana sobre la ANP.

Espinoza (2016), también menciona que la proximidad a vías de comunicación tiene un impacto significativo en el CUSV, ya que reporta la transición de bosques a pastizales. Esto coincide con los resultados de la proyección tendencial, donde se observa un fuerte peso de evidencia en la conversión de bosque de pino a pastizal. En el caso de la simulación sin considerar la RECSMT, se evidenciaron cambios significativos debido al aumento de la agricultura, que se expande principalmente desde los límites cercanos a las carreteras. Este hallazgo es consistente con Villegas y Gómez (2020), quienes señalaron que la fragmentación de la vegetación está influenciada por el desarrollo de infraestructura, como vías de comunicación y redes de servicios, tales como agua, electricidad y drenaje.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 4 Problemáticas y oportunidades para la gestión del cambio de uso del suelo y vegetación en la Reserva Ecológica Comunitaria San Miguel Topilejo de la Ciudad de México.

Problemáticas	Oportunidades
Existe un acelerado desequilibrio ambiental en las ANP del Suelo de Conservación de la Ciudad de México	La disponibilidad de información proporcionada por los sistemas de percepción remota y de información geográfica favorece realizar evaluaciones confiables.
El auge de asentamientos irregulares, poblados rurales y construcciones de clase media son amenazas de urbanización que junto con el cambio de uso de suelo forestal a agrícola que disminuyen el potencial del servicio de infiltración del SC.	Identificar y proteger zonas específicas que son esenciales para la recarga de acuíferos en la RECSMT, asegurando que no sean convertidas a otros usos de suelo.
No se conoce el efecto de las declaratorias de ANP sobre el uso de suelo	La creación de bases de información con datos técnicos y sociales abiertos al público en general
No hay un programa de manejo y no se hace una evaluación a mediano y largo plazo de los impactos en el USV asociados a las acciones de conservación	Para la planeación, manejo y conservación es importante el estudio de la estructura y diversidad florística, así como establecer las zonificaciones que incluye la zona de amortiguamiento que atenúa las perturbaciones y la zona núcleo que es un área de protección estricta cuyo objetivo es prevalecer a largo plazo los ecosistemas

Conclusiones

Los CUSV tienen complejas interacciones entre las causas naturales y antropogénicas, por lo que aun cuando se establecen las ANP para evitar la pérdida de los ecosistemas representativos y servicios ecosistémicos no se garantiza la ausencia de disturbios por actividades humanas que afectan los ecosistemas.

La RECSMT ha experimentado una dinámica variable en cuanto a las superficies de los diferentes tipos de cobertura que la constituyen. La proyección tendencial al año 2030 indica cambios que representan el 10% de la superficie total de la RECSMT, destacando la agricultura y los pastizales que tienden a establecerse en los límites de la RECSMT, debido a que son zonas cercanas a las vías de comunicación. En general, se puede afirmar que el establecimiento de esta ANP ha sido parcialmente efectivo en la reducción de la pérdida del bosque de coníferas como lo demuestra la simulación, sin la creación de la ANP, la agricultura se habría expandido en 150 ha para el año 2020, ocupando zonas de bosques de pino. Sin embargo, se debe prestar mayor atención al mantenimiento del pastizal por su importancia como zona de recarga del acuífero que abastece el 60% del agua consumida en la Ciudad de México (CORENADR, 2024) y su función como hábitat para especies endémicas en peligro de extinción como el teporingo y el gorrión serrano.

Para ello, es necesario identificar y proteger áreas esenciales para la recarga del acuífero dentro de la RECSMT implementando medidas que prevengan su conversión a otros usos de suelo. Además, del establecimiento de zonificaciones que incluyan una zona de amortiguamiento, destinada a mitigar perturbaciones y una zona núcleo, concebida como un área de protección estricta para asegurar la preservación de los ecosistemas a largo plazo.

Es importante considerar que la dinámica del CUSV es compleja y multifactorial causada por impulsores socioeconómicos y ambientales, en el caso de la RECSMT dada su cercanía a la Ciudad de México y a otros estados colindantes está sujeta a fuertes presiones internas, externas y a intereses de privados para obtener un beneficio de los recursos naturales, por lo que es necesario tomar en cuenta algunas limitaciones del presente estudio.

Agradecimientos

Esta contribución es producto del proyecto SECTEI/290/2019 financiado por la Secretaría de Investigación, Ciencia y Tecnología de la Ciudad de México; G. Rivera-Ojeda agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo recibido para la realización de estudios de Maestría.

Referencias bibliográficas

Alianza para la Conservación de Bosques de Pino-Encino de Mesoamérica. (2008). Plan de conservación de los Bosques de Pino-Encino de Centroamérica y el Ave Migratoria Dendroica chrysoparia. Ed. Pérez, E., Secaira E., Morales, S. y Amezcua, I. Fundación Defensores de la Naturaleza y The Nature Conservancy Guatemala.

Álvarez, J. (1999). Dinámica sucesional tras el abandono y recuperación del matorral mediante el pastoreo controlado. Experiencia en un sector de la montaña de León. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8331/jalvarez_pt1.pdf

Briassoulis, H. (2020). Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. 2nd edn. Edited by Scott Loveridge and Randall Jackson. WVU Research Repository, 2020.

Campos, L. (2018). Análisis multitemporal de cambio de uso de suelo y cobertura vegetal para el desarrollo de un modelo probabilístico prospectivo en la cuenca del río Capucuy Capucuy. [Tesis de maestría Internacional Sek]. Repositorio digital https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3133

Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (CONACULTA, 2015). San Miguel Topilejo. Pueblos originarios de Tlalpan. Historias, tradiciones y costumbres. Voces de Cultura (pp. 1-40).

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR, 2021). Incendios 2015-2020. Plataforma geoespacial de datos forestales. https://idefor.cnf.gob.mx/layers/geonode%3Ainfo_estadistica

Comisión Nacional Forestal. (CONAFOR, 2023). Manejo del fuego. https://snif.cnf.gob.mx/incendios/

Comisión de Recursos Naturales y Desarrollo Rural (CORENADR, 2024). Suelo de Conservación: Clave para el Abastecimiento de Agua en la CDMX. https://altepetl.cdmx.gob.mx/comunicacion/nota/suelo-de-conservacion-clave-para-el-abastecimiento-de-agua-en-la-cdmx

Di-Baldasarre, G., Kooy, M., Kamerink, J.S. y Brandimarte, L. (2013). Towards understanding the dimynamic behavior of floodplains as human-water systems. Hydrology and Earth Syst. Science., 17, 3235–3244, doi:10.5194/hess-17-3235-2013

Espinoza, V. (2016). Dinámica EGO: una herramienta gratuita para modelar y brindar soporte en el análisis de CCUS. Maimónides University.

Ferreira, B.M., Soares-Filho, B.S., and Quintão, F.M. (2019). The Dinamica EGO virtual machine. Science of Computer Programming (173):3–20

Figueroa, F. y Sánchez-Cordero. (2008). Effectiveness of natural protected areas to prevent land use and land cover change in Mexico. Biodiversity and Conservation, 17(13), 3223-3240. doi: 10.1007/s10531-008-9423-3

Flores, P. (2015). Migración de Abies religiosa en gradientes altitudinales en el Cerro Tláloc. [Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados].

Gallardo, M. (2018). Revisión y análisis de estudios de modelos de cambios de usos de suelo y de escenarios a futuro. Geographicalia, 70, (pp. 1-26).

Gaceta Oficial del Distrito Federal (GODF, 2007). Decreto por el que se establece como Área Natural Protegida, con la categoría de Reserva Ecológica Comunitaria, la zona conocida con el nombre de "San Miguel Topilejo"., Décima séptima época, 112. http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/av_decretos/decreto_topilejo.pdf

Gómez-Mendoza, F. y Rodríguez-Trejo, D. (2021). Fuego, mortalidad y rebrotación en especies forestales de la Sierra Norte de Puebla. Madera y bosques, 27(3) (pp. 1-15). doi: 10.21829/myb.2021.2732148

Leija, E., Pavón, N., Sánchez-González, A., Pérez-Laguna, R. y Ángeles-Pérez, G. (2021). Dinámica espacio-temporal de uso, cambio de uso y cobertura de suelo en la región centro de la Sierra Madre Oriental: implicaciones para una estrategia REDD+ (Reducción de Emisiones por la Deforestación y Degradación). Revista Cartográfica, (102), (pp. 43-68). DOI: https://doi.org/10.35424/rcarto.i102.832

Leñero, L., Figueroa, F., Ramos, A., Galván, L., Calzada, L., y Hoth Von Der Meden, J. (2014). Diagnóstico participativo de la Comunidad de San Miguel Topilejo, Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.researchgate.net/publication/320125157_Diagnostico_participativo_de_la_comunidad_de_San_Miguel_Topilejo_DF_Participatory_diagnosis_of_the_community_of_San_Miguel_Topilejo_Mexico_City

Lugo-Morin, D., Frolich, L. y Magal-Royo, T. (2015). Relación ser humano-naturaleza: debatiendo el desarrollo sostenible desde la filosofía de la ciencia. European Scientific Journal, 11(35) 1-12. https://riunet.upv.es/handle/10251/104550

Magallón. (2014). Expansión del matorral y cambios en la composición florística en pastos del Mocayo. [Tesis, Universidad Zaragoza].

Martínez, M. (2020). Combustibles forestales como índice de riesgo de incendios en el Tejocote, Coatillo y Las Torres en el Volcán Pelado. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/bitstream/123456789/26111/1/cbsCD050422190505yvvg.pdf

Palomeque-De la Cruz, M., Galindo-Alcántara, A., Escalona-Maurice, M., Ruiz-Acosta, S., Sánchez-Martínez, A., y Pérez-Sánchez, E. (2017). Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, Mexico. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 23(1), 105-120. doi: 10.5154/r.rchscfa.2016.03.018

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. (PAOT, 2009). Estudio sobre la superficie ocupada en Áreas Naturales Protegidas del Distrito Federal. México. 7. http://centro.paot.org.mx/documentos/paot/estudios/EOT-03-2009.pdf

Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial. (PAOT, 2010). Este estudio busca generar un modelo digital de análisis tendencial para monitorear y calcular las modificaciones y tendencias de la pérdida de cubierta forestal en el Suelo de Conservación. http://centro.paot.org.mx/index.php/publicaciones-paot/16-estudios-tecnicos/37-modelo-de-analisis.

Peijun D., Xingli, L., Wen, C. Yan, L. y Huapeng, Z. (2010). Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information. Mining science and technology 20, 20 (6):0922-0932. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2010MiSTC..20..922D/abstract

Reyes, A., Rosales, M y Toledo, J. (2021). Vulnerabilidad y Resiliencia de Áreas Naturales Protegidas ante Asentamientos Humanos Irregulares. En Martínez, S., Sarmiento, J. y Valles, M. (Eds.) Aproximaciones teórico-meto-

dológicas para el análisis territorial y el desarrollo regional sostenible. Universidad Nacional Autónoma de México (pp.1-16).

Rodrigues, H. (2015). Simulation with patch formation and expansion. Dinamica EGO discuss group. https://groups.google.com/g/dinamica-ego/c/0LL7cezA_sQ/m/cATA6vg0AwAJ

Savenije, H. H. G., Hoekstra, A. Y. y van der Zaag, P. (2014). Evolving water science in the Anthropocene Hydrology and Earth Syst. Science. 18, 319–332, 18/319/2014/ d

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (SEMARNAT, 2003). La Deforestación en 24 regiones.

Soares-Filho, S., Cerqueira, C., y Pennachin, L. (2002). Dinamica - a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. Ecological modelling, 154(3):217-235.

Soares-Filho, S., Rodrigues, H., Costa, WLS. (2009). Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO. Available at www.csr.ufmg.br/dinamica

Torres-Lima, P. y L. Rodríguez-Sánchez, (2008). Farming Dynamics and Social Capital: A case study in the urban fringe of Mexico city. Environmental Development Sustainable. 10. (pp. 193-208)

Vázquez. (2015). Metodología para justificar clasificaciones supervisadas de imágenes satelitales, una contribución a la conservación del gorrión serrano (Xenospiza baileyi) [Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería UNAM]. https://repositorio.unam.mx/contenidos/metodologia-para-ajustar-clasificaciones-supervisadas-de-imagenes-satelitales-una-contribucion-a-la-conservacion-157910?c=BdYyM6&d=false&q=*:*&i=1&v=1&t=search_0&as=0

Villegas, D., y Gómez, W. (2020). Procesos locales de transformación que detonan el cambio de uso de suelo y vegetación en un área natural protegida de la Región Centro de México. Acta universitaria, 30.

Villers, L. (2009). Incendios forestales. Ciencias, (081), (pp.61-99) https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=2006.+Mar%C3%ADa+de+Lourdes+Villers+Ru%C3%ADz.+INCENDIOS+FORESTALES.&btnG=

23 La contraloría ciudadana autónoma del agua como un sujeto de la sustentabilidad hídrica

Diego Antonio Contreras Rodríguez[1]

[1]Tecnológico Universitario del Valle de Chalco (*autor de correspondencia: diego.contreras@tuvch.mx)

Resumen

Para enfrentar la crisis del agua es fundamental un cambio de paradigma de la gestión del ciclo socionatural del agua, el cual se realizará a través de un sujeto que asume un proceso de destrucción crítica y construcción creativa, para transitar hacia un nuevo paradigma sustituyendo el anterior, por lo tanto, no hay paradigma sin sujeto ni sujeto sin paradigma.

El sujeto de la sustentabilidad hídrica, desde una consideración general para cualquier territorio, asume su autonomía, su propio poder, y se hace cargo de promover las Contralorías Ciudadanas Autónomas del Agua como una organización permanente y comunitaria, haciéndose responsable de la defensa del agua como bien común, la exigencia del derecho humano al agua y la construcción del buen gobierno del agua.

A nivel nacional, en México, hay diversas experiencias de contralorías sociales o ciudadanas, con sus éxitos y fracasos, pero esta reflexión busca fortalecer el aspecto político. Por lo tanto, se proponen los conceptos de legitimidad, voluntad popular y soberanía para fundamentar teóricamente la praxis política de la Contraloría o de organizaciones diversas, que buscan el cambio de paradigma y están en la permanente lucha por la justicia sociohídrica.

Introducción

La actual crisis del agua se sigue agudizando en nuestro país y en el mundo. Si exploramos los hechos durante el año se constata que la vida de las personas se ve afectada por el agua en dos grandes momentos, en el periodo de estiaje y el periodo de lluvias.

Una propuesta para resolver las problemáticas y necesidades que afectan a la población, es que la misma ciudadanía se asuma como un sujeto, que tiene que ser parte de la toma de decisiones en su territorio para transitar hacia un paradigma de la sustentabilidad del ciclo socionatural del agua. El cambio de paradigma no se da automáticamente o solo con enunciarse, implica que hay un sujeto que cuestiona el paradigma vigente y lo pone en crisis, a través de la problematización, porque ya no ofrece soluciones necesarias ni responde a este sujeto. Por lo que se revisará la definición de paradigma y el proceso que se desarrolla en el transitar de un paradigma hacia otro.

El sujeto, en términos generales, es quien asume su responsabilidad de responder ante la realidad, por lo que tendrá que buscar la forma de concretar su acción respecto a lo sociohídrico, considerando la gestión integral del agua. De esta manera, se abordará que el sujeto de la sustentabilidad hídrica es la Contraloría Ciudadana Autónoma del Agua. Como todo proceso de creación y organización se necesita una fundamentación teórica y se enunciarán conceptos relevantes de la praxis política, que permiten impulsar el cambio de paradigma.

Contexto general

La crisis del agua que se vive actualmente se ha gestado por diversos factores y las problemáticas se siguen agudizando cada año. Por esas razones la crisis del agua es un conjunto policrísico, como lo nombra Edgar Morin (1993), y considera que *“No es posible, así, poner de relieve un problema número uno que subordine todos los demás; no hay un sólo problema vital, sino varios problemas vitales y esta intersolidaridad de los problemas, antagonismos, crisis, proceso incontrolado, crisis general del planeta, constituye el problema vital número uno (1993).”*

Regresando al tema del agua, las afectaciones se presentan en los periodos de estiaje, de manera más agua de sequía, y de precipitaciones, esta situación se perpetuará si se mantiene como dominante el paradigma de la dominación de la naturaleza, el modelo extractivista y el agua como bien privado. Estos tres enfoques son cuestionados con los planteamientos de diversos autores.

a) Paradigma de la dominación de la naturaleza
Pedro Arrojo, actual Relator Especial sobre derechos humanos al agua potable y saneamiento, en su libro El reto ético de la nueva cultura del agua (2006), resalta que este paradigma se impuso contra el paradigma que concibe a la naturaleza como madre, quien genera y sostiene la vida. A través de la ciencia y la técnica, que responden al sistema de producción capitalista, se deja de concebir a la naturaleza como una madre y se percibe como un objeto a dominar y para los fines del ser humano. Arrojo no estigmatiza ese enfoque como algo totalmente negativo, porque ha permitido un tipo de desarrollo que ha mejorado las condiciones de vida de millones de personas durante siglos, pero ha provocado un quiebre del orden natural por la prepotencia e imprudencia humana, así como ignorar las externalidades que ponen en riesgo a las próximas generaciones.

Este paradigma produce una permanente crisis del agua y social, porque no garantiza la sustentabilidad. A la fecha siguen millones de personas que no se les garantiza el acceso al agua potable, se degradan los ecosistemas por la contaminación, no se respetan los ciclos socionaturales del agua en las cuencas hidrográficas, entre otras.

b) Modelo extractivista
La ruptura del ciclo socionatural del agua -considera el siguiente autor- fue instaurada por la dinámica de acumulación por despojo y por la dominación colonial para extraer la riqueza de los nuevos territorios en los que la ocupación europea, a partir del siglo XVI, se impuso con la presencia militar. Pedro Moctezuma (2003) considera ese momento histórico como el precedente de la crisis sociohídrica. Posteriormente, en el siglo XIX el sistema de haciendas buscaba apropiarse de mayores extensiones de tierra y de agua, negando a lo largo y ancho del país los dos elementos fundamentales para vida de las comunidades.

En el siglo XX, el agua se acaparaba en grandes ranchos o agronegocios, así como se destinaba para abastecer a las ciudades. A finales de este siglo, se impone la Ley de Aguas Nacionales como una, entre tantas otras, condición del expresidente George Busch de los Estados Unidos de América para la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. Ese Tratado facilitaba la entrega de los recursos naturales de México. En el caso del agua, se necesitó erigir la Comisión Nacional del Agua, como un organismo del gobierno. El autor, Moctezuma, señala que esta autoridad no tenía contrapesos sociales ni administrativos, que le permitía otorgar concesiones con la dinámica de compraventa y a lo largo de los años hay un sobreconcesionamiento de las cuencas del país.

Otros aspectos que generan esta crisis son las megaobras que afectan el territorio y a las comunidades, por ejemplo los trasvases (extraer agua de una cuenca para llevarla a otra cuenca), la proliferación de pozos, pozos ultraprofundos, megatúneles, contaminación del agua por la minería e industria. Por último, se puede cuestionar que las problemáticas no son por la sequía, sino por el saqueo "(...) *con dinámicas de poder basadas en la desigualdad social y la capacidad de grandes intereses para intentar torcer la naturaleza y alterar el territorio en función de sus ambiciones financieras, económicas y políticas (2023)".*

c) El agua como bien privado
En la concepción del capitalismo neoliberal del mercado el agua se considera el oro azul. Enrique Leff y el papa Francisco (máxima autoridad de la Iglesia católica) afirman algo semejante, el primero: "El agua es fundamental para la vida (2010)"; el segundo, en la encíclica Laudato Si'. Sobre el cuidado de la casa común expresa: *"El agua potable y limpia representa una cuestión de primera importancia, porque es indispensable para la vida humana y para sustentar los ecosistemas terrestres y acuáticos (2015)".* Bajo la lógica del mercado el agua se ve como una mercancía que se compra y vende. Quien la posea la ofrece de muchas maneras en el mercado y exige que los usuarios paguen por el suministro de agua, en caso de no realizar el pago de esta mercancía no se les dota del vital líquido. El papa Francisco considera que el riesgo, siempre latente, de la privatización del agua bajo el control de las empresas mundiales es que "(...) *se convierta en una de las principales fuentes de conflicto de este siglo [XXI] (2015)".*

Al tratar estos puntos, Enrique Leff plantea que son para dimensionar la magnitud del problema y que es necesario superar esta crisis porque: *"La 'crisis del agua' es en última instancia una 'crisis de la vida', de la diversidad biológica y de las condiciones de la existencia humana en el planeta (2010)".*

Paradigma

En tiempos de crisis se buscan nuevos caminos que posibiliten salir o ir más allá de la crisis. Una respuesta, que se usa frecuentemente, es: ¡se necesita un cambio de paradigma! Por lo que se quiere es transitar del paradigma A al paradigma B. Se pone en cuestión el paradigma vigente o dominante porque ya no brinda las soluciones necesarias. El anuncio del nuevo paradigma no es un proceso de desarrollo lineal o que se instaure de manera automática, sino que es un proceso revolucionario y de conflicto, de partidarios (comunidad), quienes crearán y promoverán el nuevo paradigma.

Las categorías antes mencionadas serán muy útiles para generar una concepción, sobre la constitución de cualquier paradigma, mismas que se retomarán del libro La estructura de las revoluciones científicas (2013) del físico, filósofo e historiador de la ciencia Thomas S. Kuhn.

a) Crisis

Las crisis son el precedente del surgimiento de algo nuevo, porque empieza un cambio de perspectiva con la presencia de muchas anomalías que comienzan a cuestionar y socavar lo que se consideraba como válido, se pone en duda lo establecido, porque algo no está bien. El paradigma dominante ya no satisface las expectativas para dar una solución ni los hechos se ajustan al planteamiento de este. Este proceso puede darse de manera gradual o de manera intempestiva, dependerá de la intensidad de la comunidad en hacer la debida promoción, pero también en la aceptación o rechazo de otros sujetos. Comenzará a gestarse un cambio y ajuste de los conceptos, categorías, prácticas, metodologías, modos de proceder, entre otras para dar contenido y forma al nuevo paradigma. Respecto a la teoría, Thomas Kuhn menciona tres momentos distintos, uno, que "*(...) la proliferación de diferentes versiones de una teoría es un síntoma muy corriente de crisis (2013)"; otro escenario, las crisis genera un ambiente para que surjan nuevas teorías y den respuestas a la crisis (2013)"*.

El paradigma vigente no ve ninguna anomalía ni se considera estar en crisis, al contrario, puede reafirmarse con mayor ímpetu en sus principios y fundamentos. Por ejemplo, en el capitalismo neoliberal en un momento histórico se afirmaba que para salir de la crisis se necesitaba más mercado, actualmente sus ideólogos ven necesaria, con ciertas restricciones, la intervención del Estado.

La crisis abre un nuevo camino, incierto, para quienes quieren impulsar un nuevo paradigma. Requieren mayor esfuerzo para convencer con la nueva propuesta de paradigma y que sea aceptada. En caso de que la crisis se resuelva con el paradigma anterior, el paradigma todavía tiene la capacidad de resolver problemas con los modos que ya se disponían y su vigencia puede posponerse en el tiempo.
Se pone fin a una crisis por la tensión entre paradigmas con una revolución, porque implica el cambio radical de una manera de concebir y estar en el mundo hacia otra muy distinta, se transtita del paradigma A al paradigma B, con lo cual no se busca corregir lo que estaba mal del paradigma vigente, sino afirmar la ruptura para brindar nuevas soluciones desde un nuevo punto de partida, tanto en contenido como en forma, con nuevos principios y fundamentos.

b) Revolución

Desde el texto de Kuhn se aborda la revolución en el campo de la ciencia, lo cual tendrá diferenciaciones sustantivas con los procesos revolucionarios sociales, políticos y económicos de la humanidad. Pero quiero resaltar algunos elementos fundamentales para repensar, análogamente, lo revolucionario en un proceso político.

El aporte de Kuhn sobre la revolución es que acontece en episodios y no es instantánea. De manera sincrónica se inicia la destrucción de la tradición vigente y la construcción de una nueva tradición, hay cambios de compromisos, se origina una nueva base de un conjunto de consideraciones para solucionar o atender las problemáticas. Tampoco se da solamente por una persona y la reconstrucción implica la intervención de comunidades, mismas que reconstruyen la teoría y la práctica, reevalúan todo lo anterior y promueven el nuevo paradigma ante todo mundo o a un sector en especial, que desean lo asuman para estar unidos. Este proceso, omitiendo lo relacionado con la ciencia y la física, se podría expresar de esta manera:
Las transformaciones de los paradigmas constituyen revoluciones y las sucesivas transiciones de un paradigma a otro mediante una revolución constituyen el patrón usual de cambios (2013).

El proceso revolucionario puede tener algunas consideraciones como no considerarse absoluto, hay revoluciones pequeñas o grandes, desde el sentido de su extensión se logra trastocar otros ámbitos de la vida y asuman replantearse totalmente. Un caso en la ciencia fue con la teoría de Einstein, el autor resalta que fue necesario cambiar los contenidos familiares y establecidos de los conceptos, en este sentido la transformación teórica resulta en la destrucción del paradigma dominante, porque no adicionó cosas nuevas, sino que la revolución científica hizo *"(...) un desplazamiento de la red conceptual a través de la cual el científico ve el mundo (2013)"*, por lo que la revolución hace que el paradigma anterior sea incompatible e inconmensurable con el nuevo.

El proceso revolucionario es el que permite transitar a un nuevo paradigma y transformar la realidad. El mundo se ve nuevo, se contemplan cosas nuevas que antes no existían y se reescribe la historia.

c) Partidarios

Los paradigmas están en una tensión hostil. El nuevo paradigma busca constituirse para que se asuma como general, esto provoca la reacción de los partidarios del paradigma vigente. Durante este proceso revolucionario se van gestando cambios mutuos, lo que permitirá mostrar cuál responde a la realidad para superar la crisis. Todo paradigma puede ser rechazado o aceptado eso lo deciden los partidarios al realizar la comparación y optar por continuar con el vigente o iniciar la construcción del nuevo horizonte que brinda el nuevo paradigma.

El autor realiza una reflexión política sobre el proceso revolucionario. Quiero resaltar las siguientes ideas. La crisis al profundizarse genera, cada vez más, que los proyectos o posturas concretas en tensión provoque el compromiso de las personas por un paradigma u otro, porque creen que desde esa propuesta se logrará reconstruir la sociedad. El autor expresa:

"En este punto, la sociedad está dividida en campos o partidos enfrentados, uno de los cuales trata de defender la vieja constelación institucional, mientras que otros buscan instituir una nueva. Y, una vez que se ha producido la polarización el procedimiento político falla. Ya que difieren acerca de la matriz institucional en la que se ha de producir y evaluar el cambio político, ya que no reconocen un marco suprainstitucional para dirimir las diferencias revolucionarias, los partidos de un conflicto revolucionario han de apelar finalmente a las técnicas de persuasión de masas (...) (2013)".

Por la crisis y la aceptación de un paradigma provoca modos incompatibles de la vida comunitaria y que se enfrentan con el mismo fin, de reconstruir la sociedad, pero han cambiado radicalmente los modos y los contenidos para ese fin. Se aviva la discusión de cada grupo en defensa de su paradigma y se busca que se unan más partidarios, para lograr alcanzar que un paradigma tiene el consenso generalizado de la comunidad. Thomas Kuhn menciona una situación que me parece es relevante. "La competencia entre paradigmas no es el tipo de batalla que se pueda resolver mediante pruebas (2013)", porque cada partidario va a defender hasta las últimas consecuencias su paradigma y su tradición, será difícil persuadir a la otra parte y aunque se argumente, en este momento de tensión cada parte reafirmará su postura.

El paradigma se generaliza cuando los partidarios logran producir una teoría más sólida y generar prácticas ejemplares que las puedan replicar más sectores de la comunidad. De esta manera, por el trabajo de los partidarios se logra consolidar el nuevo paradigma como el vigente, que será un nuevo punto de partida para abordar la realidad y el desafío de crear lo nuevo desde este nuevo paradigma.

Sustentabilidad

El ciclo extractivista (Serratos, 2020) desde el paradigma de la dominación de la naturaleza, se enfoca y desata todas sus fuerzas para extraer la mayor cantidad de recursos como materias primas al menor costo y transformarlas en mercancías para obtener la mayor ganancia, sin importar el deterioro ambiental ni social de las comunidades. Esto provoca una ruptura metabólica. Asimismo, no se respetan los propios límites de la naturaleza para su reproducción, de esta manera solo importa garantizar al máximo el funcionamiento del mercado y del capital, y no de la vida en general.

Para enfrentar al paradigma de la dominación de la naturaleza se propone el paradigma de la sustentabilidad.

Este texto usará la categoría de sustentabilidad, aunque lo considero, terminológicamente, como sinónimo de sostenibilidad. Asimismo, a los autores

que haré referencia unos usan sostenibilidad, por lo que los traduciré por sustentabilidad, porque para garantizar el ciclo de la vida con sus diversos ciclos, sustentan y sostienen la vida del ser humano y de la naturaleza. Realizada esta breve aclaración se determinarán las ideas fuerza de la sustentabilidad.

La primera idea fuerza de la sustentabilidad es evitar la destrucción del planeta y garantizar una vida digna. Luis Zambrano (2019) pide que se tenga una nueva visión y ya no perpetuar el ciclo extractivista que está absolutizado por la economía, con la dinámica de si aumenta la demanda de más materia, se requiere más energía y más espacio. Propone que si se quiere una verdadera sostenibilidad se tiene que partir de la dinámica de la naturaleza y se tiene que respetar cualquier ecosistema. "La naturaleza misma puede ayudar a repensar las ciudades (Zambrano, 2019)" y romper con la contradicción de campo y ciudad. Cualquier forma de vida del ser humano en sociedad tiene que ser sustentable y que no se perpetúe exponencialmente el ciclo extractivista, el cual reinicia ad infinitum porque el mercado le pide más mercancías para saciar a una sociedad insaciable de consumo desmedido. Se tiene que detener ese ciclo y moderar la demanda de materia prima, del consumo energético y de espacios, para garantizar la conservación, protección, regeneración de los ecosistemas, porque la "(...) estructura y dinámica de cada ecosistema (...) (2019)" es única y propia. Se busca sustentar la comunidad de vida que habita en la única casa común (Boff, 2013)– como lo considera Leonardo Boff – y requiere de la participación organizada desde una democracia socioecológica para garantizar la vida de las futuras generaciones, de la ciudadanía y de los ecosistemas (2013).

La segunda idea fuerza retoma reparar la fractura del metabolismo por la relación del ser humano y la naturaleza. Se tiene que asumir la responsabilidad diferenciada de quienes provocan la destrucción del planeta y no se sigan afectando los procesos de los ciclos naturales ni el desgarramiento entre el ser humano y la naturaleza. El pensador Kohei Saito retomando a Karl Marx con quien justifica la urgente necesidad de un cambio drástico para reparar la fractura, pero se necesita una "(...) producción adaptada a los ciclos de la naturaleza (2023)".

Como un nuevo paradigma, el paradigma de la sustentabilidad, se tendrá que promover con la propuesta de más ideas fuerza como líneas generales de acción para el sujeto de la sustentabilidad hídrica y desde un enfoque del pensamiento sistémico y complejo.

Sujeto de la sustentabilidad hídrica

Abordar la categoría de sujeto es central para este trabajo porque es quien construye el paradigma de la sustentabilidad y de manera concreta se organiza a través de la Contraloría Ciudadana Autónoma del Agua.

Ningún sujeto está determinado de manera a priori, se construye porque es el protagonista de los procesos políticos, los cuales cambian en cada momento histórico. Dependiendo de las circunstancias el sujeto político establecerá sus estrategias, objetivos y líneas de acción para transformar la realidad. Desde el aporte de Demian Selci (2018) el sujeto es sujeto en tanto que se hace cargo de sus demandas, asume su responsabilidad por el otro y participa, pone el cuerpo en el proceso de politización de los demás. La politización no es sólo demandar, sino asumir una lucha por las demandas propias y ajenas. Para lograr lo anterior, como sujeto tiene que estar organizado con otras y otros, salir de su yo para integrarse a la organización o comunidad y dar resultados políticos, los cuales se cristalizan en la transformación de la realidad.

El sujeto inicia un proceso de construcción histórica con una identidad colectiva heterogénea evitando la fragmentación y como fin el bien común con proyectos compartidos. El fortalecimiento del sujeto es a través de su unidad y articulación para ampliar sus fuerzas (Barrios, R. G., & Estrada, S. M., 2022). Asimismo, el sujeto toma sus propias decisiones (2022) para definir el rumbo histórico de sus luchas. Este primer acercamiento a la categoría del sujeto es para tener una propuesta genérica que estará condicionada por aspectos sociales, culturales, ambientales, geográficos, etc.

El siguiente momento es abordar al sujeto de la sustentabilidad hídrica. La construcción de este sujeto considera ser parte del proceso, para "(...) recrearnos en comunidad y rearticularnos con la naturaleza[,] necesitamos dejar de ser objetos de manipulación y construirnos como sujetos (Moctezuma, 2023)". El planteamiento del autor asume al sujeto como alguien que se integra a la naturaleza

y no de manera aislada, para lograr ir más allá de crisis civilizatoria.

Este sujeto tiene que estar muy ligado al agua, a la cuenca y a la comunidad (rural o urbana), porque es en el territorio donde se asume la organización, se plantean los problemas y necesidades comunes para establecer la lucha y el cuidado del agua. Se trabaja para construir desde abajo y de manera horizontal el buen gobierno del agua, considerando sus propias fuerzas, capacidades, posibilidades y limitaciones. Es importante conocer diversas experiencias de procesos de construcción del sujeto de la sustentabilidad hídrica en nuestro país, porque permiten aprender respecto a cómo se sostiene y sustenta una lucha durante años, Moctezuma menciona: "El movimiento por el agua en México ha logrado articular procesos organizativos, pasando de luchas defensivas a la movilización amplia, con avances desde lo local a lo regional y nacional, y con aprendizajes de luchas exitosas y también de reveses, hasta convertirse en una fuerza social autónoma. El movimiento de ha adaptado a las distintas circunstancias y ha abierto espacios anticipativos de manejo alternativo del agua (...) (2023)".

En el capítulo De actor social a sujeto social organizado en el contexto del ciclo socionatural del agua, del libro Problemas del agua en México ¿Cómo abordarlos? (2022), los autores señalan una serie de atributos no limitativos y su articulación sistémica para responder a las problemáticas del agua (2022, p.38). Estos se presentan de la siguiente manera:

- Estar informados.
- Ser participativos, persistentes, resilientes, influyentes (poder de decisión, convocatoria y buen discurso).
- Tener capacidad organizativa, conciencia del problema específico a resolver, empatía por los problemas de los semejantes, capacidad poiética para incidir en las transformaciones, amplia visión de los problemas comunitarios, planificación comunicativa, comunicación fluida horizontal y verticalmente, capacidad dialógica con conciencia en el proceso de pensamiento individual y colectivo, conciencia intercultural, capacidad de construcción de acuerdos, como el valor a mecanismos democráticos de toma de decisiones colectivas.
- Actuar con transparencia.
- Fomentar la equidad e igualdad de género e inclusión de diversidad.

La participación generará una prospectiva (visión de futuro) para evitar encasillarse en los problemas y soluciones en un tiempo a corto plazo o inmediato, sino atender a lo urgente, desde la articulación temporal del corto, mediano y largo plazo. Es importante mantener un espíritu utópico para hacer realidad el buen lugar para todas y todos, todos los días, el cual se logrará cuando a nadie le agua. Esta concepción necesita de una ética del bien común.
La ética del bien común es fundamental como parte del modo de actuar del sujeto de la sustentabilidad hídrica, para que se garantice la vida del ser humano y de la naturaleza. A continuación, se distinguirán dos éticas: la del mercado y la del bien común, porque es necesario elaborar una propuesta ética ante la ética del mercado.

No se trata de negar que la sociedad de mercado no tiene una ética o que la niega, realmente tiene su ética y por eso hay una sensación y conciencia de que se actúa bien. Por tal razón es conocer cuál es la ética del mercado, con su lógica y dinámica, la cual se da a partir del mercado que rige y norma la vida, las instituciones y los campos prácticos de la realidad como la economía, la política, la educación, etc. Es una ética formal (parte de las normas y no de la vida) y absoluta, porque quiere abarcar todo y promueve un interés general sin asumir ninguna responsabilidad de sus consecuencias sobre la vida del ser humano y de la naturaleza, su única autolimitación es cuano se afecta su criterio de la máxima ganancia. El pensador y economista Franz Hinkelammert señala respecto al actuar de la humanidad y de la sociedad se da de manera atomista, desde acciones fragmentarias de individuos (2006), las cuales generan efectos indirectos destructivos como "(…) la exclusión, la destrucción del medio ambiente y el socavamiento de las relaciones sociales. Actualmente penden como amenazas globales sobre nosotros (2006)". Esta realidad genera una crisis y nos permite impulsar otra ética, la ética del bien común.

La dimensión imprescindible de la ética del bien común es la vida humana y de la naturaleza. Lograr el bien común es una tarea compleja y no se deben usar simplificadores tanto de las problemáticas como de las soluciones, se tiene que profundizar críticamente la realidad para trabajar soluciones complejas.

Otro rasgo de la ética del bien común es la responsabilidad, ningún sujeto evade la responsabilidad de sus acciones, toma conciencia de estas y se hace cargo de los efectos indirectos para atenderlos. La responsabilidad no parte ni se centra en las acciones fragmentarias de los individuos, sino las integra junto con las instituciones y diversos sectores de la población.

El bien común cuestiona al interés propio del individuo y al interés general del mercado, no con la pretensión de su eliminación, sino pretende mantener una relación de conflicto y de resistencia que interpela constantemente al sistema, porque el bien común, desde la reflexión de Hinkelammert (2006), es un criterio sobre las leyes y normas para posibilitar la vida del ser humano y de la naturaleza.

Volver al agua

Con la expresión de Enrique Leff: "El agua es un elemento vital para la sustentabilidad de los ecosistemas y para la vida social (2010)" nos invita a reconsiderar porque siempre tenemos que partir de la relación: agua y vida, porque el ser humano interviene en el ciclo socionatural del agua. A pesar de la abundancia de este líquido vital, como lo afirma Ghislain De Marsily, cuando falta o se degrada resulta ser una penuria cruelmente resentida (De Marsily, 2005), la contaminación de los cuerpos de agua y su injusta distribución por la mala gestión. Cuando hace falta de manera grave la misma población entra en conflicto. Por ejemplo, un caso crítico es el que menciona Serratos en su libro de Capitaloceno (2020). En Madhya Pradesh, India, se empieza a normalizar hablar de la guerra del agua y las personas se matan para conseguir una dotación, para resguardar el vital líquido el gobierno envía a la policía.

Es necesario considerar que el agua es un componente que garantiza la vida desde un punto de vista sistémico, como lo plantea el autor Luis Zambrano, al explicitar los tres vértices necesarios para la vida humana (2019), estos son: agua, alimentos y energía. Cada uno de estos vértices no están aislados, sino que interactúan entre sí. Además, para lograr la sustentabilidad requiere considerarse a la hidrosfera (Boff, 2013), porque en ella se identifican todos los modos del agua en el planeta.

El sujeto de la sustentabilidad hídrica asume su responsabilidad de promover el cambio de paradigma para generar soluciones y proyectos concretos encaminados a superar la crisis del agua con una ética y el agua como bien común, por lo que no debe considerarse el agua como una mercancía ni ser sometida a la lógica y dinámica del mercado. Un aporte sociohistórico de Saito (2023) sobre la concepción del agua como algo común es que al considerarse de esa manera hay una abundancia para la comunidad de este recurso, para satisfacer sus necesidades y de una manera gratuita, se toma el agua que se necesita y no para lucrar con ella, porque el agua al considerarse como una propiedad compartida se posibilita su gestión de manera sustentable. Se puede formular lo siguiente:
Si el agua es abundante y común es gratuita y se distribuye justamente a todas y todos. En cambio, si se considera que el agua es escaza, el mercado, como un ente abstracto sin responsables ni responsabilidades, le pone precio y comienza su mercantilización, generando una grave consecuencia: quien no tenga para pagar por el agua no la recibe.

La concepción del agua como un bien común es considerarla como: un bien abundante, una riqueza pública y con una disponibilidad libre para garantizar la vida de las personas y de la naturaleza. Desde las categorías de Marx, se considera que el agua debe ser un valor de uso (Saito, 2023) y no un valor de cambio, porque este valor es fundamental para satisfacer las necesidades del ser humano. Con esta síntesis, el agua como riqueza pública, abundante y disponible "(...) aspira a que la ciudadanía recupere la gestión (...). Lo común es la práctica de métodos de gestión colectiva (...) (Saito, 2023)," de manera sustentable y con la participación ciudadana desde el apoyo mutuo con las autoridades responsables de la gestión del agua.

Lo anterior, será un punto de partida hacia la democratización del agua a través del trabajo del sujeto de la sustentabilidad hídrica que adopta una forma más concreta de acción a través de la forma de organización de la Contraloría Ciudadana Autónoma del Agua, para trabajar directamente en el territorio en la construcción del buen gobierno del agua y promover la integración de la ciudadanía a la contraloría.

Contraloría Ciudadana Autónoma del Agua

La Contraloría Ciudadana Autónoma del Agua (Contraloría) es un modo concreto del sujeto de la sustentabilidad hídrica. Su praxis busca restablecer el ciclo socionatural del agua, promover la participación comunitaria y ciudadana en los territorios por la construcción del buen gobierno del agua y la exigibilidad del derecho humano al agua para todas y todos.

Lo fundante de la Contraloría es la organización. Desde un planteamiento de la filosofía política se resalta a la organización como una fuente para iniciar los procesos políticos.

La organización asume un proceso de politización de hacerse sujeto, de mantenerse organizado y ser un sujeto con una ética del bien común para responsabilizarse de la realidad de la vida del ser humano y de la naturaleza, pero las personas se organizan por situaciones concretas (Mouffe, 2018). La Contraloría al politizarse, por la situación concreta del agua en su vida y territorio, no sólo demanda la falta de agua y la denuncia de la contaminación, sino vela por la situación del agua en la cuenca. Toma la responsabilidad en sus manos y se encarga directamente de los asuntos comunitarios y públicos, porque atraviesan su vida y la de los demás. Otro momento relevante es hacerse cargo de organizar a otros, lo que implica que los politiza y busca la constitución de más sujetos respetando su propio proceso sin que sea idéntico al primero, porque será una organización heterogénea y pluralista. La Contraloría tiene como finalidad ser una organización plural, articulada y diversa, pero consolidarda para evitar que se diluya al momento de satisfacer ciertas demandas muy puntuales.

Como organización va forjando su propio destino por medio de su praxis concreta y su propio poder, porque confía en sí misma, aunque su proceso "(…) sea venturoso o funesto, para bien o para mal. (Selci, 2020)", la organización replanteará su praxis para próximas luchas asumiendo sus consecuencias, sin esperar la llegada de alguien o algo para recibir cuál es la dirección correcta de su lucha y se mantiene ajeno al proceso concreto de organización. De esta manera, la Contraloría asume un compromiso performativo, actúa conforme lo anunciado discursivamente.

La Contraloría, como un modo de organización, pierde el miedo y deja de depositar la responsabilidad en otros ni delega todas las decisiones sobre el agua en las autoridades u otros poderes, sino que asume su responsabilidad de hacerse cargo respecto al agua, porque es un bien común y necesita impulsar la defesa ante los intereses particulares o de lucro. Asimismo, la Contraloría renuncia a beneficiarse a sí misma o a un pequeño sector que le sea afín. Si se trabaja de manera organizada no basta solo anunciar pronunciamientos criticos sobre la mala gestión ni demandar y estar en espera pasiva de la atención a las problemáticas. La Contraloría asume ser parte del proceso para que las demandas sean atendidas y se resuelvan las problemáticas, porque con mayor participación las situaciones pueden resolverse de mejor manera. La Contraloría no niega la responsabilidad de las autoridades lo dimensiona con sus obligaciones propias y específicas, pero quiere la integración en la toma de decisiones de manera conjunta, porque se busca el mismo fin y cada quien puede contribuir.

La Contraloría necesita asumir su legitimidad ante la absolutización o la neutralidad de la legalidad del marco neoliberal (como en México donde se tiene la Ley de Aguas Nacionales), se necesita una nueva legalidad que permita ir más allá de esa ley que no hace frente a las injusticias sociohídricas en el país. Lograr una nueva ley requiere trabajar simultaneamente en su construcción y un sujeto a participar es la Contraloría. Regresando a la legitimidad, la Contraloría tiene que asumir su legitimidad política, para determinar desde sus decisiones, las decisiones de las autoridades o en el mejor de los casos llegar a consensar acuerdos de manera mutua.

La Contraloría será el sujeto que cuestione el marco legal, que afecta la vida del ser humano y de la naturaleza, porque ya no es válido que las autoridades digan: "es legal". Ese argumento en un contexto democrático es antidemocrático, porque la democracia, en términos del antidemócrata Carl Schmitt (2006), es la identificación de la voluntad política (gubernamental) con la voluntad política. La ley o la legalidad no decide formalmente por sí misma, son personas concretas con cierta responsabilidad que utilizan lo legal para justificar algo a pesar de que sea injusto, así como cualquier decisión por parte de las autoridades será legítima si se identifica con la voluntad política de la Contraloría o de otros sujetos de la sustentabilidad hídrica.

Esta construcción de un nuevo sistema legal, con nuevos fundamentos, deberá estar en tensión con las exigencias legítimas de la voluntad popular en tiempos normales y extraordinarios. Esto implica un desafío de crear leyes, situaciones permanentes, institucionalizar la participación para la aplicación y ejecución de las decisiones mutuas entre la Contraloría y las autoridades. Schmitt hace una referencia valiosa al proceso democrático, porque es a partir de un "(…) compromiso de organizaciones de poder heterogéneas (…) en el escenario de un sistema pluralista. (…) la dispersión en un sistema de poder pluralista aparece en el intento de crear una especie de sustitución del Parlamento con consejos consultivos, asambleas y parecidos.

Las organizaciones de poder que comprenden miembros desde puntos de vista globales, económicos y otros distintos (en otras palabras, las sujeciones de un sistema plural) transforman la competencia estatal, federal, comunal, del Estado de Derecho y otras distintas en posiciones de sus complejos de poder, construyen mediante pactos y compromisos con otros colaboradores del sistema pluralista la voluntad estatal decisiva (…) (Schmitt, 2006)".

La Contraloría busca representar autónomamente, sin limitarse a una representatividad cerrada, la voluntad del pueblo respecto a las problemáticas y necesidades sociohídricas, por lo que evitarán los riesgos, abusos, la manipulación o creer en la debilidad y poca razón del pueblo ante las autoridades con una pretensión autoritaria. Esta tensión y colaboración de la Contraloría reconstruye al mismo gobierno, porque le plantea como punto de apoyo la voluntad popular y la permanente interpelación de la Contraloría.

Retomar el tema de la soberanía a partir del sujeto es prioritario para fundamentar la Contraloría, porque al considerarse la participación ciudadana desde el contexto democrático sólo de da si su principio soberano es el pueblo y el pueblo como sujeto organizado se materializa en la Contraloría.

Karl Marx, en su texto de la Crítica del derecho del Estado de Hegel, cuestiona el planteamiento idealista en el cual solo el soberano es el monarca con el poder para decidir. La categoría relevante, políticamente, es la autodeterminación, porque el sujeto se determina a sí mismo, lo que significa que en tanto sujeto marca el momento de la decisión para determinarse y no está determinado por otro sujeto "(…) lo que constituye el principio disruptivo del poder soberano en cuanto tal (…) (Marx, 1982)", palabras de Hegel, citadas en el texto de Marx. Regresando a la idea anterior si se desarrolla un régimen democrático para del acontecimiento disruptivo del pueblo como soberano y no una entidad unipersonal como la presidencia o el gobernante local ni otro tipo de poder que pretenda suplantar la voluntad del pueblo, porque es la voluntad real como unidad heterogénea: "(…) sólo el pueblo es lo concreto (Marx, 1982)".

La disyuntiva de quién es el soberano ¿el monarca? ¿el pueblo?, porque la soberanía es excluyente: es el pueblo o el monarca, ambos no pueden mantener un porcentaje de soberanía o repartirse la soberanía por momentos, primero uno y luego el otro, o el escenario de dos soberanías en contraposición. El criterio radical considera que si se asume un régimen democrático solo la soberanía recae en el pueblo porque, en palabras de Marx, es "(…) la verdadera unidad de lo general y lo particular (1982)." El poder del pueblo y soberanía del pueblo son dos principios fundamentales de la democracia, por lo tanto, no debería entrar en conflicto con las autoridades en la disputa de las decisiones.

La ciudadanía es otro rasgo de la Contraloría. En un proceso democrático no se puede concebir simplemente como un cliente a quien se le debe dotar de cierta cantidad de agua y realizar un pago para continuar recibiendo el líquido. En otro sentido, la ciudadanía radicaliza la democracia (Mouffe, 2018) a partir de su concepción como un sujeto de la comunidad política al involucrarse activamente por el bien común, con voz y poder para decidir lo relevante en el ejercicio de sus derechos de manera concreta, considerando cada una de las decisiones, las cuales modifican "(…) el futuro cercano de la persona y también del que la rodea (Zambrano, 2019)".

La Contraloría, por su carácter ciudadano vela por el acceso universal del servicio público del agua como un derecho socioeconómico de la ciudadanía (Arrojo, 2006), contra la privatización, el lucro, el acaparamiento, entre otros.

Por su carácter ciudadano, la Contraloría, impulsará la devolución de la gestión de los servicios de dotación de agua al sector público con un modelo, entre la Contraloría y las autoridades, "(…) bajo intensa

participación ciudadana (Arrojo, 2006)," para obligar en la transparencia de la gestión con el establecimiento de mecanismos internos y externos de control, de esta manera la Contraloría trabajaría para contrarrestar un diagnóstico de Pedro Arrojo de la "(…) docilidad de una sociedad civil escasamente organizada y en condiciones de gobernabilidad escasamente participativa (…) (2006)". Esta búsqueda de nuevos modos de gobernabilidad democrática del agua tiene que partir de lo que se ha reiterado a lo largo de este texto, a través de la organización e integrando modelos de gestión pública local, regional y nacional, y romper con la falaz confrontación de quién gestiona mejor el agua ¿el sector privado o el público? Por ser un derecho humano, la gestión debe ser pública y participativa (Arrojo, 2006), pero no con los modelos actuales que son deficientes, corruptos y mercantilizan el agua.

La Contraloría será fundamental para promover la responsabilidad de la gestión pública creando nuevos modelos, los cuales de manera propositiva plantearán alternativas de gobernabilidad democrática entre la ciudadanía y las autoridades, garantizando el agua como un bien común y la sustentabilidad por encima de los intereses individuales o privados, respetando y regenerando el ciclo socionatural del agua en las cuencas. Retomando el punto de la soberanía y la decisión, Arrojo (2006) resalta: "(…) La propia decisión de cómo organizar la gestión de los servicios de agua y saneamiento, al igual que el resto de servicios públicos básicos, debe ser motivo de procesos participativos en los que la población pueda decidir, en última instancia, la opción que entienda más adecuada".

Para finalizar, con esta propuesta se busca continuar la búsqueda de profundizar e implementar nuevas formas de organización comunitaria y ciudadana, por lo que la reflexión desde lo político con las categorías de legitimidad, voluntad popular y la soberanía como tres vértices fundamentales para promover las Contralorías Ciudadanas Autónomas del Agua recae en un primer momento en su conformación, fortalecimiento y aumento de ser un sujeto que logre incidir en su territorio, logrando mayor fuerza política y social. El segundo momento, se requiere el vínculo ante las autoridades para una toma de decisiones de manera conjunta, un proceso de esta naturaleza no podrá avanzar si se pretende que todo se solucione desde un actor, ya sea sólo desde las decisiones gubernamentales o las ciudadanas, por otra parte las comunidades y la ciudadanía tendrán que insistir en crear procesos que respondan a la realidad concreta del territorio y provocando que las autoridades responsables realmente se comprometan a resolver las necesidades y las problemáticas sociohídricas de la cuenca. Por último y tercero, se requerirá que las instancias gubernamentales generen sus mecanismos para integrar nuevas formas de organización y de participación ciudadana, no pueden acotar o restringir la participación a criterios de un marco legal que no asuma la democracia fundamentada en la soberanía del pueblo.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 1. Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
El paradigma del dominio de la naturaleza, el modelo extractivista y la privatización del agua.	Promover por todos los medios e instancias estatales, gubernamentales, educativas, la sociedad civil, el sector privado transitar hacia el paradigma de la sustentabilidad hídrica.
No hay reconocimiento ni promoción de las formas de organización y participación de la ciudadanía.	Reconocer a las Contralorías Ciudadanas Autónomas del Agua como una forma de organización que incida en las decisiones respecto al agua.
No se promueve la participación ciudadana a pesar de lo que establece el artículo cuarto de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.	Erogar la Ley de Aguas nacionales y presentar la Ley General de Aguas Nacionales y reconocer formas de organización ciudadana como las Contralorías Ciudadanas Autónomas del Agua.
Gestión centralizada y autoritaria que prioriza la privatización y/o mercantilización del agua.	Crear modelos de gestión pública con mecanismos participativos con la incidencia directa de la Contraloría u otros tipos de sujetos de la sustentabilidad hídrica.

Referencias bibliográficas

Arrojo, P. (2006). El reto ético de la nueva cultura del agua: Funciones, valores y derechos en juego. Paidós. 15, 16, 89, 92, 99, 121 pp.

Barrios, R. G., & Estrada, S. M. (2022). Problemas del agua en México: ¿Cómo abordarlos? Consejo Nacional de Ciencia y tecnología.35. 36, 38 y 245 pp.

Bergoglio, J. M. (2015). Carta Encíclica Laudato si'. Alabado seas. Sobre el cuidado de la casa común. Papa Franciscus. Buena Prensa (trad. Librería Editrice Vaticana). 21, 23 pp.

Boff, L. (2013). La sostenibilidad: qué es y qué no es. Editorial Sal Terrae. 124, 132, 144, 145 pp.

De Marsily, G. (2005). El agua: una explicación para comprender, un ensayo para reflexionar. Siglo XXI. 22 pp.

Hinkelammert, F. J. (2006). El sujeto y la ley: el retorno del sujeto reprimido. El perro y la rana ediciones. 153 296, 301 pp.

Kuhn, T. S. (2013). La Estructura de las Revoluciones Científicas (C. Solis, Trad.; 4a ed.). Fondo de Cultura Económica. 117, 200, 206, 232, 245, 308 pp.

Leff, E. (2010). Discursos Sustentables. Siglo XXI Editores (2a ed.). 101, 107, 117 pp.

Marx, K. (1982) Escritos de juventud. Fondo de Cultura Económica. 333, 341, 342, 343 pp.

Moctezuma, P. (2023). El agua en nuestras manos. Fondo de Cultura Económica. 108, 190, 305 pp.

Morin, E. (1993). Tierra-patria. Editorial Kairós. 114 pp.

Mouffe, Ch. (2018). Por un populismo de izquierda. Siglo XXI Editores. 72 pp.

Saito, K. (2023). El capital en la era del antropoceno. Ediciones B. 204, 207, 217, 245 pp.

Schmitt, C. (2006). Legalidad y legitimidad. Editorial Colmares. 22, 87, 88 pp.

Selci, D. (2018). Teoría de la militancia: organización y poder popular. Editorial Las cuarenta.

Selci, D. (2020). La organización permanente. Editorial Las cuarenta. 97 pp.

Serratos, F. (2020). El capitaloceno: una historia radical de la crisis climática. 135, 345 pp.

Zambrano, L. (2019). Planeta (in)sostenible. Turner. 31, 71, 148, 174 pp.

24 Disponibilidad de elementos potencialmente tóxicos en sedimentos que representan riesgo para el ambiente y la salud de la población del Nevado de Toluca, México

Germán Martínez Alva[1]*, María del Carmen Colín Ferreyra[1], Armando Sunny García Aguilar[2], Liliana Ivette Ávila Córdova[3] y Araceli Consuelo Hinojosa Juárez[1]

[1]Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México (*autor de correspondencia: gmartinezal@uaemex.mx);
[2]Centro de Investigación en Cien-cias Biológicas Aplicadas, Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México;
[3] Centro de Estudios e Investigación en Desarrollo Sustenta-ble, Universidad Autónoma del Estado de México.

Resumen

El uso indiscriminado de plaguicidas en la producción de alimentos (principalmente papa) en el nevado de Toluca, México ha generado impactos negativos en las propiedades de los recursos naturales como el suelo y agua, situación que representa un riesgo inminente para la salud ambiental y humana. El objetivo de la presente investigación científica fue evaluar la concentración total y la fracción geodisponible de los principales elementos potencialmente tóxicos (As, Pb y Cd) provenientes de los plaguicidas más utilizados en los sedimentos del río La Peñuela del nevado de Toluca. La determinación de elementos potencialmente tóxicos se realizó por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo (ICP-OES). Los resultados mostraron una concentración total considerable de elementos potencialmente tóxicos en la zona, así como una geodisponibilidad ostensible. Por tanto, hay evidencia de riesgo en el corto plazo por el abuso de plaguicidas en esta importante región del Estado de México, México.

Introducción

La agricultura intensiva y semi-intensiva que se practica actualmente en el contexto internacional, liderada por Estados Unidos de América y China (Mei-Yan et al. 2019), representa una estrategia insostenible para las comunidades y un riesgo potencial para el ecosistema y la salud de las poblaciones humanas (Haro et al. 2002; Bolognesi, 2003; Garry, 2004; Waliszewski et al. 2004; Bull et al. 2006; Cavallo et al. 2006; Ismail et al. 2008; Rosas y Covarrubias, 2020; Ávalos-Ramírez, 2023).

La producción de alimentos en el contexto intensivo representa per se una situación de riesgo potencial para la salud de las personas y el mantenimiento de los recursos naturales (Nordberg et al. 2015), situación que debe ser atendida prioritariamente por la comunidad científica, así como por las autoridades que toman de decisiones (Bolognesi, 2003; Mansour, 2004; Hernández et al. 2006; Ávalos-Ramírez, 2023).

Los plaguicidas, son “sustancias o mezclas de sustancias que tienen la finalidad de prevenir, destruir, controlar o repeler plagas, incluidos los vectores de enfermedades humanas y de animales, así como las especies no deseadas que dañan o interfieren con la producción agropecuaria y forestal” (USEPA, 2010). El uso de plaguicidas provoca impactos negativos sobre los recursos naturales tales como agua, sedimentos, suelo, aire, funga, flora y fauna (Ávalos-Ramírez et al. 2023). No obstante, los cuerpos de agua (agua-sedimentos) son uno de los recursos que más recibe impacto negativo.

La salud de los cuerpos de agua es un aspecto que actualmente se ha modificado principalmente por la incorporación desmedida de plaguicidas, los cuales provocan la modificación de las propiedades físicas, químicas y bioquímicas de los recursos, lo que representa un riesgo para el mantenimiento del ecosistema y de las poblaciones humanas. La problemática es global y de amplias dimensiones según lo precisa la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019) en los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La producción agrícola en el nevado de Toluca (nT), México se caracteriza por el predominio de la tendencia hacia la máxima rentabilidad a corto plazo. Esto se puede deber, en alguna medida, al marco

de referencia que predomina en la actualidad por los sistemas económicos que privilegian la rentabilidad inmediata, en detrimento de la planeación a mediano y largo plazo, la cual es impactada por la alta tasa de descuento y el valor de oportunidad del dinero. En consecuencia se están minando los recursos, en lugar de usarlos pacíficamente previendo su conservación. Lo más elocuente es que deben propiciarse cambios que consideren todos los costos, incluso los ambientales y transgeneracionales, y con ello garantizar la transición hacia el desarrollo sostenible (Parr et al. 2002; Porta et al. 2003).
En la zona del nT se practica agricultura intensiva, agricultura semi-intensiva y agricultura tradicional para la producción de papa (Solanum tuberosum); sin embargo, la agricultura intensiva es la que predomina en la región. Dicha producción implica el uso excesivo de agroquímicos (plaguicidas-fertilizantes), situación que genera la degradación-erosión consistente del suelo, ya que se han modificado sus propiedades químicas (pH, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico, entre otras) y bioquímicas (Martínez et al. 2015).

El problema más relevante de los plaguicidas depositados en el nT radica en que pueden acumularse en los suelos andosólicos característicos de la zona, los cuales pueden geodisponerse con facilidad debido a la carga abundante de agua en la región y la acidez característica (Corinne et al. 2006; Martínez et al. 2015). Cuando la capacidad de retención del suelo es superada y se pierde su capacidad para inmovilizar los contaminantes mediante procesos de sorción y precipitación, surgen factores de riesgo potencial para el ecosistema y la salud de las personas (Li y Shuman, 1996; Virkutyte et al. 2002; Mahler, 2003; García y Dorronsoro, 2005; Corinne et al. 2006; Carvalho et al. 2009; Ávalos-Ramírez, 2023).
El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la concentración total y geodisponible de elementos potencialmente tóxicos (EPT) tales como As, Pb y Cd en los sedimentos del río La Peñuela, Zinacantepec, nevado de Toluca, Estado de México, México (mayo de 2024).

Materiales y métodos

El nT es un área natural protegida que abarca 46 784 ha, ubicada en el sureste del Valle de Toluca, Estado de México. Está incluido en la provincia fisiográfica denominada Sistema Neovolcánico Transversal entre las coordenadas geográficas 18° 51’ 31” y 19° 19’ 03” latitud norte, y 99° 38’ 54” y 100° 09’ 58” longitud oeste (CONANP, 2008). La zona colinda con los municipios mexiquenses: a) al norte: Amanalco de Becerra, Villa Victoria, Almoloya de Juárez, Zinacantepec, Toluca, b) al sur: Villa Guerreo y Coatepec Harinas, c) al este: Calimaya y Tenango del Valle, y d) al oeste: Temascaltepec (GEM, 2011).

El nT o Xinantécatl se distingue por su pico de altitud de 4,611 msnm. Debido a su geomorfología y a su rango altitudinal predominante en proyección (mayor a 3,850 msnm), descienden numerosos arroyos que contribuyen al origen de la cuenca del río Lerma-Chapala-Santiago al norte y al oriente, y del río Balsas al sur y al occidente (CONAGUA, 2008). Del nT desciende cerca de 50 arroyos, los cuales albergan una biodiversidad alta debido a factores como la humedad, la conformación topográfica del área y el tipo de vegetación que se establece en las orillas de los cauces (CONABIO, 2004).

El clima (C [E] wig) es semifrío subhúmedo con temperatura media anual de 2 a 7°C. El régimen de lluvias en verano es isotermal y la temperatura del mes más caliente se presenta antes del solsticio de verano (GEM 2011).
La comunidad de La Peñuela (769 ha) es una de las 54 localidades del municipio de Zinacantepec, Estado de México, y una de las 23 localidades que se encuentran al interior del nT (anteriormente denominado Parque Nacional Nevado de Toluca). Se localiza a los 99° 51’ 8.58” de longitud oeste y 19° 9’ 35.9” de latitud norte, a una altura de 3,040 msnm, justo en el límite inferior del nT (Figura 1).

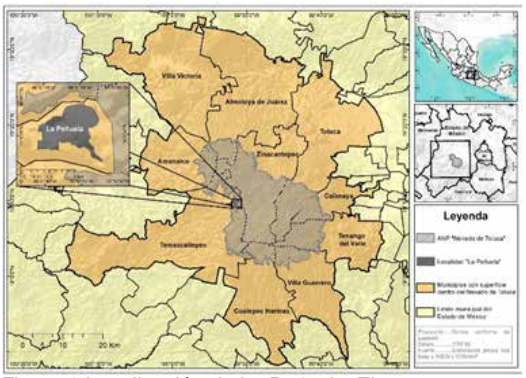


Figura 1 Localización de La Peñuela, Zinacantepec, zona del Nevado de Toluca, Estado de México, México. FUENTE: Propia

Muestreo de sedimentos: Los puntos de muestreo se ubicaron con un GPS conforme al sistema que utiliza actualmente el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) de México, en coordenadas UTM-WGS84, con base en la norma NMX-AA-112-SCFI-2017.

Se colectaron 10 muestras simples de sedimentos, una en el manantial La Peñuela y nueve en el canal del río La Peñuela, La Peñuela, Zinacantepec, Estado de México. Las muestras de sedimentos se colectaron con una draga tipo ponar de acero inoxidable previamente lavada con agua desionizada. El muestreo se realizó a finales de la época de estiaje (mayo 2024), para aprovechar el bajo nivel de caudal del canal. Es importante precisar que durante la época seca del año los sedimentos tienden a asentarse debido a la baja velocidad de las aguas, situación que hacer pertinente la determinación precisa de la concentración de los EPT en el sistema.

Las muestras de sedimento (muestra simple igual a 400-500 g) se embalaron en frascos de polietileno de alta densidad, estériles y herméticos, se etiquetaron y se transportaron al laboratorio. Debido a que la toxicidad de las muestras puede cambiar con el tiempo se almacenaron a 4 ± 2°C para su traslado al laboratorio y se analizaron dentro de las primeras 72 h. La codificación y las coordenadas geográficas del muestreo realizado en el manantial y los nueve puntos en el canal del río La Peñuela, La Peñuela, Zinacantepec, Estado de México se presentan en Tabla 1.

Tabla 1. Altitud y localización de los sedimentos muestreados en el Manantial y el río La Peñuela.

Lugar/Sector	Código	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud
Manantial La Peñuela	MLP	3360	19º 10' 19''	99º 51' 7''
Río La Peñuela 1	RLP1	3161	19º 08' 11''	99º 44' 8''
Río La Peñuela 2	RLP2	3054	19º 04' 13''	99º 38' 6''
Río La Peñuela 3	RLP3	2985	19º 12' 17''	99º 33' 3''
Río La Peñuela 4	RLP4	2910	19º 15' 06''	99º 29' 7''
Río La Peñuela 5	RLP5	2906	19º 16' 12''	99º 26' 6''
Río La Peñuela 6	RLP6	2875	19º 11' 11''	99º 23' 4''
Río La Peñuela 7	RLP7	2832	19º 10' 14''	99º 21' 6''
Río La Peñuela 8	RLP8	2810	19º 06' 03''	99º 20' 5''
Río La Peñuela 9	RLP9	2723	19º 02' 02''	99º 18' 7''

Tratamiento y análisis de las muestras: Previamente se retiraron piedras y otros materiales ajenos a sedimento. Las muestras de sedimentos fueron colocadas en platos de polietileno y secadas en estufa a 50°C durante 48 h. Las muestras se dividieron en dos partes iguales: una se resguardó como "retenido original" y el resto de sedimento se utilizó para los análisis previstos.

Las muestras sujetas a análisis se disgregaron con un mortero-pistilo de porcelana previamente lavado con agua desionizada y se tomó una nueva muestra representativa por el método de cuarteo. Se molieron 5 g de muestra con un sistema de molino ultrafino con bolas de óxido de zirconio y debido a que los elementos lixiviados por la agricultura intensiva suelen acumularse tanto en los limos como en las arcillas de los sedimentos de los sistemas ribereños (Föstner, 1998), los sedimentos fueron tamizados para obtener la fracción con tamaño de grano inferior a 63 µm.

El procedimiento de digestión ácida se realizó de acuerdo con lo indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2007 para la extracción del elemento total. Se tomaron por cuarteo 5 g de muestra y se trituraron en un sistema de molino ultrafino con bolas de óxido de zirconio. La muestra molida se pasó por malla 100 (tamaño de partícula <63 µm). De esta muestra se pesaron 0.5 g por triplicado dentro de vasijas de teflón para microondas (Multiwave 5000). Se preparó un blanco y un blanco adicionado por triplicado. Al blanco adicionado se le añadieron 0.5 mL de una disolución estándar de 100 ppm de Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, In, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Se, Tl, V y Zn. Posteriormente se adicionaron a cada muestra 10 mL de HNO3 concentrado. El sistema se dejó abierto durante una hora para permitir que las reacciones entre el ácido nítrico y los carbonatos de la muestra concluyeran. De ese modo se evitó la formación de CO2 durante la digestión. Se cerraron las vasijas y se colocaron en un soporte estilo carrusel. En la primera etapa de la digestión se elevó la temperatura hasta 175°C durante 20 min a una potencia de 400 W. La segunda etapa consistió en mantener la misma temperatura durante 15 min adicionales. Finalmente se dejaron enfriar las vasijas por 24 h. Una vez terminada la digestión, las muestras se filtraron con papel Whatman No. 42 y se aforaron a 100 mL con agua desionizada. Para realizar la extracción del elemento geodisponible,

las muestras se dejaron a saturación durante 24 h con agua desionizada, posteriormente se filtraron y aforaron a 25 mL y se tomó una alícuota de esta disolución para su análisis en el espectrómetro (ICP-OES, PlasmaQuant® PQ 9000). Para la preparación de los patrones utilizados en las curvas de calibración se emplearon estándares certificados de 1000 mg/L marca CertiPur. Las longitudes de onda empleadas fueron: Pb (II) 182.2 nm, Cd (I) 284.4 nm, As (I) 188.9 nm, Zn (I) 213.9 nm y Cu (I) 224.7 nm (I: línea atómica, II: línea iónica). Los valores de las muestras duplicadas indicaron que la repetibilidad varía entre 3 y 9 %.

A cada muestra de sedimento se le determinó el pH sedimento-solución 1:2.5 con un potenciómetro marca Hach® (SCOFI 2017) y el contenido de Carbono Orgánico Total (COT) con un analizador elemental OI Analytical®. Se seleccionaron dichos parámetros ya que se sabe que pueden influir en la toxicidad y movilidad de los contaminantes (Coz et al. 2008; Karlsson et al. 2010). La Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE), los Sólidos Disueltos Totales (SDT) y el Potencial de Oxido-Reducción (POR) se determinaron in situ con un medidor HORIBA LAQUAtwin®.

En la Tabla 2 se observan los límites de detección para los elementos analizados por Espectroscopía de Emisión Atómica con Plasma de Acoplamiento Inductivo y compara los resultados de los análisis realizados en el material de referencia con los valores recomendados por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

Tabla 2 Limites de detección de los elementos determinados y comparación de los resultados de los análisis realizados en el material de referencia del organismo internacional de energía atómica con los valores recomendados.

Elemento	Limite de detección	Valor obtenido	Valor recomendado	Diferencia relativa (%)	Intervalo de confianza 95%
Pb (mg/kg)	10	31.5±1.3	37.7	16.4	30.3-45.1
Cd(mg/kg)	8	37±1.1	41.1	17.6	36.9-41.1
As(mg/kg)	0.011	0.08±0.04	0.11	31.1	0.08-0.18
Zn (mg/kg)	1	193±4	223	13.5	213-233
Cu (mg/kg)	4	27.1±0.4	30	9.7	24-36

Análisis estadístico. Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) y t de Student para comparar los valores de concentración media de los elementos en las muestras de sedimentos con el paquete estadístico SAS (SAS, 1988). Las regresiones lineales y las comparaciones entre muestras fueron estadísticamente significativas para un valor de $p < 0.05$.

Resultados y discusión

La localización de los puntos de muestreo de los sedimentos en el manantial y el río La Peñuela se presentan en la Tabla 1; el manantial es una zona conservada que se distingue como “limpia a simple vista”, se caracteriza por su diversidad en flora y fauna. No obstante, los sectores bajos del río La Peñuela están asociados a cultivos intensivos de papa, y se distinguen impactados negativamente.
Los parámetros químicos in situ de los sedimentos muestreados en el manantial y el río La Peñuela se presentan en la Tabla 3. Algunos de ellos mostraron poca variación espacial a lo largo del río. Los resultados in situ de los parámetros químicos de las muestras de sedimentos del río La Peñuela permitieron definir a la zona como severamente contaminada, lo que se advierte con los datos del Potencial de Oxidación-Reducción (POR), que indican un ambiente reductor. La situación advertida puede deberse a la presencia de residuos masivos de plaguicidas en la zona. Los valores negativos de POR (-19.4 mV a -169 mV) en el río La Peñuela son compatibles con los vertidos de plaguicidas industriales que actúan como agentes reductores específicos (Mei-Yan et al. 2019).

Tabla 3 Parámetros In situ de los sedimentos muestreados en el Manantial y el río La Peñuela.

Lugar/Sector Muestra	T (°C)	pH	COT (% en peso)	SDT mg/L^{-1}	CE µS/cm	POR mV
MLP	11	7.7	14.6	54	90	31
RLP1	11.3	6.6	21.3	982	1982	-123
RLP2	14.2	7.0	26.1	571	694	-121
RLP3	15	7.0	23.9	584	684	-124
RLP4	13.6	7.0	22.4	516	634	-111
RLP5	13.2	7.5	23.9	512	639	-118
RLP6	11.8	7.0	24.8	553	638	-114
RLP7	11.2	7.1	4.8	511	671	-142
RLP8	11.6	6.1	4.9	908	692	-116
RLP9	10.4	6.4	4.1	971	1963	-117

T= Temperatura en grados centígrados, pH= potencial de Hidrógeno, COT= Carbono Orgánico Total, SDT= Sólidos Disueltos Totales, CE= Conductividad Eléctrica, POR= Potencial de Oxidación-Reducción.

Los valores de pH de las muestras de sedimento recolectadas a lo largo del río La Peñuela oscilaron entre 6.1 en el sector río La Peñuela 8 (RLP8) y 7.5 del sector río La Peñuela 5 (RLP5). El incremento de pH a 7.6 puede estar asociado con la descarga de aguas residuales en este punto. Es importante destacar que en todos los puntos muestreados se encontraron valores alrededor de 7, lo que implica que el agua del canal se mezcla con agua meteórica.

La conductividad eléctrica (CE) de los sedimentos muestreados en el manantial y el río La Peñuela oscilaron entre 634 µS cm−1 del RLP4 y 1982 µS cm−1 del RLP1. La CE aumentó drásticamente en el punto CTE, el cual está asociado a descargas de agua de la zona de preparado de los plaguicidas en la comunidad; especialmente se considera que el aumento de la CE en el sedimento de este punto se puede deber también a la descarga de agua sanitaria al canal, ya que se sabe que las descargas de agua sanitaria a un afluente pueden provocar el aumento de la CE entre 1000 y 2000 µS cm−1 (Metcalf, 2013; Deng et al. 2016).

Finalmente, el contenido de Sólidos Disueltos Totales (SDT) fue mayor en la salida de descargas de la zona de preparado de los plaguicidas (RLP1=982 mg/L-1) y el RLP9 con 971 mg/L-1, similar al RLP8 con 908 mg/L-1. El contenido de SDT está compuesto de sales inorgánicas como Ca2+, Mg2+, K+, Na+, CO3 2-, NO3-, HCO3-, Cl- y SO42-, así como una pequeña cantidad de materia orgánica. Dichos minerales pueden provenir de fuentes naturales o de actividades antrópicas. La escorrentía agrícola y la zona habitacional; por ejemplo, pueden transportar el exceso de minerales a las fuentes de agua, así como las descargas de aguas residuales y las aguas residuales grises (Frascareli et al. 2018; Hasan et al. 2019). Naturalmente, el agua con altos niveles de sólidos disueltos es aquella que interactúa con rocas con contenido alto de Ca2+ y Mg2+ (Fuentes-Hernández et al. 2019). De forma similar, una concentración alta de SDT es un indicador de la presencia de contaminantes que potencialmente son dañinos como As, Mn, Fe, sulfato y bromuro; especialmente cuando se agrega al agua un exceso de SDT a través de escorrentías y descargas de aguas residuales (Liu et al. 2017). Es este caso particular, las concentraciones altas de SDT se pueden asociar con el riego intensivo que se practica en la zona de estudio, con la descarga de aguas residuales constantes y con el riego de retorno.

La concentración total y geodisponible de los EPT determinada (Pb, Cd, As, Zn y Cu) en los sedimentos muestreados en el manantial y el río La Peñuela se presentan en el Tabla 4.

Tabla 4 Concentración total y geodisponible de Pb, Cd, As, Zn y Cu determinado en los sedimentos del Manantial y el río La Peñuela.

Lugar/Sector Muestra	Total Pb mg/kg medias	GeoD Pb mg/L medias	Total Cd mg/kg medias	GeoD Cd mg/L medias	Total As mg/kg medias	GeoD As mg/L medias	Total Zn mg/kg medias	GeoD Zn mg/L medias	Total Cu mg/kg medias	GeoD Cu mg/L medias
MLP	2.11a	BLD	11.45a	BLD	16.59a	BLD	13.12a	BLD	10.84a	BLD
RLP1	92.11b	0.02a	72.52b	0.09a	76.12b	0.07	95.55b	BLD	92.42b	BLD
RLP2	92.47b	0.84a	72.91b	0.09a	76.56b	0.06	93.17b	BLD	90.92b	BLD
RLP3	98.56b	0.90a	74.89b	0.09a	78.98b	0.06	98.18b	BLD	89.19b	BLD
RLP4	185.99c	0.90a	115.26c	0.09a	105.84c	0.06	123.10c	BLD	120.17c	BLD
RLP5	194.56c	0.90a	114.16c	0.09a	109.59c	0.05	123.16c	BLD	120.54c	BLD
RLP6	196.45c	0.91a	124.98c	0.09a	111.58c	0.06	125.65c	BLD	125.56c	BLD
RLP7	326.28d	0.92a	298.59d	0.09a	298.56d	0.06	248.51d	BLD	297.54d	BLD
RLP8	336.58d	0.94a	311.78d	0.09a	324.59d	0.06	289.26d	BLD	259.47d	BLD
RLP9	398.41d	0.91a	221.56d	0.09a	256.18d	0.06	241.56d	BLD	245.11d	BLD

Literales distintas indican diferencia. GeoD= Concentración geodisponible, BLD= Bajo el Límite de Detección. Pb: Valores del Nivel de Bajo Efecto (NBE) 31 mg/kg y Nivel de Efecto Severo (NES) 250 mg/kg, descritos en las normas para la protección y el manejo de sedimentos acuáticos de Ontario, Canadá; Soluble (S)= 0.05 mg/L. Valor de Fondo Geodisponible (VFG) para Pb= 0.06 mg/L. Cd: NBE= 16 mg/kg, NES= 75 mg/kg; S= 0.04 mg/L. VFG para Cd= 0.04 mg/L. As: NBE= 11 mg/kg, NES= 41 mg/kg; S= 0.05 mg/L. VFG para As= 0.05 mg/L. Zn: NBE= 120 mg/kg, NES= 820 mg/kg; S= 0.06 mg/L. VFG para Zn= 0.06 mg/L. Cu: NBE= 16 mg/kg, NES= 110 mg/kg; S= 0.04 mg/L. VFG para Cu= 0.04 mg/L.

La concentración total y geodisponible de los EPT determinada en los sedimentos del manantial es significativamente menor con respecto a la determinada en los sedimentos de los 9 sectores previstos del río La Peñuela. En el manantial se determinó una concentración significativamente baja “total” de los EPT (Pb=2.11 mg/kg, Cd=11.45 mg/kg, As= 16.59 mg/kg, Zn=13.12 mg/kg y Cu= 10.84 mg/kg) y, en todos los casos, la geodisponibilidad de dichos elementos estuvo bajo el límite de detección de la técnica analítica empleada, excepto en el caso del Pb, Cd y As, lo cual no representa un riesgo potencial para la salud ambiental o humana según los valores totales del Nivel de Bajo Efecto (NBE) y del Nivel de Efecto Severo (NES), descritos en las normas para la protección y el manejo de sedimentos acuáticos de Ontario, Canadá (Persaud et al. 1993), ver la Tabla 2. En este sentido, las concentraciones “total y geodisponible” de los EPT determinadas en los sedimentos del manantial dan evidencia de la conservación del cuerpo de agua, en el cual aún se pueden observar indicadores biológicos de salud tales como: peces, ranas, entre otros.

El manantial se ubica en un gradiente altitudinal superior al del río La Peñuela, abastece el caudal del rio con un volumen constante que se calculan del orden de 11 m3/s en temporada de estiaje. Debido

a su gradiente altitudinal (2,906 msnm) no recibe de retorno caldos minerales de riego de la agricultura intensiva y semi-intensiva que se desarrolla en terrenos abajo, lo cual favorece la conservación del cuerpo de agua y de sus recursos naturales asociados (funga, flora y fauna).

La concentración total de los EPT determinada en los sedimentos del río La Peñuela es variable, la cual depende del sector del río. La concentración total de los elementos analizados en los sedimentos decreció en el orden RLP9 > RLP8 > RLP7 > RLP6 > RLP5 > RLP4 > RLP3 > RLP2 > RLP1 > MLP. Con respecto a la fracción geodisponible, solo en el caso de Pb, Cs y As se determinaron concentraciones que representan un riesgo potencial para el ambiente y que superan los valores de fondo: RLP9 (Pb=0.91 mg/L, Cd=0.9 mg/L, As=0.6 mg/L), RLP8 (Pb=0.94 mg/L, Cd=0.9 mg/L, As=0.6 mg/L), RLP7 (Pb=0.92 mg/L, Cd=0.9 mg/L, As=0.6 mg/L), RLP6 (Pb=0.91 mg/L, Cd=0.9 mg/L, As=0.6mg/L), RLP5 (Pb=0.90 mg/L, Cd=0.9 mg/L, As=0.5 mg/L), RLP4 (Pb=0.90 mg/L, Cd =0.9 mg/L, As=0.6 mg/L), RLP3 (Pb=0.90 mg/L, Cd =0.9 mg/L, As=0.6 mg/L), RLP2 (Pb=0.84 mg/L, Cd =0.9 mg/L, As=0.6 mg/L), RLP1 (Pb=0.92 mg/L, Cd =0.9 mg/L, As=0.7 mg/L).

Las concentraciones geodisponibles de Pb, Cd y As que se determinaron en los sedimentos del río La Peñuela se deben a que confluyen al río afluentes de agua de la zona de preparado de los plaguicidas y de las parcelas de agricultura intensiva y/o semi-intensiva; es decir, al canal converge una carga abundante de caldos con EPT los cuales sedimentan fácilmente.

Las concentraciones de EPT en el manantial son de un NBE y no representan un riesgo para el ambiente según las normas para la protección y el manejo de sedimentos acuáticos de Ontario, Canadá (cePA 2023). No obstante, en todos los sedimentos del río La Peñuela, la concentración total de los EPT determinada superó significativamente el valor de NBE lo cual puede representar un riesgo potencial en el corto plazo de seguir aumentando la concentración. En el caso particular del Pb, Cd y As las concentraciones determinadas en los sedimentos del RLP9 (Pb=398.41 mg/kg, Cd=221.56 mg/kg, As=256.18 mg/kg), RLP8 (Pb=336.58 mg/kg, Cd=311.78 mg/kg, As=324.59 mg/kg), RLP7 (Pb=326.28 mg/kg, Cd=298.59 mg/kg, As=298.56 mg/kg), superan un NES (Pb= 250 mg/kg, Cd= 100 mg/kg, As= 100 mg/kg), lo cual se puede traducir en un riesgo potencial inminente para la salud del ambiente y de las personas de la zona.

El Pb y Cd son elementos con alto potencial para solubilizarse y estacionarse cuando se acompleja con elementos de intercambio pasivo como el Al, Zn, Se, Mn y Mg, factor que puede propiciar su acumulación en la zona y/o potencial disponibilidad en los sistemas vivos (Ho y Egashira, 2001; Fytianos et al. 2011; Nordberg et al. 2015); razón que puede explicar que la concentración total de Pb y Cd en los sedimentos del RLP9 (Pb=398.41 mg/kg), RLP8 (Pb=336.58 mg/kg), RLP7 (Pb=326.28 mg/kg) estuviera suficiente para su determinación espectroscópica. Es importante precisar que además se infiere que el Pb y Cd podrían estar formando compuestos de baja solubilidad o estar sorbido en partículas coloidales, razón por la cual no se pudo detectar una concentración total aumentada o profunda en los sedimentos, lo que conduce a pensar que posiblemente la concentración de Pb y Cd es mayor en los sectores basales del río La Peñuela y representan por consiguiente un riesgo inminente para la salud humana y del ecosistema en general.

Conclusiones

Los sedimentos de la sección medio y baja del río La Peñuela se encuentran severamente contaminados con elementos potencialmente tóxicos como el Pb, Cd y As, como consecuencia de las descargas que surgen de la agricultura intensiva que se practica en la región. Las concentraciones altas de Pb, Cd y As (fracción geodisponible) encontradas en los sedimentos que pueden tener un efecto adverso para la biota y la salud de las poblaciones humanas que residen en la sección baja del río La Peñuela, además los resultados obtenidos en los sedimentos analizados también dan evidencia del uso de agroquímicos (especialmente plaguicidas) y empleo de aguas residuales para el riego agrícola, así como riego de retorno.

Como perspectiva de investigación se precisa que dada la evidente afectación ambiental en el río La Peñuela será propicio el monitoreo constante de dicho cuerpo de agua con el propósito de prever efectos adversos en la salud del ecosistema y la salud humana. Además, se deberá realizar una valoración integral de dicho microecosistema, incluir estudios de movilidad, biodisponibilidad de

los elementos potencialmente tóxicos presentes, así como sus interacciones físicas y químicas, los procesos microbiológicos y su efecto sobre la biota para así garantizar el derecho a un ambiente sano.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 5 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo con lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Persiste una desatención histórica por parte de los sectores académico, científico, industrial y de toma de decisiones (autoridades locales y nacionales) en la gestión sustentable del agua en la Megalópolis, razón que justifica la coordinación estratégica de todos los sectores para garantizar una gestión integral del agua en esta importante región del país.	Se requiere de una colaboración estratégica entre los sectores académico-científico, industrial y de toma de decisiones para gestionar integralmente el manejo y conservación de los recursos naturales de esta importante región del país, especialmente atendiendo el enfoque del desarrollo sustentable.

Referencias bibliográficas

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA, 2010). Types of pesticides. http://www. epa.gov/pesticides/about/types.htm

Avalos-Ramírez, Y. J. (2023). Contaminación por plomo en suelo, agua, alimentos y sus efectos en los seres humanos. Revista de Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu 10(2), 59-68. DOI: https://doi.org/10.36955/RIULCB.2023v10n2.006

Bolognesi, C. (2003). Genotoxicity of pesticides: A review of human biomonitoring studies. Mutatagenesis. Research 543 (6), 251-272. https://doi.org/10.1016/s13835742(03)00015-2

Bull, S., Fletcher, K., Boobis A. R. y Battershill, J.M. (2006). Evidence for genotoxicity of pesticides in pesticide applicators: a review. Mutagenesis 21 (2), 93-103. https://doi.org/10.1093/mutage/gel011

Cavallo, D., Cinzia, L.U., Carelli, G., Iavicoli, I., Ciervo, A., Perniconi, B., Rondinone, B., Gismondi, M. e IavicoLi, S. (2006). Occupational exposure in airport personnel characterization and evaluation of genotoxic and oxidative effects. Toxicology 223 (5), 26-35. https:// doi.org/10.1016/j.tox.2006.03.003

Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO, 2004). Regiones terrestres prioritarias de México. http://www. conabio.gob.mx/informacion/metadata/gis/rtp1mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadata/xsl/fgdc_ html. xsl&_indent=no

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2008). Estadísticas del agua en México. http:// www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/ Publicaciones/EAM_2008.pdf

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2008). Parques nacionales. http://nevadodetoluca.conanp.gob.mx

Corinne, P. R., Fang-Jie, Z. y Steve McGrath, P. (2006). Phytotoxicity of nickel in a range of European soils: Influence of soil properties, Ni solubility and speciation. Environ. Pollut. 145 (2), 596-605. https://doi. org/10.1016/j.envpol.2006.04.008

Deng, J., Wang, Y., Liu, X., Hu, W., Zhu, J. y Zhu, L. (2016). Spatial distribution and risk assessment of heavy metals and As pollution in the sediments of a shallow lake. Environmental Monitoring and Assessment 188, 296. https://doi.org/10.1007/s10661-016-5301-8

Föstner, U. (1998). Integrated pollution control. Springer Verlag, Berlin, 505 pp.

Frascareli, D., Cardoso-Silva, S., de Oliveira Soares Silva Mizael, J., Henrique Rosa, A., Martins Pompêo, M. L., López-Doval, J. C. y Moschini-Carlos, V. (2018). Spatial distribution, bioavailability, and toxicity of metals in surface sediments of tropical reservoirs, Brazil. Environmental Monitoring and Assessment 190, 199. https://doi.org/10.1007/ s10661-018-6515-8

Fuentes-Hernández, M., Sanguinetti-Gamboa, O. y Rojas De Astudillo, L. (2019). Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de Cariaco. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 35, 101-114. https://doi. org/10.20937/RICA.2019.35.01.07

Fytianos, K., Katsianis, G., Triantafyllou, P. y Zachariadis, G. (2011). Accumulation of heavy metals in vegetables grown in an industrial area in relation to soil. Bulletin of environmental contamination and toxicology 67, 0423-0430.

https://doi.org/10.1007/s001280141

García, I. y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. En: Tecnología de suelos, vol. 2 (Bolonegsi G.E., Ed.). Universidad de Granada, Departamento de Edafología y Química Agrícola. Madrid, España, 145-148.

Garry, V. F. (2004). Pesticides and children. Toxicol. Appl. Pharmacol. 198 (2), 152-163. https://doi.org/10.1016/j. taap.2003.11.027

Gobierno del Estado de México (GEM, 2011). Áreas Naturales Protegidas en el Estado de México, Categorías de las áreas protegidas. Secretaría de Medio Ambiente, Comisión Estatal de Parques Naturales y de la Fauna.

Haro, G. L., Chaín, C. T., Barrón, A. R. y Bohórquez, L. A. (2002). Efectos de plaguicidas agroquímicos: Perfil epidemiológico-ocupacional de trabajadores expuestos. Revista Médica del IMSS 40 (2), 19-24.

Hasan, M. K., Shahriar, A. y Jim, K. U. (2019). Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. Heliyon 5(8)https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02145

Hernández, A., Hernández, P. y Gordillo, A. (2006). Manual para la evaluación de impactos ambientales. INNCIVE, Madrid, 770 pp.

Ho, T. L. T. y Egashira, K. (2001). Solid/solution ratio on extraction of heavy metals by dilute acids from agricultural soils and riversediments in hanoi, Vietnam. Communications in soil science and plant analysis 32(5-6), 643-660. DOI: https://doi.org/10.1081/CSS-100103898

Ismail, I. B. S., Farihah, K. y Khairiah, J. (2008). Bioaccumulation of heavy metals in vegetables from selected agricultural areas. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 74 (2), 320-327. https://doi.org/10.1007/ s00128-004-0587-6

Li, Z. y Shuman, L. M. (1996). Heavy metal movement in metal contaminated soil profiles. Soil Sci. 161 (2), 656-666

Liu, Y., Yu H., Sun, Y. y Chen, J. (2017). Novel assessment method of heavy metal pollution in surface water: A case study of Yangping river in Lingbao city, China. Environmental Engineering Research 22,31-39. https://doi.org/10.4491/eer.2016.015

Mahler, R. L. (2003). General overview of nutrition for field and container crops. En: National proceeding: Forest and Conservation Nursery Associations (Riley L.E., Dumroese R.K. y Landis T.D., Eds.). Proc. RMRSP-33. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 33-39.

Mansour, S. (2004). Pesticide exposure—Egyptian scene. Toxicology 198 (2), 91-115. https://doi.org/10.1016/j. tox.2004.01.036

Martínez-Alva, G., Gutiérrez-Ruiz, M. E., Martínez-Campos, A. R., Villalobos-Pietrini, R. y Arteaga-Reyes, T. T. (2015). Concentración total y geodisponible de elementos potencialmente tóxicos en suelos volcánicos con uso agrícola del Nevado de Toluca, México. Rev. Int. Contam. Amb. 31 (2), 113-125.

Mei-Yan, J., Jong-Jun, L, Hye-Ji, O., Gui-Sook, N., Kwang-Seuk, J., Jong-Min, O. y Kwang-Hyeon, C. (2019). The response of catchment ecosystems in eutrophic agricultural reservoirs to water quality management using DOM fluorescence. Sustainability 11(24):1–13. DOI: https://doi. org/10.3390/su11247207

Metcalf, W. (2003). Metcalf and Eddy wastewater engineering: treatment and reuse. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse McGraw Hill. New York, NY, 384.

Nordberg, G., Fowler, B. y Nordberg, M. (2015). Handbook on the toxicology of metals. 4a ed, Academic Press, Cambridge, Inglaterra, 542 pp.

Organización Mundial de la Salud (2019). Intoxicación por plomo y salud. OMS. Recuperado de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health

Parr, J. F., Papendick, R. L., Hornick, S. B. y Meyer, R. E. (2002). Soil quality: Attributes and relationships to alternative and sustainable agriculture. Am. J. Alternative Agr. 7 (2), 5-11. https://doi.org/10.1017/ S0889189300004367

Persaud, D., Jaagumagi, R. y Hayton, A. (1993). Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Ontario Ministry of the Environment. Ottawa, Canadá, 23 pp.

Porta, J., López, A. M. y Roquero, L. C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Mundi Prensa, Madrid, 562 pp.

Rosas-Romero, R. y Covarrubias-Gómez, A. (2020). El papel del zinc en la salud humana. Revista Médica del Instituto Mexicano del Seguro Social 58(4), 477-485. DOI: https://doi.org/10.24875/RMIMSS.M20000073

SAS S. (1988). STAT users guide, rel. 6.03, SAS Institute. Inc.: Carey, NC.

Virkutyte J., Sillanpää, M. y Latostenmaa, P. (2002). Electrokinetic soil remediation—Critical overview. Sci. Total Environ. 289 (2), 97-121. https://doi.org/10.1016/ S0048-9697(01)01027-0

Waliszewski, S. M., Gómez-Arroyo, S., Infanzón, R.M., Carvajal, O., Villalobos-Pietrini, R., Trujillo, P. y Maxwell Hart, M. (2004). Persistent organochlorine pesticide levels in bovine fat from Mexico. Food Addit. Contam. 21 (2), 774-780. https://doi.org/10.1080/0265203041 0001712736

25 Estrategias del manejo sustentable del agua en sistemas de producción lechera

María del Carmen Espejel del Moral, Sandra González Luna, Manuel Andrés González Toimil, Luis Jesús López Morales, Esperanza García López, Itzayana Mejía Flores.

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México
* Autor de correspondencia: maryespejel@gmail.com

Resumen

Los sistemas de producción de leche se clasifican en especializado, semi especializado, doble propósito y familiar o traspatio. En la megalópolis, constituida por la Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala, es posible encontrar los cuatro tipos de sistemas de producción de leche. Todos ellos impactan al medio ambiente en mayor o menor grado. En general el impacto negativo relacionado con el agua son el consumo de agua, la contaminación de los sembradíos por el uso de fertilizantes, la contaminación de cuerpos de agua a causa del mal manejo del estiércol, la erosión del suelo debido al sobrepastoreo y la expansión de la tierra para uso ganadero ya que pueden afectar a los agroecosistemas terrestres o acuáticos.

La capacitación para concientizar a los empleados sobre la importancia del cuidado del agua, la captación y almacenamiento de agua, el riego eficiente, el manejo de pasturas, el uso de bebederos automáticos, la mejora de la infraestructura, el tratamiento y reutilización del agua, entre otras son estrategias que mejoran la sostenibilidad y la rentabilidad de los sistemas de producción de leche.

La implementación de estrategias de manejo sostenible del agua en la ganadería lechera es esencial para conservar este recurso vital. En la actualidad es necesario transformar las empresas ganaderas en sistemas más productivos para satisfacer las demandas de la población, pero también es apremiante fomentar la producción de alimentos de empresas sostenibles.

Introducción

El aumento de la población mundial y la necesidad de incluir más productos de origen animal en las dietas, conducen a un aumento de la demanda de alimentos del 70-90% para el año 2050 (Lutz et al., 1997).

La ganadería lechera enfrenta grandes desafíos para lograr producir leche de calidad y en cantidad suficiente. El alcanzar los parámetros reproductivos y productivas establecidos son las principales metas para lograr ser empresas rentables, sin embargo, hasta ahora son pocas las estrategias que se realizan para disminuir el impacto negativo de los sistemas de producción lechera sobre el medio ambiente. Los productores se han enfocado principalmente en la reduccion del uso del agua, su reutilización, utilización del agua de lluvia.

El agua es un recurso fundamental para la producción de leche, y es indispensable realizar investigaciones que ayuden a identificar oportunidades para optimizar su gestión. A continuación, se describen los diferentes tipos de sistemas productores de leche y se sugieren posibles estrategias del manejo sustentable del agua.

Ganadería

La ganadería lechera en México es parte fundamental de la economía rural, su desarrollo ha sido crucial para la seguridad alimentaria del país. Es una actividad económica, del sector primario que consiste en la crianza de animales para aprovechar sus productos. Las empresas ganaderas contribuyen a la seguridad alimentaria y crecimiento económico del país (García,1994; Barrera, 1996). Sin embargo, la producción ganadera tiene un impacto negativo en el medio ambiente.

México es considerado un país de tradición ganadera, durante la conquista fueron introducidas las

primeras vacas de razas europeas. Éste ganado fue traído desde las Antillas donde se llegaron a intercambiar de 10 hasta 15 esclavos por una cabeza de bovino (Barrera, 1996).

Entre 1530 y 1540 se llevó a cabo la crianza de mulas y bueyes para atender la falta de empleados (García, 1994); en estas mismas décadas se consolidaron las estancias, las cuales eran grandes extensiones de tierra a disposición de conquistadores y encomenderos (López, 1578, como se citó en García 1994).

Desde entonces la ganadería bovina ha evolucionado significativamente (Barrera, 1996). En el siglo XIX, en el Altiplano central, la megalópolis, se establecieron establos que comercializaban leche fresca y subproductos lácteos para los pobladores de la región. Sin embargo, en el año de 1821, al finalizar la independencia de México, la población ganadera disminuyó debido a que los animales se destinaron para la alimentación militar (Krauze, 2010).

En el año de 1910 inició la revolución mexicana, el ganado fue utilizado como alimento y moneda de cambio para conseguir armas, municiones y uniformes; se estima que se llegó a perder entre el 80 al 90% del ganado, de esta manera retrocedió el avance logrado hasta entonces la ganadería mexicana (Krauze, 2010).

Hasta los inicios del siglo XX, el sistema de producción más difundido y utilizado era el pastoreo extensivo. A partir de 1940 empezó a consolidarse la lechería comercial. En los años cincuenta y hasta los setenta se fueron integrando las empresas ganaderas productoras de leche en grandes unidades productivas. 1980-2000 la industria creció y se diversifico (Barrera, 1996; Holstein de México, 2024).

Para el 2023, México registró un inventario de 36,8 millones de cabezas de bovinos, de las cuales el 92.6% son destinadas para carne y el 7.4% para leche. La producción de carne en canal alcanzó un valor comercial de 401 mil 465 millones de pesos, el mayor monto le corresponde a la de bovino que representó 40% (SIAP, 2023), en cuanto a producción de leche bovina, México ocupa el 14º lugar en la producción mundial, con el 2% del total (CANILEC, 2024) y un consumo per cápita de leche bovina de 115.92 Kg (FAO, 2023).

Sistemas de producción en ganado lechero

La ganadería lechera en México se distribuye en diferentes regiones agroecológicas y cuencas lecheras. Los sistemas de producción no son homogéneos, es decir, las unidades de producción difieren en cuanto a grado de tecnificación, número de vientres, manejo reproductivo, calidad de los forrajes, tipos de alimentación, entre otras características y estas dependen de la utilización de razas lecheras especializadas (Holstein, Suizo Pardo y Jersey) o vacas cruzadas (Bos taurus x Bos indicus) (CONARGEN, 2000; Avilés, et al. 2024).

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias indica que en el país existen cuatro sistemas de producción de bovinos: sistema especializado, semi especializado, doble propósito y familiar o traspatio (Gasque, 2004; Osorío, 2010).

1.-Sistemas especializados se subdividen en: sistemas intensivos, semi intensivos o extensivos (Gasque, 2004).

Las características de los sistemas de producción intensivos se distinguen por la alta tecnificación como son las máquinas ordeñadoras algunas automatizadas, tanques enfriadores, manejo de establos para el ganado. Este sistema cuenta con instalaciones modernas que permiten el bienestar animal. Implementan programas de medicina preventiva, reproducción y mejoramiento genético estructurados. Lo conforman las grandes cooperativas de productores como Lala, Alpura, Santa Clara, que se encuentran integradas vertical y horizontalmente (Gasque, 2004; SAGARPA, 2018).

Las unidades semi intensivas son intermedias en cuanto a nivel tecnológico. Se manejan programas tanto de medicina preventiva, reproducción y mejoramiento genético. Las vacas permanecen una parte del día en pastoreo y la otra parte en estabulación. Normalmente cuentas con alojamientos para el ganado. La alimentación del ganado se basa en pastoreo de praderas mejoradas y suplementación con alimento balanceado (Gasque, 2004).

Los sistemas de producción extensivos se distinguen por mantener a los animales en pastoreo, los únicos momentos de estabulación son durante el ordeño, y el encierro nocturno. Dentro de la megalópolis se ubican en Querétaro, Hidalgo, Estado

de México, así como algunos en Puebla, Veracruz, Chiapas, Tlaxcala y en los últimos años se ha extendido a estados como Sonora, Aguascalientes y Querétaro. La tecnología del sistema de ordeño puede variar entre establos, este sistema de producción puede recurrir a la asesoría tecnica especializada (Gasque, 2004; Khanal et al. 2010; SAGARPA, 2018).

2.- Sistemas semi especializados, aún un cuando predomina las razas Holstein y Pardo Suizo no alcanzan los niveles de producción del sistema anterior (especializado). El ganado se mantiene en condiciones de semi estabulación que se desarrolla en pequeñas extensiones de terreno, la ordeña puede ser manual o mecanizada y en ocasiones se cuenta con algunos sistemas de enfriamiento. Los Estados donde predomina este sistema son: Baja California, Baja California Sur, Colima, Chihuahua, Ciudad de México, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala y Zacatecas (Villamar y Olivera, 2005; Robledo, 2018).

Un problema en el corto y mediano plazo que afronta y afrontará la producción especializada y semi especializada de leche en el país es la limitante de agua (Magaña, 2006).

3.- Sistemas doble propósito son los que se desarrollan en zonas tropicales, aunque se puede encontrar también en entidades con clima árido, semiárido y templado. Una característica importante de la ganadería de doble propósito es la flexibilidad de su función zootécnica, al producir carne y leche, donde parte de las vacas del hato se ordeñan parcialmente y el resto de la leche se deja para la cría (CONARGEN, 2000). En este sistema predominan las razas Cebuinas y cruzas con Suizo, Holstein y Simental. Las principales regiones productoras de leche en el trópico mexicano son Veracruz, La Huasteca, Chiapas, Tabasco, Morelos, entre otros. El manejo del ganado se da en forma extensiva, confinándose en instalaciones rústicas solo durante la noche. La alimentación se basa en el pastoreo y con un aporte escaso de alimentos balanceados. La ordeña es manual en la mayoría de los casos (Villamar y Olivera, 2005; Robledo, 2018; Martínez et al. 2019).

El potencial que existe en el trópico mexicano para la producción de leche se basa en las ventajas que se tiene por la abundancia de agua y de suelos que permiten el cultivo de forrajes con costos más bajos si se compara con los sistemas localizados en zonas templada, árida y semiárida (Robledo, 2018).

4.- Sistemas familiares o de traspatio se caracterizan por localizarse en las viviendas de los ganaderos, de ahí, el nombre de traspatio. Las familias que componen a estas unidades productivas juegan un papel fundamental en la crianza de bovinos productores de leche. No cuentan con la asesoría de personal experto en las diferentes áreas productivas (nutrición, reproducción, etc.), o las prácticas de manejo encaminadas hacia una mayor producción por vaca y una calidad bacteriológica y/o microscópica de la leche debido a que predomina la ordeña manual, el nivel tecnológico es bajo y sus instalaciones suelen ser rudimentarias. La producción de leche y/o queso es de tipo artesanal y la venta de su producción se destina en forma directa en pequeñas poblaciones o para autoconsumo a nivel regional (Villamar y Olivera, 2005; Khanal et al. 2010; Robledo, 2018).

En el centro de México, los sistemas familiares o de traspatio son los que predominan y se ubican principalmente en los estados de Jalisco, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México y Michoacán. La base de la alimentación son los pastizales nativos, los cultivos forrajeros de cereales de grano pequeño como forraje para pastoreo o en ensilaje, las pasturas inducidas de clima templado como el Ryegrass combinado con trébol blanco, y el cultivo de maíz para grano y forraje o bien en forma de ensilaje (Avilés et al. 2024). En estos sistemas de producción, si bien no hay un programa de mejoramiento genético definido, este se ha logrado debido a la inseminación artificial. La producción de leche es menor al promedio de los sistemas especializados intensivos, aunque se utilizan razas especializadas en producción lechera (Aviles-Ruíz, 2018).

A pesar de que, en México, la producción lechera se concentra en los estados de Coahuila y Durango, en la megalópolis (Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Puebla, Morelos, Querétaro y Tlaxcala) es posible encontrar los cuatro tipos de sistemas de producción. Lo sistemas especializados se localizan en su mayoría en Querétaro, Estado de México, Hidalgo y Puebla. Los sistemas semi especializados se sitúan en Ciudad de México, Hidalgo,

Estado de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala. Los de doble propósito en Morelos y los sistemas familiares o de traspatio se ubican principalmente en los estados de Querétaro, Hidalgo, Estado de México. Sin embargo, es posible encontrar este último tipo de sistema en todos los estados que conforman la megalópolis (Villamar y Olivera, 2005; Khanal et al. 2010; Robledo, 2018).

El agua en la producción lechera

La "huella hídrica" de la leche se define como la cantidad de agua utilizadas en las diferentes etapas de la cadena de producción de este alimento. Esto incluye el agua consumida para actividades directas como bebida, baño, limpieza, así como y cuidar a actividades indirectas tales como la utilizada para la producción de concentrado, forraje seco y forraje verde. Aproximadamente el 98% de la huella hídrica de los productos de origen animal está relacionada con el uso de agua para la alimentación de los animales. La huella hídrica de la leche varía dependiendo de múltiples factores, como el tipo de producción (convencional vs. orgánica), la alimentación del ganado, la ubicación geográfica y las prácticas de gestión del agua. Hay que señalar que la huella hídrica de la leche en cada caso específico depende de la zona geográfica, del sistema o sistemas de producción animal, así como de la composición y origen de los ingredientes en la alimentación animal como ya fue mencionado (Hoekstra, 2011; Mekonnen and Hoekstra, 2012; Robinson et al., 2016).

En términos generales, se considera que la cadena productiva de la leche comienza desde el cultivo de los alimentos para el ganado, los insumos agropecuarios, el sistema de producción animal, centros de acopio, el procesamiento de la leche, distribuidores, y consumidor final del producto. De manera general los alimentos concentrados tienen una huella hídrica mayor en comparación con los forrajes y por eso los sistemas en pastoreo y mixtos tienen una menor huella hídrica vs. sistemas estabulados o industriales (Hoekstra, 2011). Sin embargo, al analizar por el factor de conversión alimenticia, una mayor eficiencia (e.g., menos alimento para producir 1 kg de leche) conduce a una menor huella hídrica (Gerbens Leenes et al., 2011) en los sistemas estabulados seguido de sistemas mixtos y pastorales (Mekonnen and Hoekstra, 2010).

De acuerdo con lo reportado Mekonnen and Hoekstra (2012) para producir 1 kg de leche se necesitan 1020 L de agua. Por otro lado, fuentes nacionales indican una huella hídrica total para la leche entera de 20172 m3/año repartido en huella hídrica verde (86.3%), azul (7.3%) y gris (6.4%) (Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017).

El impacto negativo de la producción lechera sobre el medio ambiente incluye a la emisión de gases de efecto invernadero, deforestación, perdida de la biodiversidad, sobre explotación y contaminación del agua principalmente. Las estrategias para mejorar la gestión del agua en la ganadería se deben enfocar a las actividades que rodean a dicho sector, como la producción de alimento, hidratación del ganado, limpieza de las instalaciones e incluso en las empresas procesadoras de productos lácteos. Además, otro punto importante es que en América Latina la conversión del los bosques en pastizales es una práctica descontrolada que conduce a la pérdida de biodiversidad y afecta al ciclo del agua (Pérez,et.al. 2008; Heinke et al., 2020).

La producción de alimentos para la alimentación del ganado obliga a desviar importantes cantidades de agua para dicho fin, agotando las reservas del vital líquido. Así mismo el consumo de agua por el propio ganado, ya que una vaca lechera lactante bebe 100 litros de agua por día o más durante el estrés por calor. La limpieza de las instalaciones y manejo de excretas son factores que permiten la sobreexplotación de las reservas de agua al utilizar exceso del líquido para limpiar las instalaciones o durante el proceso de ordeña (Meyer, 2004; Villamar y Olivera, 2005; Margit and Mogens, 2021).

El agua residual generada en la ganadería, constituidos por la mezcla de heces, orina y agua de higiene contienen contaminantes, patógenos, residuos de medicamentos, hormonas, minerales que contaminan el agua, representando un riesgo a la salud (Pinos-Rodriguez, 2012).

Los sistemas de pastoreo mal coordinados degradan los suelos y produce erosión en los mismos, además, lo que puede llevar a la sedimentación de cuerpos de agua, afectando la calidad del agua. Es común que el pastoreo favorezca la deforestación de los bosques, a la invasión y contaminación de los humedales, disminuyendo la biodiversidad del

entorno. El sobrepastoreo reduce la cubierta vegetal afectando la capacidad del suero para retener el agua (Monaghan et al., 2016).

Hasta donde se tiene conocimiento no hay más reportes de huella hídrica específicos para el producto leche de la región de la megalópolis de México. Esto pone en evidencia la necesidad de caracterizar las condiciones y recursos hídricos (cada vez más escasos) de la megalópolis de México y obtener información a lo largo de la cadena productiva de la leche con el objetivo de obtener un valor de huella hídrica de este producto en esta zona geográfica particular. Una vez que se tenga un valor de huella hídrica, se deberían proponer e implementar medias de manejo sustentable para disminuir dicho valor.
Estrategias del manejo sustentable del agua

Aunque los sistemas productores de leche cuentan con estrategias que les permiten realizar un manejo sustentable del agua, la mayoría de los ganaderos no las implementan, debido probablemente a la falta de información al respecto. Con el propósito de ofrecer una guía para construir sistemas de producción de leche responsables con la gestión del agua se proponen las siguientes estrategias para mitigar el impacto negativo que ejerce la producción de leche sobre el agua.

Una parte fundamental para la conservación de agua es concientizar a todas las personas involucradas sobre la importancia de la gestión eficiente del agua en los sistemas productivos. Otro punto interesante es desarrollar prácticas innovadoras para el manejo sostenible del agua adaptadas a las condiciones locales de las empresas lecheras.

El implemento de tecnologías para monitorear el uso del agua, en las diferentes partes del proceso de producción, facilitará realizar análisis sobre el uso y gestión de esta, permitiendo ajustar prácticas de mejora según sea necesario.

Establecer un procedimiento para tratamiento y reutilización de agua de desecho de la sala de ordeña podría ser útil en alguna otra parte del proceso productivo.

Los sistemas de recolección de agua de lluvia para almacenamiento son una alternativa para la limpieza de corrales o para riego de praderas. Utilizar el riego por goteo o aspersión en los cultivos, además de cultivar especies resistentes a la sequía, mejoraría la eficiencia en el riego de forrajes.

La instalación de bebederos automáticos, así como la formulación de dietas con ingredientes que tengan una huella hídrica baja son prácticas que disminuyen el uso de agua.

Diseñar métodos de eliminación de excretas adecuados para impedir la contaminación de fuentes de agua. Así mismo evitar el acceso del ganado a los lagos, ríos etc. para evitar contaminarlos.

La implementación de sistemas silvopastoriles, en donde se manejan los árboles, ganado y pastizales de manera integrada son una alternativa para producir de forma sostenible.

Durante el pastoreo es conveniente realizar la rotación de pasturas para aprovechar mejor los recursos y permitir la regeneración de suelo para una mejor infiltración de agua. Diseñar apropiadamente los sistemas de drenaje en las praderas evitará perder agua y evitará la erosión.

Los sistemas de producción de leche necesitan ser regulados sobre los sistemas de gestión del agua para ser productores de empresas sostenibles. Se deben alinear a las políticas ambientales nacionales para asegurar la conservación de esta.

En conclusión, el manejo sustentable del agua en los sistemas de producción lechera es uno de los mayores desafíos que presenta la ganadería nacional. Cada sistema de producción de leche necesita establecer procedimientos que permitan gestionar adecuadamente el manejo del agua y evitar pérdidas innecesarias del ella. Es indispensable concientizar a los ganaderos sobre la problemática actual de la gestión de agua en sus empresas, para que, además de producir alimento de calidad se minimice su impacto sobre los recursos hídricos. La integración de la sostenibilidad en la mercadotecnia podría ser un incentivo para la conservación de los recursos.

Tabla 1 Algunas problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en los sistemas de producción de leche de la Megalópolis.

Problemáticas	Oportunidades
Deficiencia en el análisis de la gestión del agua en el hato.	Implementar tecnologías para monitorear el uso del agua, en las diferentes partes del proceso productivo.
Producción de alimentos para la alimentación del ganado.	Implementar sistemas de riego eficientes. Utilizar ingredientes con huella hídrica baja.
Consumo de agua por el propio ganado.	Colocar bebederos automáticos.
Limpieza de las instalaciones.	Colectar agua de lluvia para limpiar las instalaciones.
Contaminación por mal manejo de excretas.	Establecer métodos de eliminación de excretas adecuados.
Agua residual contaminada.	Recolectar y tratar las aguas residuales para usarla en la limpieza de instalaciones.
Degradación de suelos por el sobrepastoreo.	Llevar a cabo rotación de pastizales. Evitar la sobre carga de animales.
Invasión de bosques y humedales.	Implementar sistemas silvopastoriles.
Mejorar el desarrollo de tecnología.	Desarrollar prácticas innovadoras para el manejo sostenible del agua adaptadas a las condiciones locales
Falta de vigilancia de la gestión de agua.	Regulación de la gestión del agua.
Falta de conciencia social.	Capacitar a los empleados para mejorar la gestión del agua en todos los procesos. Educar al consumidor para que exija alimentos de origen sostenible.

Referencias Bibliográficas

Avilés Ruíz, R., Barrón Bravo, O. G., Gutiérrez Chávez, A. J., & Ruiz Albarrán, M. (2024). Principales sistemas de producción de leche en México: recopilación actual de parámetros productivos, reproductivos y de manejo. Ciencias Veterinarias Y Producción Animal, 1(2), 32–47. https://doi.org/10.29059/cvpa.v1i2.16

Avilés-Ruíz, R., Valencia-Posadas, M., Martínez-Jaime, O., Angel-Sahagún, C. A., Lechuga-Arana, A., León-Galván, F., & Gutiérrez-Chávez, A. (2018). Evaluación de la salud de la ubre como estimador de la calidad de la leche de vacas en hatos familiares. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos 3, 376-380.

Barrera BN. (1996). Los orígenes de la ganadería en México. Ciencias, 44:14-27. Disponible en <https://www.revistacienciasunam.com/en/193-revistas/revista-ciencias-44/1827-los-or%C3%ADgenes-de-la-ganader%C3%ADa-en-m%C3%A9xico.html> consultado el 01/julio/2024.

Cámara Nacional de Industriales de la Leche (CANILEC,2024). Compendio de estadísticas del sector lácteo 2013-2023. México. Disponible en https://www.canilec.org.mx/estadisticas/ consultado el 29/junio/2024.

Comité Nacional de los Recursos Genéticos (CONARGEN, 2000). Plan de Acción, México.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO, 2023). En Our World in Data, última actualización: 14/marzo 2024, Disponible en https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-milk-consumption consultado 29/junio/2024.

García MB. (1994). Los primeros pasos en la ganadería en México. En Relaciones: Estudios de Historia y Sociedad, 15(59):11-44. El Colegio de México. México, Distrito Federal. ISSN: 0185-3929; 1994.

Gasque, G. R. Sistema de producción animal. (2024). Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, División del Sistema de Universidad Abierta y Educación a Distancia.

Edición: 1ª.

Gerbens-Leenes, P. W., M. M. Mekonnen, and A. Y. Hoekstra. 2011. A comparative study on the water footprint of poultry, pork and beef in different countries and production systems. Value of Water Res. Rep. Ser. No. 55. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. and Mekonnen, M.M. (2011) " The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard", Earthscan, London, UK.

Holstein de México. Nuestra Historia. Calidad Garantizada. Holstein de México, A.C. México, Querétaro. Disponible en < http://holstein.com.mx> con-

sultado 29/junio/2024.

Khanal, A. R., Gillespie, J., MacDonald, J. (2010). Adoption of technology, management practices, and production systems in US milk production. J. Dairy Sci. Vol. 93. No.12. 6012-6022.

Krauze E. Las praderas y los desiertos, Historia de la Ganadería en México. (2010). Ed. Clío, Libros y Videos. México.

López J. "Testamento e inventario de Jerónimo López el viejo" (17 nov. 1578). En García MB. (1994) Los primeros pasos en la ganadería en México. El Colegio de México. México, Distrito Federal. ISSN: 0185-3929

Lutz W., Sanderson W., Scherbov S. (1997) Doubling of world population unlikely. Nature 387, 803–805

Magaña, J., G. Ríos y C. Martínez (2006), "Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México", Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, Asociación Latinoamericana de Producción Animal 14 (3):105-114.

Margit B.J., Mogens V. (2021). Invited review: Freedom from thirst—Do dairy cows and calves have sufficient access to drinking water?, Journal of Dairy Science 104(11): 11368-11385, ISSN 0022-0302, https://doi.org/10.3168/jds.2021-20487.

Martínez C., Julio C., Cotera R., Zavaleta J., Abad J. (2012). Características de la producción y comercialización de leche bovina en sistemas de doble propósito en Dobladero, Veracruz. Revista Mexicana de Agronegocios, 30,816-824. [fecha de Consulta 10 de junio de 2020]. ISSN: 1405-9282. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=141/14123097004.

Mekonnen, M. M., and A. Y. Hoekstra. (2010). The green, blue and grey water foot print of farm animals and animal products. Value of Water Res. Rep. Ser 48. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2012) A global assessment of the water footprint of farm animal products, Ecosystems, 15(3): 401-415.

Meyer U, Everinghoff M, Gädeken D, Flachowsky G. (2004). Investigations on the water intake of lactating dairy cows. Livest Prod Sci 90(2-3): 117-21.

Monaghan R.M., Smith L.C., Muirhead R.W. (2016) Pathways of contaminant transfers to water from an artificially-drained soil under intensive grazing by dairy cows, Agriculture, Ecosystems & Environment 220:76-88, ISSN 0167-8809, https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.024.

Osorio, M. A. (2010). Producción de leche en la zona alta de Veracruz. P.S.P GGAVATT San José Miahuatlan. México.

Pérez Espejo, Rosario. (2008). El lado oscuro de la ganadería. Problemas del desarrollo, 39(154), 217-227. Recuperado en 02 de octubre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301703620080003000011&lng=es&tlng=es.

Pinos-Rodríguez J.M., García-López J.C., Peña-Avelino L.Y., Rendón-Huerta J.A., González-González C., Tristán-Patiño F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Agrociencia, 46(4): 359-370. Recuperado en 02 de octubre de 2024, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405319520120004000004&lng=es&tlng=es

Vázquez del Mercado Arribas R., Lambarri Beléndez J. (2017). Huella hídrica en México: análisis y perspectivas, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua,.255 pp.

Robinson A.D., Gordon R.J., VanderZaag A.C., Rennie T.J., Osborne V.R. (2016). Usage and attitudes of water conservation on Ontario dairy farms Prof. Anim. Sci., 32 (2):236-242, 10.15232/pas.2015-01468

Robledo Padilla R. (2018): producción de leche en México y su comercio de lácteos con países del apec. In: teoría, impactos externos y políticas públicas para el desarrollo regional. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN UNAM: 978-607-02- 9998-8, AMECIDER: 978-607-96649-5-4. Disponible en:http://ru.iiec.unam.mx/3744/1/052-Robledo.pdf.

Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (SAGARPA, 2018). Boletín de leche.

SIAP Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Panorama Agroalimentario. (SIAP, 2023). Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. México, CDMX. https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2023/Panorama-Agroalimentario-2023 consultado 29/junio/2024.

Villamar A.L. y Olivera Cazares E. (2005). Situación actual y perspectiva de la producción de leche de bovino en México, Coordinación General de Ganadería SAGARPA. México.

26 Estado actual del conocimiento de la flora acuática de la Megalópolis de México

Hugo López-Camarillo[1]*, Alexis Josué Sánchez-Lara[2] Nadia Elizabeth Siordia-González[3] e Isolda Luna-Vega[1]

[1]Departamento de Biología Evolutiva, Laboratorio de Biogeografía y Sistemática, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México (*autor de correspondencia: hugolopezcamarillo4.6@gmail.com);
[2]Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México;
[3]Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.

Resumen

Los humedales de la Megalópolis de México destacan por su valor hídrico, histórico, cultural y ecológico. Desafortunadamente, poco se conoce de las plantas acuáticas que los habitan y se conoce aún menos de aquellas que alguna vez existieron en los grandes lagos que ahora están cubiertos por grandes ciudades. El objetivo de este manuscrito es recabar y ofrecer información que enriquezca la visión general de los humedales de la Megalópolis de México, no sólo como grandes reservas de agua para beneficio humano, sino como ecosistemas funcionales y dinámicos que albergan y mantienen al menos 270 especies de plantas hidrófitas, subacuáticas y tolerantes ubicadas en 34 humedales de los 537 reconocidos en el área de estudio. Estos cuerpos de agua enfrentan, en estos tiempos de crisis climática, hídrica y de expansión humana, una inminente extinción si no se incluyen en la gestión integral del recurso del agua.

Palabras clave: plantas acuáticas, conservación de humedales, florística, zona metropolitana, riqueza vegetal.

Introducción

La Megalópolis de México (MM) es un espacio urbano que ha tenido un crecimiento constante, mismo que ha desencadenado una serie de desafíos ambientales, urbanos y sociales. En este contexto, la MM requiere y requerirá del abasto en los servicios básicos como el agua para millones de personas (Martínez, 2015).

El crecimiento y desplazamiento de la mancha urbana hacia zonas más distantes ha propiciado la pérdida de ecosistemas completos dentro de la Cuenca de México. Esto es muy claro en la región Chalco-Xochimilco donde se secaron los grandes lagos y ciénegas, y los ríos que sobreviven actualmente están intubados. En estos sitios ya no existe cobertura vegetal suficiente para poder infiltrar el agua de la lluvia, lo cual, entre otras problemáticas ecológicas, propicia inundaciones donde se mezcla el agua pluvial con la residual (Castelán-Cabañas et al. 2015).

Se considera que a nivel mundial se han perdido el 64% de los humedales, y para el 2015, se estimaba que, en México, la pérdida de humedales era ya de 62% (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012; Ramsar, 2015; Jiménez, 2018). Estos sitios han sido reemplazados por las alcaldías de la ciudad de México, y los lagos remanentes han sufrido perturbaciones derivadas de una explotación extrema, peligrando su biodiversidad.

Algunos humedales que destacan por su importancia biológica son Las Ciénegas de Lerma, el Lago de Texcoco y las Lagunas de Zempoala, que albergan alrededor de 100 especies de plantas acuáticas estrictas, subacuáticas y tolerantes cada uno (Bonilla-Barbosa y Novelo, 1995; Zepeda-Gómez et al. 2012; López-Camarillo y Sánchez-Lara, en prensa). Las especies de plantas acuáticas que habitan en los humedales continentales tienen una distribución discontinua con implicaciones en su diversidad genética, pues ésta se incrementa entre los diferentes cuerpos de agua en donde habitan. Por lo anterior, para conservar la diversidad genética de las hidrófitas se requiere conservar los humedales existentes (Barret et al. 1993; Magallán-Hernández et al. 2009) y no mirarlos como meros reservorios de agua para la MM a diferentes escalas.

La crisis climática, ambiental y de biodiversidad así como los conflictos socioambientales que existen actualmente en nuestro país (Landgrave y Moreno-Casasola, 2012; Debo-Amenta, 2020, Moctezuma-Barragán, 2023), en especial la sequía y

desabasto de agua, afectan a las especies nativas y amenazadas así como las que están en peligro de desaparecer, al igual que otros grupos de plantas con flores, anfibios, peces, invertebrados y microorganismos acuáticos (Challenger y Dirzo, 2009; Martínez-Meyer et al. 2014; CONABIO y SEDEMA, 2016).

Problemáticas y oportunidades

En México existen 240 especies de plantas hidrófitas y otras 1200 son consideradas subacuáticas y tolerantes (Mora-Olivo et al. 2013) (Figura 1). Actualmente, el conocimiento es incompleto y desactualizado tanto por falta de especialistas como por que muchos cuerpos de agua se han perdido y degradado antes de ser estudiados. Por lo anterior, es importante compilar la información existente para incidir en la conservación de las plantas acuáticas que coexisten con nosotros en una de las megalópolis más grandes del mundo.



Figura 1. Algunas hidrófitas que pueden encontrarse en los humedales de la Megalópolis de México: a) Marsilea mollis; b) Juncus ebracteatus; c) Wolffiella gladiata y W. lingulata; d) Nymphaea odorata; e) Nymphaea mexicana; f) Datura ceratocaula; g) Trifolium wormskioldii y Eleocharis acicularis; h) Heteranthera peduncularis; i) Persicaria amphibia.

La MM albergaba en un pasado reciente un mosaico de vegetación que incluía bosques, pastizales y humedales (actualmente en crisis de extinción). Muchas de las formas de vida que en ella existieron, especies endémicas y restringidas a algunos pocos cuerpos de agua, se han perdido y otras están en vías de desaparecer por el avance de las grandes ciudades y requerimientos de sus poblaciones humanas (ver Tabla 1) (Iraheta, 2000; Pastrana-Miranda, 2022; Lobato de Magalhaes et al. 2022; Moctezuma-Barragán, 2023, CONANP, 2023).

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades sobre las hidrófitas que habitan en los distintos humedales en la Megalópolis de México.

Problemáticas	Oportunidades
Existe un desconocimiento de la diversidad florística de hidrófitas en la MM.	Fomentar la generación de conocimiento de la flora acuática a través de investigaciones y ciencia ciudadana.
Los distintos cuerpos de agua en la MM se están degradando y perdiendo.	Gestionar el uso del agua entendiendo que otros organismos también la aprovechan.
No hay programas de conservación para hidrófitas que incluyan cuerpos de agua además de los de las Áreas Naturales Protegidas.	Proponer estrategias de conservación y participación social para la protección de la flora acuática de la MM.

Método

Se realizó una revisión de la literatura disponible para conocer cuáles especies de plantas acuáticas han sido reportadas habitando en los cuerpos de agua dentro de la MM, enfocándonos en aquellos que tienen relevancia histórica, biológica y cultural, así como en aquellos que no son tan conocidos pero que, por su ubicación, resultan importantes para la conservación de la biodiversidad (López-Camarillo y Sánchez-Lara, en prensa).

Se recopilaron los registros de plantas acuáticas, subacuáticas y tolerantes en la MM reportadas por Bonilla-Barbosa y Novelo (1995), Ramos-Ventura (1999), Lot y Novelo (2004), Lot (2005), Sánchez-Sán-

chez (2010), Ramsar (2008, 2012), Fonseca et al. (2012), Zepeda-Gómez et al. (2012), Miranda-Arce et al. (2018), Mendoza-Correa (2018), SEMARNAT (2019, 2020), González-Flores (2020), Pronatura México (2021), Escudero (2022), López-Camarillo (2022), Flores (2023), CONANP (2024) y López-Camarillo y Sánchez-Lara (en prensa), así como las observaciones personales por parte de los autores. Se generó el listado de hidrófitas, subacuáticas y plantas tolerantes a la inundación que albergan los diversos cuerpos de agua de la MM. Se revisó su validez taxonómica en Plants of the World (POWO, 2024) y se determinó el estatus ecológico para las nativas, introducidas e invasoras, así como las especies en alguna categoría de riesgo (DOF, 2010; Zepeda-Gómez et al. 2012; López-Camarillo, 2022). Finalmente, usando el programa QGIS 3.36.2 se generó un mapa de los cuerpos de agua de CONAGUA (2015) y las Áreas Naturales Protegidas (CONABIO, 2024) que incluyen la riqueza de plantas acuáticas por zona metropolitana de la MM (Figura 2).

Resultados y discusión

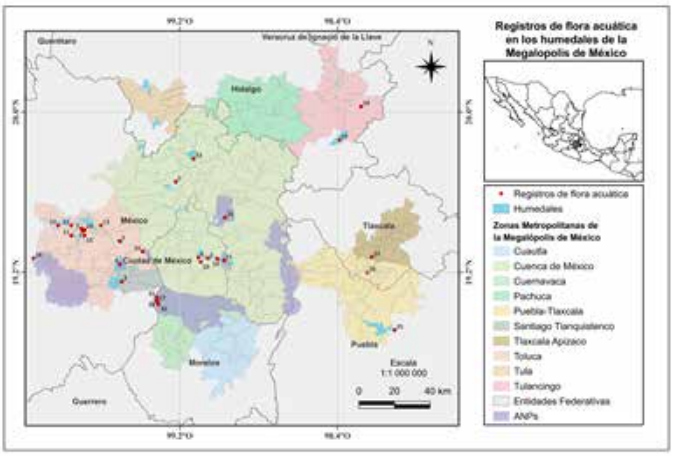


Figura 2. Mapa de los humedales y registros de la flora acuática de las ZM, Megalópolis de México y ANPs.

La extensión territorial que conforma a la MM alberga 537 humedales reconocidos por diferentes autores (Ramos-Ventura, 1999; CONAGUA, 2015). Existen muchos otros que, por su pequeña extensión o estacionalidad, no aparecen en el mapa, pero albergan una riqueza importante de hidrófitas (López-Camarillo, 2022). En estos cuerpos de agua el estudio de las plantas acuáticas es pobre, pues sólo 34 humedales presentes en la MM tienen reportes de las hidrófitas que los habitan, lo que equivale a menos del 7% (ver Tabla 2 y Apéndice 2).

Estos cuerpos de agua que se distribuyen de manera discontinua y en algunos casos de forma agregada, representan un reto en materia de conservación y gestión del agua, ya que no sólo los seres humanos dependemos de ellos para nuestra subsistencia, sino que, muchas especies los aprovechan como auténticos oasis de biodiversidad (Martínez-Meyer et al. 2014; Magallán-Hernández et al. 2009; López-Camarillo, 2022).

También se debe analizar el estado actual de conservación de estos humedales, pues si bien existen 23 Áreas Naturales Protegidas dentro de la MM, en ellas sólo se incluyen 13 humedales de los cuales se conoce su riqueza florística, entre los cuales están las Ciénegas de Lerma, los Canales y Ejidos de Xochimilco, el Lago de Texcoco y la Laguna de Tecocomulco, considerados sitios Ramsar de importancia internacional (Mora-Olivo et al. 2013; Castelán-Cabañas et al. 2015; CONABIO y SEDEMA, 2016).

Como parte de la flora acuática de la MM se registraron 270 hidrófitas, subacuáticas y tolerantes. Este número sólo incluye las especies reportadas en diversas investigaciones y observaciones personales de los autores, por lo cual, es un número que no representa el total de la riqueza que puede existir en el centro de México.

Se reportan 206 especies nativas de México y cinco endémicas (ver Tabla 3 y Apéndice 1), entre las que se incluye la mitad de la riqueza de plantas acuáticas estrictas que existen en México (Mora-Olivo et al. 2013). También se reportan cinco especies en categoría de riesgo, que son, Gentiana spathacea, Nymphaea gracilis, N. mexicana, N. odorata y Sagittaria macrophylla (DOF, 2010). Estas especies están en peligro de extinción ya que, a escala local, ya han desaparecido en la Cuenca de México (Zepeda-Gómez, 2017).

Tabla 2. Humedales de la Megalópolis de México.

Zona Metropolitana	Humedales	Humedales con registros compartidos entre dos ZM	Humedales con registros	Humedales no reconocidos en el mapa con registros
Cuenca de México	266	0	6	2
Santiago Tianguistenco	3	2	0	0
Toluca	140		6	7
Cuernavaca	9	0	3	3
Cuautla	14	0	0	0
Puebla – Tlaxcala	12	1	2	0
Tlaxcala Apizaco	3		0	0
Tulancingo	56	0	2	0
Pachuca de Soto	19	0	0	0
Tula	15	0	0	0
Total	537	3	19	12
ANPs	23	0	9	4

Por otro lado, se encontraron 52 especies introducidas y siete invasoras en distintos humedales. La presencia de estas especies describe no sólo la capacidad de estos sistemas para sostener comunidades biológicas a pesar de las presiones antropológicas actuales, con riesgo de colapsar y perder la biodiversidad que albergan, pues en muchos casos, la presencia de especies invasoras, como es el caso de Pontederia crassipes, Polypogon monspeliensis y Echinochloa crus-galli, son indicadoras de la grave alteración que hay dentro del sistema (Bonilla-Barbosa y Santamaría, 2013; Rodríguez-Lara et al. 2022).

Por tanto, es necesario incrementar las acciones que aseguren la protección no solo de estos ecosistemas, sino también de las especies de plantas acuáticas que en ellos todavía se encuentran.

Tabla 3. Resumen de la riqueza de hidrófitas, subacuáticas y tolerantes de la Megalópolis de México.

Categoría	Total
Acuáticas (A)	121
Subacuáticas (S)	46
Tolerantes (T)	103
Nativas (N)	206
Endémicas (E)	5
Introducidas (INT)	52
Invasoras (INV)	7
En riesgo (A, Pr)	5

Conclusiones y perspectivas

La falta de estudios formales causa, por un lado, una subestimación en la riqueza de hidrófitas que existe en estos sitios, y por otro, se desconoce el peligro que corren las poblaciones de especies de los humedales particularmente vulnerables.

La expansión de la MM continuará y con ella la necesidad de cubrir las necesidades de las ciudades, sin embargo, es necesario establecer planes que permitan el aprovechamiento y gestión del agua sin comprometer la supervivencia de las plantas acuáticas, subacuáticas, tolerantes, además de la fauna y flora acompañantes.

Este es un enfoque sobre el conocimiento de las especies de la flora acuática de la MM, que pretende remarcar la presencia de un grupo biológico poco reconocido cuando se habla sobre el recurso del agua.

Agradecimientos

Al Dr. César Ríos Muñoz y al Dr. Carlos Durán Ramírez por la facilitación de material bibliográfico y al Proyecto DGAPA-PAPIIT 219424 por financiamiento.

Referencias bibliográficas

Barrett, S., Eckert, C. y Husband, B. (1993). Evolutionary processes in aquatic plant populations. Aquatic Botany 44:105-145.

Bonilla-Barbosa, J. R. y Novelo, R. A. (1995). Cuadernos 26. Manual de identificación de las plantas acuáticas del Parque Nacional Lagunas de Zempoala. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 168 pp.

Bonilla-Barbosa, J. R. y Santamaría, A. B. (2013). Plantas acuáticas exóticas y traslocadas invasoras. pp. 223-247. En: Mendoza, R. y Koleff, P. (Eds.). Especies acuáticas invasoras en México. CONABIO. México. 560 pp.

Castelán-Cabañas, R., Contreras-Silva, A. I. y Tapia Silva, F. O. (2015). Los últimos humedales en el Distrito Federal: Xochimilco y Tláhuac, servicios ambientales y la ruta hacia su preservación. 43-69 pp. En: Sastre-Merlín, A., Díaz-Carrión, I. A. y Ramírez-Hernández, J. (Coords.). Gestión de humedales españoles y mexicanos. Apuesta conjunta por su futuro. Universidad de Alcalá y Universidad Autónoma de Baja California. España. 279 pp.

Challenger, A. y Dirzo, R. (2009). Factores de cambio y estado de la biodiversidad. CONANP. México. 39 pp.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (CONANP, 2024). Ficha SIMEC. Lago Tláhuac-Xico. https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=239&rer=11

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (CONANP, 2023). Estudio Previo Justificativo para el establecimiento del Área Natural Protegida Área de Protección de Recursos Naturales Lago Tláhuac-Xico, Ciudad de México y Estado de México. CONANP. México. 388 pp.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. (CONABIO, 2024). Áreas Naturales Protegidas Federales de México. http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/anpmx.html

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. (CONABIO y SEDEMA, 2016). La biodiversidad en la Ciudad de México. CONABIO y SEDEMA. México. 410 pp.

Comisión Nacional del Agua. (CONAGUA, 2015). Mapa que muestra la ubicación de los cuerpos de agua detectados mediante imágenes de satélite de CONAGUA. México. https://datos.gob.mx/busca/dataset/cuerpos-de-agua-de-conagua

De Las Heras-Gutiérrez, D., Adame-Martínez, S., Cadena-Vargas, E. G. y Campos-Alanís, J. (2020). Sustentabilidad del desarrollo urbano en la Megalópolis de México: Perspectiva desde el análisis espacial. Economía, Sociedad y Territorio 20(62):89-122.

Debo-Armenta, D. A. (2020). Activismo digital indígena por la defensa del agua. Revisión de casos en Facebook. Argumentos. Estudios Críticos 95:109-126.

Diario Oficial de la Federación. (DOF, 2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059- SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Catego- rías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación. https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/435/1/NOM_059_SEMARNAT_2010.pdf

Escudero, G. A. (2022). Distribución espacial del estado trófico de los canales de San Gregorio Atlapulco-Xochimilco, CDMX. [Tesis de Doctorado]. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 58 pp.

Flores, M. J. (2023). Diseño y propuesta en marcha de terrarios y acuarios para el programa de educación ambiental del centro de investigaciones biológicas de Cuemanco. [Informe de conclusión de Servicio Social]. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco. México. 19 pp.

Fonseca, J., Pérez-Crespo, M. J., Cruz, M., Porras, B., Hernández-Rodríguez, E., Martínez, P. J. L. y Lara, C. (2012). Aves acuáticas de la laguna de Acuitlapilco, Tlaxcala, México. Huitzil 13(2):104-109.

González-Flores, L. (2020). El humedal Laguna de Hueyapan, proveedora del recurso hídrico. pp. 302-305. En: Cruz-Angón, A., Nájera-Cordero, K. C., López-Higareda, D., Melgarejo, E. D., Gonzáles-Flores, L., Maldonado-Krinis, C., Flores-Ceniceros, M. E. y Fuentes-Vargas, L. (Coords.). La biodiversidad en Morelos. Estudio de Estado 2. Vol. III. CONABIO. México. 464 pp.

Iraheta, A. (2000). El agua y el suelo en la zona metropolitana del valle de México. São Paulo em Perspectiva 14(4):64-74.

Jiménez, A. (2018). Diagnóstico del agua subterránea en la cuenca del río Magdalena. [Tesis de licenciatura]. Facultad de Geografía, UNAM, 70 pp.

Landgrave, R. y Moreno-Casasola, P. (2012). Evaluación cuantitativa de la pérdida de humedales en México. Investigación Ambiental 4(1):19-35.

López-Camarillo, H. (2022). Evaluación del banco de semillas y la vegetación establecida en cuatro humedales artificiales en Toluca, Estado de México [Tesis de licenciatura]. Universidad Autónoma del Estado de México. 131 pp.

López-Camarillo, H. y Sánchez-Lara, A. J. (En prensa). Listado de las plantas acuáticas del Lago de Texcoco, Estado de México. 70-108 pp. En: Hernández-Alva, M. (Coord.). Los pueblos al oriente del Lago de Texcoco. Número 1. Santa Isabel Ixtapan. Los guardianes del modo de vida lacustre del Lago de Texcoco. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 212 pp.

Lot, A. (2005). Vegetación acuática de la Laguna de Tecocomulco. 141-147 pp. En: Huizar-Alvarez, R., Jiménez-Fernández, E. J. y Juárez-López, C. (Eds.). La Laguna de Tecocomulco. Geo-ecología de un desastre. Instituto de Geología y Universidad Nacional Autónoma de México. México. 232 pp.

Lot, A., y Novelo, A. (2004). Iconografía y estudio de plantas acuáticas de la ciudad de México y sus alrededores. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 206 pp.

Magallán-Hernández, F., Martínez, M., Hernández-Sandoval, L. y Oyama, K. (2009). Estructura genética de poblaciones de Eriocaulon bilobatum (Eriocaulaceae): una especie amenazada de humedales temporales. Bol. Soc. Bot. Méx. 85:81-88.

Martínez, P. M. (2015). La producción del espacio en la ciudad latinoamericana: El modelo del impacto del capitalismo global en la metropolización. Hallazgos 23(12):221-229.

Martínez-Meyer, E., Sosa-Escalante, J. E. y Álvarez, F. (2014). El estudio de la biodiversidad en México ¿una ruta con dirección? Revista Mexicana de la Biodiversidad 85:1-9.

Mendoza-Correa, X. A. (2018). Las chinampas del humedal de Xochimilco:

sistemas de biorremediación para la sostenibilidad. [Tesis de Maestría]. El Colegio de la Frontera Norte. México. 141 pp.
Miranda-Arce, M. G., Quiroz-Flores., A. y Romero-Ortiz, L. (2018). Phytodepuration of water orthophosphates of Reyes Aztecas Lake, Tláhuac, Mexico City. Polibotánica 46:221-231.
Mora-Olivo, A., Villaseñor, J. L. y Martínez, M. (2013). Las plantas acuáticas estrictas y su conservación en México. Acta Botánica Mexicana (103):27-63.
Moctezuma-Barragán, P. (2023). El agua en nuestras manos. Colección de Ciencias y Humanidades para México. Fondo de Cultura Económica. México. 572 pp.
Pastrana-Miranda, T. y González-Caamal, M. M. (2022). Injusticia ambiental y marginación: la falta de acceso al agua en la Zona Metropolitana del Valle de México. Territorios 46:1-25.
Plants of the World Online (POWO, 2024.) Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens KEW. https://powo.science.kew.org/
Pronatura México. (2021). Programa de adaptación basado en ecosistemas para el Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco. Cuencas Verdes de Pronatura México A. C. México. 23 pp.
Ramos-Ventura, L. J. (1999). Estudio de la flora y vegetación acuáticas vasculares de la Cuenca Alta del Río Lerma, en el Estado de México. [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 157 pp.
Ramsar (2008). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2006-2008. Presa de Atlangatepec. Ramsar. México. 24 pp.
Ramsar (2012). Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR) – Versión 2009-2012. Presa Manuel Ávila Camacho (Presa Valsequillo). Ramsar. México. 34 pp.
Ramsar. (2015). Ficha informativa 3. Humedales: en peligro de desaparecer en todo el mundo. Convención sobre los Humedales. Ramsar. Suiza. 2 pp.
Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A. Aguirre-Mancilla, C. L. y Android-Enriquez, E. (2022). Lirio acuático (Eichhornia crassipes): una revisión. Agronomía Mesoamericana 33(1):1-13.
Rosique-Cañas, J. A. y Méndez-Cárdenas, S. A. (2013). Cuenca de México: megalópolis y biodiversidad en un hábitat en riesgo. Veredas 27:123-157.
Sánchez-Sánchez, C. A. (2010). Uso de hábitat y comportamiento de las aves en el humedal del Parque Ecológico Espejo de los Lirios, Cuautitlán Izcalli, Estado de México. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. México. 188 pp.
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2019). Programa de manejo Parque Nacional Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla. SEMARNAT y CONANP. México. 148 pp.
Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2020). Estudio técnico previo justificativo. Parque estatal Humedal de Valsequillo. SEMARNAT y Gobierno de Puebla. México. 119 pp.
Zepeda-Gómez, C., Lot, A., Nemiga, X. A. y Madrigal-Uribe, D. (2012). Florística y diversidad de las ciénegas del Río Lerma, Estado de México, México. Acta Botanica Mexicana 98:23-49.
Zepeda-Gómez, C. (2017). Nymphaeaceae. 139-153. pp. En: Lot, A. (Ed.). Plantas acuáticas mexicanas. Una contribución a la Flora de México. Volumen II. Dicotiledóneas Parte 1. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México.

Apéndice 1. Listado de hidrófitas, subacuáticas y tolerantes presentes en la Megalópolis de México.

Las especies están ordenadas por grupos botánicos y su afinidad al agua es: A) acuática estricta o hidrófita; S) subacuática y T) tolerante (López-Camarillo y Sánchez-Lara, en prensa). Los superíndices indican: N) nativa; INV) invasora; INT) introducida; E) endémica. Su estatus de conservación es: A) amenazada; y Pr) Sujeta a protección especial (DOF, 2010). Las abreviaturas para los humedales son: AAL) Antonio Alzate; ATXO) Canales de San Gregorio Atlapulco-Xochimilco; CLAR) Chignahuapan; CLC) Chimaliapan; CLSB) Chiconahuapan; CUEM) Antiguo canal de Cuemanco; ELI) San Elías; LIR) Espejo de los Lirios; MAR) Las Maravillas; MOC) Río Moctezuma; PDOL) Presa Dolores; PIR) Presa Ignacio Ramirez; PSM) Presa San Mateo; RAZ) Laguna de los Reyes Aztecas; SAG) San Agustín; SAL) Laguna de Salazar; SLT) San Lorenzo Toxico; SM) Salitre de Mafones; TEC) Laguna de Tecocomulco; TEX) Lago de Texcoco; TLAH) Lago de Tláhuac-Xico; TLAP) Laguna de Acuitlapilco; TOM) Santo Tomás; TUL) El Tular; VAL) Presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo); ZAC) Lago Acomantla; ZCA) Lago Compila; ZCO) Lago Acoyotongo; ZHU) Lago Hueyapan; ZJA) Joya de Atezcapan; ZQI) Lago Quila; ZTO) Lago Tonatiahua; ZUM) Lago de Zumpango; y ZZE) Lago Zempoala.

PTERYDOPHYTA

Equisetaceae Rich. ex DC.

Equisetum praealtum Raf. AN: ZAC, ZCO, ZTO, ZZE.

Isoetaceae Dumort.

Isoetes mexicana Underw. AN: ZJA, ZQI, ZTO, ZZE.

Marsileaceae Mirb.

Marsilea ancylopoda A. Braun AN: TEC, VAL.

Marsilea mutica Mett. AINT: ZUM.

Marsilea mollis B.L.Rob. & Fernald AN: LIR, CHIC, TUL, MAR.

Salviniaceae Martinov

Azolla caroliniana Willd. AN: TEC, TEX.

Azolla filiculoides subsp. cristata Kaulf AN: TUL, MAR, ELI, TOM, SAL, ZHU, ZQI, ZZE.

GYMNOSPERMAE

Cupressaceae Gray

Taxodium distichum (L.) Rich. AN: TEX.

Taxodium distichum var. mexicanum (Carrière) Gordon & Glend. AN: TEX, LIR, AXO, VAL, GREG.

MAGNOLIOPHYTA

LILIOPSIDA

Alismataceae Vent.

Sagittaria demersa J.G.Sm. AN: TEC.

Sagittaria latifolia Willd. AN: TUL, MAR.

ASagittaria macrophylla Zucc. AN: CHIM, TUL, MAR, ELI, LIR, TEX, AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR, TET.

Sagittaria trifolia L. AINT: TLAH.

Araceae Juss.

Lemna aequinoctialis Welw. AN: ZJA, ZCO, ZHU, ZTO, ZZE.

Lemna minor L. AN: LIR, ZCO, TEX, VAL, ZUM.

Lemna minuta Kunth A N: GREG.

Lemna obscura (Austin) Daubs AN: TUL, MAR, ELI, TOM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR.

Lemna valdiviana Phil. AN: XOCH.

Lemna gibba L. AN: LIR, SAL, TEC, ZHU, ZQI, AXO, TEX, AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, PIR.
Pistia stratiotes L. AN: MOC.
Wolffia brasiliensis Wedd. AN: SAL, TEC.
Wolffia columbiana H.Karst. AN: TEX, GREG.
Wolffiella gladiata (Hegelm.) Hegelm. AN: TUL, MAR, SAL.
Wolffiella lingulata (Phil.) Hegelm. AN: TUL, MAR, TEC, XOCH.
Wolffiella oblonga (Phil.) Hegelm. AN: AAL, PSM, SAG, SAG, PDOL, SLT, XOCH.
Commelinaceae Mirb.
Callisia purpurascens (S.Schauer) TN: MAR.
Commelina tuberosa L. TN: MAR, TOM.
Tinantia erecta (Jacq.) Schltdl. TN: CHIM.
Tripogandra purpurascens (S.Schauer) Handlos TN: CHIM.
Cyperaceae Juss.
Amphiscirpus nevadensis (S.Watson) Oteng-Yeb. AN: TEX.
Bolboschoenus maritimus (L.) Palla AN: TEX.
Carex hermannii Cochrane AN: ZTO, ZZE.
Carex obscuriceps Kük AN: ZAC, ZQI, ZZE.
Carex peucophila Holm SN: MAR.
Carex psilocarpa Steud. AN: ZQI, ZTO, ZZE.
Carex tuberculata Liebm. AN: TEX.
Carex turbinata Liebm. SN: MAR.
Cyperus acutiusculus Lag. SN: ZUM.
Cyperus esculentus L. TN: TEX.
Cyperus hermaphroditus (Jacq.) Standl. TN: MAR, ELI, TLAP.
Cyperus laevigatus L. TN: TEX.
Cyperus manimae var. manimae Kunth TN: MAR.
Cyperus melanostachyus Kunth AN: CHIM, ZJA, ZAC, ZQI, ZZE.
Cyperus semiochraceus Boeckeler SN: CHIC, TEX.
Eleocharis acicularis (L.) Roem. & Schult. AN: CHIM, CHIC, CHIG, TUL, MAR, ELI, SAL, ZJA, ZCO, ZCA, ZZE, ZUM.
Eleocharis bonariensis Ness SN: CHIM, CHIC, CHIG, TEX.
Eleocharis densa Benth. SN: CHIM, CHIG, TUL, ELI, ZQI, ZTO, ZZE.
Eleocharis dombeyana Kunth SN: CHIM, CHIG, ZZE, TEX, ZUM.
Eleocharis filiculmis Kunth AN: ZCO.
Eleocharis macrostachya Britton AN: CHIM, CHIG, TUL, MAR, ELI, TOM, ZQI, ZTO.
Eleocharis montana (Kunth) Roem. & Schult. SN. CHIM, CHIG.
Eleocharis montevidensis Kunth SN: MAR, ELI, TOM, ZQI, TEX, ZUM.
Schoenoplectus americanus (Pers.) Volkart AN: CHIM, CHIG, LIR, TEC, TEX, TLAH, MOC, ZUM.
Schoenoplectus californicus (C.A.Mey.) Soják AN: CHIM, CHIG, TUL, MAR, TOM, TEC, ZQI, ZTO, TEX, TLAH, ZUM.
Schoenoplectus lacustris (L.) Palla AINT: TEX.
Schoenoplectus pungens (Vahl) Palla AN: TEX.
Schoenoplectus tabernaemontani (C.C.Gmel.) Palla AN: CHIM, CHIG, MAR, XOCH, TLAH.
Schoenus nigricans L. AN: TEX.
Scirpoides mexicana (C.B.Clarke ex Britton) Goegth. ex C.S.Reid. & J.R.Carter TN: TOM.
Eriocaulaceae Martinov
Eriocaulon ehrenbergianum Klotzsch ex Körn. AN: ZTO, ZZE.
Eriocaulon microcephalum Kunth AN: ZTO, ZZE.
Juncaceae Juss.
Juncus acuminatus Michx. AN: TUL, MAR, ELI.
Juncus aemulans Liebm. SN: CHIC, ZUM.
Juncus arcticus Willd. SN: MAR, TLAP, TEX.
Juncus arcticus subsp. andicola (Hook.) Snogerup AN: ZJA, ZAC, ZQI, ZTO, ZZE.
Juncus balticus (Willd.) Balslev TN: TEX, ZUM.
Juncus bufonius L. TN: TUL.
Juncus ebracteatus Liebm. SN: CHIM, TUL, MAR, TOM, SAL.
Juncus effusus L. SN: TUL, MAR, ELI, TOM, LIR, TEX, ZUM.
Juncus imbricatus Laharpe TINT: TEX.
Juncus liebmannii J.F.Macbr. AN: TEX.
Juncus liebmannii var. liebmannii J.F.Macbr. AN: ZJA, ZAC, ZQI, ZTO, ZZE.
Juncus saximontanus (Engelm.) Balslev TN: ZUM.
Juncus tenuis Willd. SN: CHIC, MAR, TOM.
Juncus xiphioides E. Mey. SN: TEX.
Luzula denticulata Liebm. TN: TEX.
Juncaginaceae Juss.
Triglochin scilloides (Poir.) Mering & Kadereit AN: CHIM, TOM, TEC, ZCA, ZQI, ZZE, AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR, TET.
Poaceae Barnhart
Agrostis bourgaei E.Fourn. AN: ZQI, ZZE.
Arundo donax L. AN: LIR, TEX.
Cenchrus clandestinus (Hochst. ex Chiov.) Morrone TINT: ZZE, TLAP, AXO.
Dactylis glomerata L. TINT: MAR.
Diplachne fusca subsp. uninervia (J.Presl) P.M.Peterson & N.Snow SN: MAR.
Distichlis spicata (L.) Greene TN: TEX, MOC.
Echinochloa crus-galli (L.) P.Beauv. AINV: MAR, TOM, TEX.
Echinochloa holciformis (Kunth) Chase SN: CHIM, CHIC, CHIG, TUL, MAR, ELI, TOM, LIR, TLAP, AXO.
Echinochloa oplismenoides (Kunth) Chase SN: CHIM, CHIG, LIR.
Eleusine indica L. (Gaertn.) TINT: CHIM, CHIC, CHIG.
Glyceria fluitans (L.) R. Br. SINT: CHIM.
Glyceria striata (Lam.) Hitchc. SN: CHIM, ZJA, ZAC, ZQI, ZTO, ZZE.
Hordeum jubatum L. TN: TEX.
Kalinia obtusiflora (E.Fourn.) H.L.Bell & Columbus TN: TEX.
Leersia hexandra Sw AN: CHIM, TEX.
Louisiella elephantipes (Nees ex Trin.) Zuloaga AN: TEX, ZUM.
Luziola fluitans (Michx.) Terrell & H.Rob. AN: TUL, ELI, TOM, SAL.
Panicum repens L. SIN: TEX.
Paspalum distichum L. AN: LIR, TLAP.
Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steud AN: MOC.
Poa annua L. TINT: CHIM, SAL, ZCA, ZUM.
Polypogon interruptus Kunth TINT: TEX, ZUM.
Polypogon monspeliensis (L.) Desf. SINV: TEX.
Polypogon viridis (Gouan) Breistr. SINT: TEX, ZUM.
Sporobolus pyramidatus (Lam.) Hitchc. TN: TEX.
Symphyotrichum ericoides var. ericoides (S.F. Blake) G.L.Nesom TN: TEX.
Pontederiaceae Kunth
Heteranthera peduncularis Benth AN: TUL, SAL, VAL.

Pontederia crassipes Mart. AINT: SAL, CUEM, GREG, AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR.
Typhaceae Juss.
Typha domingensis Pers. AINT: XOCH, SLT, PIR.
Typha latifolia L. AN: TEX, CHIM, CHIC, ELI, TOM, LIR, TEC, ZAC, ZQI, ZZE, VAL, MOC, XOCH, TLAH, AAL, SM, PSM,, SAG, PDOL.
MAGNOLIOPHYTA
MAGNOLIOPSIDA
Aizoaceae Martinov
Sesuvium portulacastrum L. TN: TEX.
Sesuvium revolutifolium Ortega TN: TEX.
Trianthema portulacastrum L. TIN: TEX, ZUM.
Amaranthaceae Juss.
Amaranthus hybridus L. TN: CHIM, CHIC, CHIG.
Atriplex linifolia Humb. & Bonpl. ex Willd. TN: TEX.
Atriplex muricata Humb. & Bonpl. ex Willd. TN: TEX.
Atriplex patula L. TINT: TEX.
Atriplex suberecta I.Verd. TINT: TEX.
Chenopodiastrum murale (L.) S.Fuentes, Uotila & Borsch TINT: TEX.
Chenopodium album L. TINT: CHIM.
Oxybasis mexicana (Moq.) Sukhor. TN: TEX.
Suaeda edulis Flores Olv. & Noguez TN: TEX.
Apiaceae Lindl.
Berula erecta (Huds.) Coville AINT: CHIM, ELI, SAL, ZQI, ZZE, RAZ, ZUM.
Conium maculatum L. TINT: CHIC.
Eryngium carlinae F.Delaroche TN: TUL.
Lilaeopsis schaffneriana (Schltdl.) J.M.Coult. & Rose AN: CHIM, TEC, CHIC, CHIG, ZJA, ZAC, ZHU, ZQI, ZZE, TEX.
Tauschia decumbens (Benth.) J.M.Coult. & Rose ex Drude TN: TOM.
Araliaceae Juss.
Hydrocotyle bonariensis Comm. ex Lam. AN: ZCO, ZTO, ZZE.
Hydrocotyle ranunculoides L.f. AN: CHIC, CHIG, TUL, ELI, TOM, SAL, TEC, ZJA, ZHU.
Hydrocotyle verticillata Thunb. AN: CHIG, TEX.
Asteraceae Bercht. & J.Presl
Achillea millefolium L. TN: TUL, MAR, TOM.
Ageratina pazcuarensis (Kunth) R.M.King & H.Rob. TN: SAL, ZAC, ZHU, ZTO, ZZE.
Ambrosia artemisiifolia L. TINT: TEX.
Ambrosia peruviana Willd. TN: TEX.
Aster subulatus Michx. TN: CHIM, CHIC, CHIG.
Bidens aurea (Aiton) Sherff TN: TUL, MAR, TOM, ELI.
Bidens laevis (L.) Britton, Sterns & Poggenb. AN: ZHU, ZZE.
Bidens pilosa L. TN: TEX.
Erigeron bonariensis L. TN: TUL, MAR.
Erigeron canadensis L. TINT: TEX, ZUM, TUL, ELI, TOM.
Euphrosyne partheniifolia DC. SN: CHIM, CHIC, CHIG, TUL, MAR, TOM, TEX.
Galinsoga parviflora Cav. TN: CHIM.
Gamochaeta americana (Mill.) Wedd. TN: CHIM, CHIC.
Jaegeria bellidiflora (Moc. & Sessé ex DC.) A.M. Torres & Beaman AE: CHIM, CHIC, CHIG, TUL, TOM, TEX, TLAH, ZUM.
Jaegeria glabra (S. Watson) B.L. Rob. AN: CHIM, CHIC, CHIG, ELI, TEC.
Melampodium bibracteatum S. Wats. SN: CHIM, CHIC, CHIG.
Osbertia stolonifera (DC.) Greene AN: TUL.
Packera toluccana (DC.) W.A. Weber & Á.LöveTN: ZQI, ZZE.
Pseudognaphalium canescens (DC.) Anderb. TN: TOM.
Pseudognaphalium luteoalbum (L.) Hilliard & B.L.Burtt TINT: CHIM, CHIC, CHIG, TLAP.
Soliva anthemifolia (Juss.) Sweet SINT: CHIM, CHIC.
Sonchus oleraceus L. TINT: CHIM, CHIC.
Symphyotrichum expansum (Poepp. ex Spreng.) G.L.Nesom SN: TEX.
Tagetes pringlei S.Watson SE: TUL, ELI.
Boraginaceae Juss.
Heliotropium curassavicum L. TN: TEX, ZUM.
Brassicaceae Burnett
Cardamine bonarensis var. flaccida (Cham. & Schltdl.) J.F.Macbr. AN: SAL, ZJA, ZCO, ZHU.
Nasturtium officinale W.T.Aiton AN: ZJA, ZAC, ZCO, ZQI.
Rorippa mexicana (Moc. & Sessé) Standl. SN: ZQI, ZTO, ZZE, TEX, CHIG.
Rorippa pinnata (Sessé & Moc.) Rollins SN: CHIM, CHIC, CHIG, TUL.
Campanulaceae Juss.
Lobelia cardinalis L. AN: ZAC, ZTO, ZZE.
Caryophyllaceae Juss.
Arenaria bourgaei Hemsl. SE: CHIM, CHIC, CHIG, ZQI, ZZE, TEX, SAL, ZAC, ZCO.
Arenaria paludicola B.L.Rob. AN: CHIM, CHIC, CHIG, ZJA, ZAC, ZQI, ZZE.
Drymaria glandulosa Bartling TN: CHIM, CHIC, CHIG.
Drymaria villosa Schltdl. & Cham. TN: CHIM, CHIG, ZCO, MAR, TOM.
Sagina saginoides H.Karst. TN: TUL, ELI.
Ceratophyllaceae
Ceratophyllum demersum L. AN: TEX, SAL, RAZ, AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR.
Commelinaceae Mirb.
Commelina tuberosa L. TN: MAR, TOM.
Tinantia erecta (Jacq.) Schltdl. TN: CHIM.
Tripogandra purpurascens (S.Schauer) Handlos TN: CHIM, MAR.
Convolvulaceae Juss.
Dichondra sericea Sw. TN: CHIC.
Crassulaceae J.St.-Hil
Crassula aquatica (L.) Schönland AINT: ZTO.
Crassula viridis (S.Watson) M.Bywater & Wickens AINT: ELI, TOM.
Crassula saginoides (Maxim.) M.Bywater & Wickens SINT: CHIG, CHIM, CAL, CHIC.
Umbilicus rupestris (Salisb.) Dandy TINT: MOC.
Elatinaceae Dumort
Elatine americana (Pursh) Arn. AN: TEC.
Euphorbiaceae Juss.
Euphorbia nutans Lag. TINT: CHIM, CHIC, CHIG.
Fabaceae Lindl.
Trifolium pratense L. TINT: TUL, TEX.
Trifolium repens L. TINT: TUL.
Trifolium wormskioldii var. wormskioldii Lehm. SN: TUL, SAL, ELI, TOM.
Gentianaceae Juss.

Gentiana bicuspidata (G.Don) Briq. TN: MAR, ELI, TOM.
PrGentiana spathacea Kunth TN: TLAH.
Geraniaceae Juss.
Geranium latum Small. TN: CHIC.
Haloragaceae R.Br.
Myriophyllum aquaticum (Vell.) Verd. AINT: TUL, TOM, SAL, ZCO, CUEM, ZUM.
Myriophyllum heterophyllum (Vell.) Verdc. AINT: CHIM, CHIC, ZTO.
Myriophyllum hippuroides Nutt AN: TEX.
Myriophyllum pinnatum (Walter) Britton, Sterns & Poggenb. AN: TUL, MAR, ELI.
Hydrocharitaceae Juss.
Elodea densa (Planch.) Casp. AINT: SAL, ZHU, ZTO, ZZE, XOCH, AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR.
Hydrocharis laevigata (Humb. & Bompl. ex Willd) Byng & Christenh. AN: TUL, LIR, TLAH, CUEM, NAT.
Najas guadalupensis (Spreng.) Magnus AN: TUL, ELI, TEC, CHIM, CHIG.
Iridaceae Juss.
Sisyrinchium convolutum Nocca TN: CHIM.
Sisyrinchium scabrum Schltdl. & Cham. TN: ZQI, ZZE.
Sisyrinchium tolucense Peyr. TE: ZQI, ZZE.
Tigridia augusta Drapiez TE: MAR, TOM.
Lentibulariaceae Rich.
Utricularia gibba L. AN: TUL, ELI, TEC, ZUM.
Utricularia livida E.Mey. AN: ZZE, ZTO.
Utricularia vulgaris L. AINT: TEC.
Lythraceae J.St.-Hil.
Lythrum alatum Pursh SN: TEX.
Malvaceae Juss.
Malva parviflora L. TINT: CHIC, CHIG.
Menyanthaceae Dumort.
Nymphoides fallax Ornduff AINT: CHIM, TUL, ELI, TEC, CHIG.
Nymphaeaceae Salisb.
ANymphaea gracilis Zucc. AN: TUL, ELI, LIR, CHIM, CHIC.
ANymphaea mexicana Zucc. AN: TLAH.
ANymphaea odorata Aiton AN: XOCH.
Oleaceae Hoffmanns. & Link
Fraxinus uhdei (Wenz.) Lingelsh. TN: TLAH.
Onagraceae Juss.
Epilobium ciliatum Raf. SN: CHIM, CHIG, MAR, TOM, SAL.
Epilobium ciliatum subsp. ciliatum Raf. AN: TEX, ZJA, ZCO, ZQI, ZTO, ZZE.
Ludwigia adscendens subsp. adscendens (L.) H.Hara AINT: TEC.
Ludwigia adscendens subsp. diffusa (Forssk.) P.H.Raven AINT: TEX.
Ludwigia palustris (L.) Elliott AN: ZZE.
Ludwigia peploides (Kunth) Raven AN: CHIM.
Oenothera suffrutescens (Moc. & Sessé ex Ser.) TN: ZUM.
Orobanchaceae Vent.
Pedicularis mexicana Zucc. ex Benth. SN: ZJA, ZAC, ZQI, ZZE.
Orchidaceae Juss.
Spiranthes graminea Lindl. AN: ZAC, ZQI, ZTO, ZZE.
Oxalidaceae R.Br.
Oxalis corniculata L. TINT: CHIM, CHIG.
Phrymaceae Schauer
Erythranthe glabrata (Kunth) G.L.Nesom SN: TOM, ZJA, ZCO, ZCA, ZHU, ZQI, ZTO, ZZE, TEC.
Plantaginaceae Juss.
Bacopa monnieri (L.) Wettst. AN: ELI, TEX.
Callitriche heterophylla Pursh AN: TUL, MAR, ELI.
Callitriche deflexa A. Braun ex Hegelm. AN: CHIG, CHIM, CHIC, TUL, MAR, ELI, TOM.
Mecardonia procumbens (Mill.) Small SN: TOM.
Plantago major L. TINT: CHIM.
Veronica peregrina L. TN: ELI, CHIM, SAL.
Veronica americana (Raf.) Schwein. ex Benth. SN: TEX, SAL, ZJA, ZCO, ZQI, ZTO, ZZE.
Potamogetonaceae Bercht. & J.Presl
Potamogeton pusillus L. AN: XOCH, TUL, ELI, ZCA, ZQI, ZTO, ZZE.
Potamogeton crispus L. AINT: ZTO.
Potamogeton foliosus Raf. AN: AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR.
Potamogeton foliosus subsp. foliosus Raf. AN: TEC.
Potamogeton illinoensis Morong AN: TEC, ZQI, ZZE, ZUM.
Potamogeton nodosus Poir. AN: TEC, ZUM.
Stuckenia filiformis (Pers.) Börner AN: TEC.
Stuckenia pectinata (L.) Börner AN: XOCH, TEC, TEX, AAL, SM, PSM, SAG, PDOL, SLT, PIR, LSAB.
Zannichella palustris L. AN: TEC, TEX.
Polygonaceae Juss.
Persicaria amphibia (L.) Delarbre AN: TOM, TEC, ZTO, ZZE.
Persicaria hydropiperoides (Michx.) Small AN: CHIC, CHIG, TUL, MAR, ELI, TOM, SAL, ZCA, ZHU, ZTO.
Persicaria lapathifolia (L.) Delarbre SN: CHIM, CHIG, MAR, TOM, TEC, LIR.
Persicaria maculosa Gray AINT:ZUM.
Persicaria maculosa var. maculosa Gray TINT: RAZ.
Persicaria pensylvanica L. TINV: ZUM.
Persicaria pubescens (Blume) H.Hara AN: TEX.
Persicaria punctata (Elliott) Small SN: CHIM, CHIG, TUL, MAR, ELI, TOM, LIR, TEC, ZJA, ZAC.
Persicaria segetum (Kunth) Small AN: CHIM, CHIG, TUL, MAR, TOM, SAL, ZCO, ZCA, ZHU, ZZE.
Rumex acetosella L. TINT: TUL, SAL, MAR.
Rumex conglomeratus Murray TINT: MAR, TOM.
Rumex crispus L. SINV: TEX.
Rumex dentatus L. TINT: TOM.
Rumex flexicaulis Reichb. f. TN: CHIM, CHIG.
Rumex mexicanus Meisn. TN: MAR, TEX.
Rumex obtusifolius L. TINT: CHIM.
Rumex palustris Sm. SINT: TEX.
Portulacaceae Juss.
Portulaca oleracea L. TINT: CHIM.
Primulaceae Batsch ex Borkh.
Lysimachia minima (L.) U.Manns & Anderb. AN: ZJA, ZZE.
Ranunculaceae Juss.
Halerpestes cymbalaria (Pursh) Greene SN: CHIG, TEX, XOCH.
Ranunculus dichotomus Moc. & Sessé ex DC. AN: CHIM, CHIG, TOM, SAL,

ZAC, ZCO, ZHU, ZQI, ZTO, ZZE.
Ranunculus donianus Pritz. TN: TEX.
Ranunculus hydrocharoides A.Gray. AN: ZQI, ZTO, ZZE, TEX.
Ranunculus schmalhausenii Luferov AN: TEX.
Ranunculus trichophyllus Chaix. AN: CHIM, TEC, ZHU, ZQI, ZZE.
Ruppiaceae Horan.
Ruppia maritima L. AN: TEX.
Salicaceae Mirb.
Salix alba L. TINT: LIR.
Salix babylonica L. TINT: TUL, MAR, LIR.
Salix bonplandiana Kunth TN: TEX, TLAH, ZUM.
Salix paradoxa Kunth TN: TEX.
Scrophulariaceae Juss.
Gratiola oresbia B.L.Rob. AN: ZQI.
Limosella aquatica L. AN: ELI, TOM, CHIM, CHIG, TEC, ZZE.
Solanaceae Juss.
Calibrachoa parviflora Juss. SN: ZUM.
Jaltomata procumbens (Cav.) J.L. Gentry TN: CHIM, CHIG.
Nierembergia angustifolia Kunth SN: CHIM, TOM, TEX.
Petunia parviflora (Juss.) D'Arcy TINT: TEX.
Physalis sulphurea (Fernald) Waterf. TN: TOM.
Solanum rostratum Dunal. TN: CHIC, CHIG.
Urticaceae Juss.
Urtica dioica L. TINT: CHIM, CHIC, CHIG, MAR, TOM.
Urtica dioica var. holosericea Fr. TN: TEX.
Verbenaceae J.St-Hil
Phyla nodiflora (L.) Greene TN: TEX.
Verbena bipinnatifida Nutt. TN: CHIG.
Verbena litoralis Kunth TN: CHIM, TOM.

Apéndice 2. Humedales de la Megalópolis de México.
Las abreviaturas para los humedales son: AAL) Antonio Alzate; ATXO) Canales de San Gregorio Atlapulco-Xochimilco; CLAR) Chignahuapan; CLC) Chimaliapan; CLSB) Chiconahuapan; CUEM) Antiguo canal de Cuemanco; ELI) San Elías; LIR) Espejo de los Lirios; MAR) Las Maravillas; MOC) Río Moctezuma; PDOL) Presa Dolores; PIR) Presa Ignacio Ramirez; PSM) Presa San Mateo; RAZ) Laguna de los Reyes Aztecas; SAG) San Agustín; SAL) Laguna de Salazar; SLT) San Lorenzo Toxico; SM) Salitre de Mafones; TEC) Laguna de Tecocomulco; TEX) Lago de Texcoco; TLAH) Lago de Tláhuac-Xico; TLAP) Laguna de Acuitlapilco; TOM) Santo Tomás; TUL) El Tular; VAL) Presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo); ZAC) Lago Acomantla; ZCA) Lago Compila; ZCO) Lago Acoyotongo; ZHU) Lago Hueyapan; ZJA) Joya de Atezcapan; ZQI) Lago Quila; ZTO) Lago Tonatiahua; ZUM) Lago de Zumpango; y ZZE) Lago Zempoala.

AAL: Toluca, México; 19.416700 y -99.700000
ATXO: Cuenca de México, CDMX; 19.270107 y -99.057982
CLAR: Toluca/Santiago Tianguistenco, México; 19.154007 y -99.493097
CLC: Toluca/Santiago Tianguistenco, México; 19.239719 y -99.503242
CLSB: Toluca, México; 19.355296 y -99.503943
CUEM: Cuenca de México, CDMX; 19.273090 y -99.104940
ELI: Toluca, México; 19.406790 y -99.686486
LIR: Cuenca de México, México; 19.651327 y -99.220164
MAR: Toluca, México; 19.406000 y -99.693181
MOC: Cuenca de México, CDMX; 19.251710 y -99.093243
PDOL: Toluca, México; 19.383300 y -99.750000
PIR: Toluca, México; 19.433300 y -99.750000
PSM: Toluca, México; 19.433300 y -99.600000
RAZ: Cuenca de México, CDMX; 19.266404 y -99.008942
SAG: Toluca, México; 19.383300 y -99.683300
SAL: Toluca, México; 19.303415 y -99.388175
SLT: Toluca, México; 19.433300 y -99.816700
SM: Toluca, México; 19.270000 y -99.942000
TEC: Tulancingo, Hidalgo; 19.860948 y -98.391978
TEX: Cuenca de México, México; 19.473598 y -98.970655
TLAH: Cuenca de México, CDMX/Estado de México; 19.259265 y -98.975570
TLAP: Puebla-Tlaxcala/Tlaxcala Apizaco, Tlaxcala; 19.276599 y -98.226931
TOM: Toluca, México; 19.416463 y -99.697215
TUL: Toluca, México; 19.412052 y -99.682774
VAL: Puebla-Tlaxcala, Puebla; 18.911453 y -98.110427
ZAC: Puebla-Tlaxcala, Tlaxcala; 19.198523 y -98.250394
ZCA: Cuernavaca, Morelos; 19.053872 y -99.313736
ZCO: Cuernavaca, Morelos; 19.061944 y -99.316667
ZHU: Tulancingo, Hidalgo; 20.026884 y -98.280906
ZJA: Cuernavaca, Morelos; 19.040556 y -99.306944
ZQI: Cuernavaca, Morelos; 19.075450 y -99.316300
ZTO: Cuernavaca, Morelos; 19.055278 y -99.316667
ZUM: Cuenca de México, México; 19.766344 y -99.129660
ZZE: Cuernavaca, Morelos; 19.050299 y -99.314110

27 Justicia hídrica restaurativa: una propuesta analítica para el estudio de los ríos contaminados

Jessica Estefania Jimenez Montoya

Universidad Nacional Autónoma de México (jessica90.estefani@gmail.com).
Doctorante del Programa de Posgrado en Estudios Latinoamericanos.

Resumen

La polución hídrica constituye uno de los principales desafíos a los que se enfrentan las megalópolis. El presente trabajo es un ejercicio prospectivo que reflexiona sobre cómo la perspectiva de justicia hídrica restaurativa puede contribuir al estudio de los casos de contaminación en los ríos. En principio porque explora las condiciones que sustentan y perpetúan la problemática. Un aspecto central es que convoca a distinguir entre la resolución del problema y la resolución del conflicto, planteándose la primera como horizonte. De este modo, pone en cuestión los enfoques dirigidos a gestionar y, en consecuencia, mantener la polución en los cuerpos de agua.

Tal como aquí se propone, la justicia hídrica restaurativa puede potenciar la Gestión Integral del Agua en un ámbito territorial megapolitano. En primer lugar, al comprender el problema de contaminación del agua como proceso histórico, su resolución pasa por un enfoque preventivo y de atención a las causas raíz. De modo que la reparación del daño como práctica de la justicia pasa necesariamente por la protección y recuperación de los ecosistemas vitales. En este sentido, posibilita la revisión, reflexión y fortalecimiento de los planes de justicia para los ríos y para las comunidades afectadas más allá de los límites territoriales, guiado, por ejemplo, por las dinámicas megapolitanas.

En esa tesitura, el capítulo desarrollará una propuesta analítica multidimensional de la contaminación de los ríos. Se trata de comprender las raíces políticas, económicas, sociales, culturales y ambientales de un problema que se acentúa, en busca de una visión que aspire a mirar el conjunto. Las nuevas formas de mirar "viejos problemas" permiten replantear, profundizar o complementar procesos de emancipación socioambiental frente a esta problemática caracterizada por su complejidad.

Desde esta perspectiva, las experiencias gubernamentales de recuperación de ríos en las megalópolis han tenido un alcance limitado, superficial o simulado. La visión dominante que coloca a los vertidos y la falta de tratamiento como causas de la contaminación constituye una renuncia teórica a explicar su complejidad. En consecuencia, se perpetúa el problema al proponer plantas de tratamiento como solución unívoca. De aquí que tendencialmente los ríos y las comunidades afectadas no estén en el centro de la reparación del daño.

Introducción

¿Cómo conocer, comprender y resolver el problema creciente de contaminación en los ríos que fluyen por la Megalópolis de México? ¿Cuál es la relación que se establece entre la justicia hídrica restaurativa, la gestión integral del agua y la resolución de la contaminación de los ríos? ¿Por qué la justicia hídrica restaurativa puede contribuir a la gestión integral del agua? En este documento se invita a dar un paso atrás para replantear, desde una mirada crítica, la forma en que se analizan y comprenden los procesos de contaminación en los ecosistemas acuáticos, particularmente en los ríos, así como reelaborar su correlato en el horizonte de una transformación liberadora.

Y es que la contaminación hídrica está directamente relacionada con la escasez de agua limpia. En la actualidad el acceso al agua sigue siendo un problema central a escala mundial. Se proponen alternativas para trasvasar el agua, desalarla, captarla o digitalizarla pero pocas apuntan a la recuperación de ecosistemas acuáticos, pocas señalan los procesos de polución como origen de la escasez de agua digna.

No solo es el acaparamiento y la sobreexplotación sino también la contaminación. Se ha naturalizado que las franjas más empobrecidas además de care-

cer de agua apta para consumo humano, también se enfrentan a las consecuencias sociales y ambientales de la polución.

Las reflexiones aquí vertidas forman parte del proceso de investigación doctoral, donde se diseñó una propuesta analítica para el estudio de dos casos de polución hídrica en la región latinoamericana. Para este escrito, el ejercicio no solo es expositivo sino también analítico, a la luz de mirar la relación que se establece entre la justicia hídrica restaurativa, la contaminación de ríos y la gestión integral del agua en las megalópolis.

Para responder a las preguntas iniciales, el capítulo se estructura en tres partes. La primera, denominada "Justicia hídrica restaurativa, megalópolis y gestión integral del agua: hilando fino", plantea algunas problemáticas relacionadas con la contaminación de los ríos en la megalópolis de México, v. gr. la ausencia de una visión megapolitana en la gestión del agua y, en particular, el carácter secundario que la agenda hídrica ocupa en la acotada planeación de la Megalópolis. En este apartado se explica la categoría y propuesta conceptual de Justicia Hídrica Restaurativa para después establecer la conexión con la Gestión Integral del Agua. La segunda parte "Una propuesta analítica de la Justicia Hídrica Restaurativa" se esclarece por qué y cómo se propone explorar la dimensión política, económica, social, cultural y ambiental de la polución en los ríos. Por último, en el apartado "A manera de conclusión" se disertará brevemente en torno a las oportunidades que la perspectiva de justicia hídrica restaurativa presenta para la gestión integral del agua en las megalópolis respecto con el problema de contaminación de los ríos, de vital importancia para la sustentación de toda forma de vida.

Justicia hídrica restaurativa, megalópolis, contaminación de ríos y gestión integral del agua: hilando fino

Conocer, comprender y atender la contaminación hídrica en la gestión megapolitana es fundamental. Pese a las devastadoras consecuencias, la polución del agua no ha sido tema prioritario en el orden jurídico internacional, nacional, local ni en las planeación y programación gubernamental. Aunque comparte un origen sistémico, recibe menor atención que la contaminación atmosférica. A contracorriente de esta tendencia, una mirada integral desde la justicia hídrica restaurativa permite identificar v. gr. las relaciones sinérgicas entre las distintas formas de contaminación para diseñar y ejecutar intervenciones que correspondan a esa visión de la totalidad.

Quienes habitan las megalópolis latinoamericanas se han habituado a convivir con ríos enfermos, apresados u ocultados. Desde la época de la conquista se instaló en la subjetividad de la población la concepción de los ríos como cloacas, como "cuerpos receptores de desechos". Esa idea sigue vigente y se actualiza de distintas formas, por ejemplo, institucionalizando la contaminación mediante el principio "el que contamina paga", donde los ríos considerados objetos, no se identifican como afectados, a quienes el dinero no restaura su salud ni su derecho a fluir en libertad.

A continuación se propone observar el vínculo entre la justicia hídrica restaurativa, la gestión integral del agua, la megalópolis y la contaminación en los ríos. El objetivo se aterriza en el análisis de la Comisión Ambiental de la Megalópolis y su relación con el agua.

El agua en la gestión de la megalópolis de México: una mirada crítica

La palabra megalópolis deriva del griego Μεγάλη (Megáli) -gran- πόλις (pólis) -ciudad, es decir, una gran ciudad. Se define como "el conjunto de áreas metropolitanas, cuyo crecimiento urbano acelerado lleva al contacto del área de influencia de una con las otras"(Comisión Ambiental de la Megalópolis [CAM], 2018). Si se remonta a 1961, año en que fue acuñado el término por el geógrafo Jean Gottmann, también hace referencia a un sistema urbano con una población igual o superior a los 10 millones de habitantes. Por su parte, la Real Academia Española la define como "ciudad gigantesca". Esta última acepción le relaciona con palabras como aglomeración humana y caos.

En el mundo hay 33 megalópolis, entendidas como aquellas aglomeraciones urbanas que superan los 10, 000, 000 de habitantes (Buzai, 2020). La de México es una de las concentraciones urbanas más grandes en la región latinoamericana, junto con la de Brasil y Argentina. Hacia 2018 se estimaron 32 millones de personas, habitando los 240 municipios en 14 metrópolis. Estas cifras son significativas y

de mayor impacto en una región caracterizada por el despojo de sus bienes naturales, la concentración de la riqueza en el 10% de la población (United Nation Habitat, 2022, p. 78) y la consecuente desigualdad política, económica, social, cultural y ambiental.

Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAM) es el nombre del órgano de coordinación a cargo de planear y ejecutar programas, proyectos y acciones en materia de protección al ambiente, preservación y restauración del equilibrio ecológico en la Megalópolis de México (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2013). Su trayectoria ejemplifica el avance en una perspectiva que trasciende límites territoriales y promueve acciones conjuntas, al mismo tiempo exhibe el pendiente histórico que representa la justicia para los cuerpos de agua, para las comunidades afectadas por la contaminación y para los movimientos y organizaciones sociales que han pugnado por su resolución.

Casi tres décadas han transcurrido desde que se nombró por primera vez la megalópolis del centro de México en el Programa General de Desarrollo Urbano. Once años desde que, mediante convenio, se creó la CAM para coordinar esfuerzos entre el gobierno federal a través de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los gobiernos estatales del Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Tlaxcala y la Ciudad de México (entonces Distrito federal) a fin de "enfrentar la problemática de calidad del aire y otros temas ambientales en la zona centro de México" (DOF, 2013).

Un año antes de la creación de la CAM, el 08 de febrero de 2012, se marcó un hito con la reforma al párrafo sexto del artículo 4to constitucional que reconoció los derechos humanos al agua y al saneamiento, ya que mandató un cambio de paradigma en la gestión del bien hídrico. Sin embargo, tras su publicación prevaleció la concepción solo como servicio público de agua potable y drenaje. Así lo manifiesta la CAM desde su creación y su enfoque de trabajo durante poco más de una década.

En el informe por sus 10 años de trabajo la CAM proyecta dos alertas hídricas hacia el año 2050: el decremento de la capacidad de tratamiento de Toluca-Tinaguistengo y la insuficiencia de redes de suministro e inundaciones para Querétaro-San Juan del Río (CAM, 2024). Destacan 4 proyectos de diagnóstico a cargo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para enfrentar la contaminación de la región de Tula y de la presa Endhó que ayudaron a la Declaratoria de zona de restauración ecológica de la región de Tula y a la visualización de la restauración ecológica de la región en torno a la presa Endhó. Reactivaron la red piezométrica y de calidad del acuífero Valle del Mezquital (sugirieron 60 puntos de muestreo); desarrollaron una propuesta para mejorar la calidad del agua en el embalse; talleres de diagnóstico comunitario; y sistema de acuaponia en 10 comunidades ribereñas (CAM, 2024).

La pandemia por Covid-19 dejó un aprendizaje colectivo vital: el agua limpia es un baluarte esencial para crear, proteger, honrar y sustentar la vida. No obstante, el tema central en la CAM siguió siendo la calidad del aire. La CAM se enfoca en indicadores como el incremento poblacional, el consumo hídrico y la capacidad de tratamiento (CAM, 2024), no contempla aquellos asociados a la contaminación.

Los programas y acciones megapolitanas en materia de contaminación atmosférica son encomiables. A pesar de ello, no hay simil en temas de agua y su contaminación. La ruta que ha trazado la preocupación atmosférica en la megalópolis de México puede orientar el avance en materia hídrica, especialmente frente a la contaminación de cuerpos de agua. Con la consideración de las facultades y atribuciones correspondientes, a continuación se enlistan 12 propuestas en materia hídrica, en relación con los programas y acciones impulsados por la CAM y algunas de la Ciudad de México:

1. Sistema megapolitano de monitoreo de calidad del agua
2. Sistema de Monitoreo hídrico de la Ciudad de México
3. App Agua de la CDMX
4. Programa de contingencias ambientales hídricas
5. Seguimiento y reporte diario de contaminación
6. Programa para el fortalecimiento de las capacidades de monitoreo de la calidad del agua en la megalópolis
7. Informe semanal de vigilancia epidemiológica Calidad del Agua y Salud
8. Vigilancia de padecimiento a través de 200 unidades centinela que notifican al Sistema Único Automatizado de Vigilancia Epidemiológica
9. Grupos de trabajo de verificación empresarial, comercial y municipal para armonizar criterios,

otorgar hologramas y modificar normativas en materia de gestión de residuos y vertidos en cuerpos de agua
10. Campañas pro empresas, comercios y municipios hídricamente responsables para la detección y sanción de empresas y comercios ostensiblemente contaminantes con sensores remoto
11. Evaluación integral externa a los Programas de Verificación empresarial, comercial y municipal Obligatoria Federal y local en la megalópolis
12. Herramientas de pronóstico de calidad del agua

El subrepticio problema de la contaminación hídrica

El conocimiento y comprensión a profundidad de la problemática es una condición vital para su resolución. Se estima que el 90% de las niñas y niños del mundo respiran aire tóxico (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018). Sin embargo, no se tiene registro de ese dato relacionado al problema de polución hídrica.

Se sabe que cerca de 1000 niños y niñas mueren todos los días a causa de enfermedades diarreicas asociadas con agua potable contaminada, saneamiento deficiente o malas prácticas de higiene (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [Unicef], 2024), que en 16 países en condiciones de guerra las niñas y niños menores de cinco años "tienen 20 veces más probabilidades de morir por enfermedades por agua insalubre y saneamiento deficiente que por la guerra" (Unicef, 2019). Las estadísticas sobre mortalidad expresan la urgencia de atender un problema poco visibilizado, pero representan solo un aspecto de un problema mayor y complejo. Los datos que no existen, también significan. Entre las estadísticas invisibilizadas se encuentra el daño producido por el agua contaminada (por contacto o interacción) a las personas bebés y de la primera infancia porque en sus pulmones, órganos y cerebro, en incipiente desarrollo, impacta de manera atroz. Tampoco se ha estudiado o diagnosticado el efecto acumulativo de las distintas formas de contaminación en el desarrollo, salud y vida de las personas.
Ausencia de información, transparencia y rendición de cuentas forman parte de las condiciones que explican la polución hídrica. La mayoría de las estadísticas sobre el tema vienen de organismos internacionales, lo cual implica una visión externa, general y da cuenta de la necesidad de autoconocimiento, al que apelaba René Zavaleta, entendido como el conocimiento de las determinaciones internas y externas.
En 2022, al mencionar las injusticias ambientales para grupos vulnerables y marginados, así como la intensificación de la toxificación del planeta y las personas, Naciones Unidas alertó que "la contaminación mata a nueve millones de personas al año, el doble que el COVID-19". El informe destacó la obligación de los Estados y empresas para prevenir y sanear lugares contaminados, del mismo modo que eliminar el uso de sustancias tóxicas (Asamblea General de Naciones Unidas, 2022).

Naciones Unidas califica como "fallo del mercado" la pobreza, exclusión y discriminación en la población que está más expuesta a la contaminación (Asamblea General de Naciones Unidas, 2022). Una perspectiva crítica diría que no es un error sino la lógica que subyace a la raíz sistémica del problema de contaminación donde "en proporciones catastróficas, las empresas maximizan beneficios mientras externalizan costos sanitarios y ambientales a las comunidades vulnerables y marginadas".

Tendencialmente, la confianza mundial en la seguridad del agua es baja, una de cada dos personas cree que sus fuentes de agua podrían causar daños graves si se consumiera (Miller, 2014). Es probable, que la confianza mejore si se generan condiciones materiales para la justicia hídrica restaurativa en los ríos y comunidades afectadas por la contaminación, si se tuviera certeza de que está mejorando la salud de las fuentes de agua. La responsabilidad del gobierno y de las empresas frente al problema constituye un primer indicador.

La contaminación hídrica no es un problema reciente, pero su incesante agudización motiva a replantear las formas de aproximación del sujeto cognoscente. Los distintos sectores responden de forma diversa al por qué se produce esta polución. La perspectiva empresarial lo atribuye a plantas de tratamiento rebasadas por el crecimiento poblacional y desactualizadas en tecnología, su respuesta: innovación tecnológica. Los organismos internacionales, en coincidencia con las corporaciones, proponen asignar un valor económico a la naturaleza, convertirla en activo financiero porque "se cuida lo que se paga". Los movimientos y organizaciones sociales resaltan el daño causado por los vertidos industriales, la opacidad de actores gubernamentales y una regulación laxa. Las campañas de concientización desde corporaciones

y gobiernos se concentran en miradas superficiales expresadas en ideas como: “todos contaminamos”, “no tiremos basura”.

La inteligencia artificial merece una atención puntual. En tiempos de drones o robots que identifican fugas (aún no puntos de descarga contaminantes), cabe reflexionar sobre el sentido de su uso. Mientras se convoca a la participación social o ciudadana, reiteradamente se han ignorado las denuncias, las manifestaciones sociales, las muestras de deterioro en la salud de la población y de los ríos afectadas por el acaparamiento, sobreexplotación y/o contaminación del agua ¿La inteligencia artificial sustituye o complementa la participación? ¿La inteligencia artificial podría tener un sentido de justicia?

¿Por qué reflexionar en torno a la justicia hídrica restaurativa?

Desde la antigüedad se reflexionaba sobre la justicia y el agua. Platón, por ejemplo, expresaba:
Aquel que corrompa el agua ajena, agua de manantial o de lluvia o la desvié de su cauce, además de la reparación del daño tendrá que limpiar las fuentes de agua o depósito, según las exigencias de los casos y las personas (Las leyes, libro VIII, como se citó en Tortolero, 2000).

Sin embargo, fue hasta el desarrollo industrial que la contaminación del agua junto con el aire se aceleró. En México, a mediados y finales del siglo XX esta problemática ya se visualizaba como amenaza para las grandes urbes (Cohen, 1999), sugiriendo evitar lo más posible la polución (Santillán, 1969).

La Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE, por sus siglas en inglés) propuso en 1972 el principio “el que contamina paga” como respuesta a los problemas de contaminación. Se trata de un constructo economicista y una solución de mercado que a la luz de los años ha demostrado no solo su ineficacia para evitar o reducir el problema sino, a partir de su incorporación al orden jurídico de los países latinoamericanos, la inauguración de un proceso de institucionalización de la contaminación hídrica.

Pagar por dañar al agua no resuelve el problema ni atiende necesariamente la afectación a comunidades, animales, vegetación y ríos. En principio porque no se estudian a cabalidad las múltiples expresiones del daño ni las causas multidimensionales que lo explican. En segundo lugar, porque pertenece al ámbito de la justicia punitiva dirigida exclusivamente al castigo como mecanismo disuasorio. Esto es, ni se repara el daño, ni se resuelve el problema.
Pensar en la justicia restaurativa convoca a desvelar las relaciones de poder, las asimetrías, la desigualdad, la discriminación; en materia hídrica estás condiciones se expresarían, por ejemplo en:

- Nombrar a todas las personas contaminadoras reconocer escalas o niveles de responsabilidad.
- Convocar tabula rasa a la reuso del agua, mientras franjas empobrecidas disponen de agua insuficiente y de mala calidad.
- Campañas de cultura del agua dirigidas exclusivamente a uso doméstico

Las relaciones de poder, la desigualdad, la asimetría y discriminación no solo se manifiestan en la distribución, suministro y acceso desigual al agua apta para consumo humano sino en la socialización de las pérdidas de esa agua limpia causada por los procesos de contaminación.

Justicia Hídrica Restaurativa como categoría conceptual

La Justicia Hídrica Restaurativa [JHR] implica conocer y comprender a profundidad el problema que pretende resolverse. Se trata de un enfoque orientado no tanto a la resolución del conflicto como sí a la resolución del problema, como una condición mínima para la reparación del daño.

En esta propuesta de JHR se retoma la ruta epistemológica elaborada por René Zavaleta Mercado en tres sentidos. La primera, que en un horizonte emancipatorio, en este caso social y ambiental, es necesario comprender para conocer y conocer para transformar. La segunda, que es necesario el autoconocimiento, la autorreflexión (como país, como megalópolis, como ciudad, como comunidad). El tercero, pensado para el concepto de autodeterminación pero también vigente, es reflexionar cómo elaborar el propio objetivo en el seno de las determinaciones externas y también internas. Se trata de un pensamiento valioso para pensar las relaciones al exterior (tratados comerciales internacionales) e interior de los países (Zavaleta, 1974).

La JHR restaurativa forma parte de las perspectivas que buscan generar condiciones para una transformación emancipadora. A diferencia de la justicia

hídrica enfocada en el diagnóstico, la denuncia de injusticias y la visibilización de resistencias sociales (Martinez, A.; Boelens, R.; Gudynas, E.; Salgado, J.; Barrios, R.; y López, M.), la categoría de JHR aquí propuesta se centra en pensar cómo reparar el daño, cómo sería el ejercicio de la justicia y el cómo de la transformación en casos específicos.

En términos llanos, la justicia hídrica dice el qué, mientras la justicia hídrica restaurativa se orienta a pensar el cómo. Motiva un análisis que parta de la identificación de las causas raíz en sus múltiples dimensiones pero orientado a la prospectiva de la transformación posible.

Como espacio de conocimiento, en especial, como categoría conceptual, la construcción de la JHR es incipiente. Existen tres referencias directas a la JHR son: la Iniciativa de Ley para la Seguridad Hídrica de la Ciudad de México presentada en 2019 donde es definida como "aquella en la que, adicional a una sanción de carácter pecuniario, se integra la reparación del daño causado, así mismo constituye un instrumento preventivo para intervenir incluso en el momento que se considera que hay riesgos de cause daño y no solo cuando se ha consumado" (Art. 7, fracción XXXI); la Iniciativa de Ley General de Aguas propuesta por la Comisión de Recursos Hidráulicos de la Cámara de Diputados; y, el documento denominado Propuesta de proyecto de dictamen y articulado Ley General de Agua, editado por la Universidad Autónoma Metropolitana en 2021 que retoma parcialmente los preceptos de la iniciativa antes mencionada. Como alusión indirecta existe un artículo del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua escrito por Carolina Escobar (2022) sobre el rescate de la cuenca del río Verde, no menciona la Justicia Hídrica Restaurativa como tal pero sí bosqueja la relación entre justicia restaurativa y agua como políticas públicas de abajo hacia arriba (signo del atributo de restaurativa).

El proceso de conceptualización pasó por un ejercicio de integración que recupera el centro de la justicia restaurativa, a partir de personas autoras como Howard Zehr, Aida Kemelmajer y Virginia Domingo. Como todo concepto ha pasado por un proceso cambiante. Esta proposición investigativa intenta rescata el corazón y sentido de la justicia restaurativa, remontando a sus elementos constitutivos, ya que hay perspectivas de justicia restaurativa que se dirigen a resolver conflictos o reparar el daño aunque no necesariamente al examen y resolución de los problemas y causas subyacentes que los provocaron.

Zehr en un intento de definición de la justicia restaurativa afirmó:
La justicia restaurativa es un proceso dirigido a involucrar, dentro de lo posible, a todos los que tengan un interés en una ofensa particular, e identificar y atender colectivamente los daños, necesidades y obligaciones derivados de dicha ofensa, con el propósito de sanar y enmendar los daños de la mejor manera posible (Zehr, 2007).

Por su parte, entre los propósitos y metas de la justicia restaurativa resumidos por Susan Sharpe se destacan dos elementos: una justicia más transformadora y resultados que ayuden a la reparación de daños y al tratamiento de las causas que originaron el daño (Zehr, 2007).

Siguiendo esa línea, la lógica de la JHR, tal como aquí se propone, busca tratar los problemas de justicia subyacentes, reconocer las relaciones de poder, poner en cuestión la "industria de la justicia" que mantiene el status quo y recuperar la tradición de justicia restaurativa de comunidades originarias (Domingo, 2014).

JHR como un instrumento más hacia la democratización de la justicia. Proponiéndose como objetivo la reparación del daño a las personas, a las comunidades, la fauna, flora y los ríos afectados directa e indirectamente por la polución hídrica. Se enuncian los seis principios orientadores de la Justicia hídrica restaurativa:

1. Atención a las causas raíz que producen el problema generador del daño
2. Participación de las personas o comunidades afectadas
3. Sensibilización y responsabilización de quienes efectúan el daño
4. Establecimiento de garantías de no repetición
5. Prevención de eventos futuros, y
6. Reconstrucción del tejido social

Justicia Hídrica Restaurativa y Gestión Integral del Agua

La acepción de Gestión Integral del Agua es "un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitati-

va sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales" (Naciones Unidas, 2009)
La JHR explora el sentido profundo de una transformación socioambiental. De aquí que puede comunicarse con la Gestión integral del Agua. Si se piensa especialmente en el estudio y posterior atención a los casos de contaminación de los ríos, los puntos de encuentro son:

- Una mirada integral, multidimensional como recurso epistemológico;
- La recuperación de la salud de los ríos y las comunidades como parte del proceso de reparación del daño;
- La protección de los cuerpos de agua y la prevención de la polución;
- La prioridad a la participación de todos los actores al proceso de JHR, con prioridad a la participación de las comunidades afectadas como punto de partida;
- La equidad en el bienestar social tiene como condición ineluctable la recuperación de los ecosistemas vitales.

En el texto Justicia hídrica: una mirada desde América Latina (Guzmán, A. [comp.], 2021) se explicita la "desavenencia sustancial respecto a la visión de la Gestión Integrada de Recursos Hídricos porque "se sustenta en mecanismos de poder y decisión que refuerzan la hegemonía de actores públicos estatales", en oposición a un ejercicio más democrático que fortalezca a las comunidades locales. Sin embargo, es posible advertir que la disputa de sentido en los conceptos permite también identificar los puntos de encuentro, así como los procesos disruptivos que le hacen posible. Los párrafos anteriores sirven de base para explorar bajo qué condiciones pueden establecerse tales conexiones.

Participación e inclusión son conceptos reiterados en los distintos enfoques de gestión hídrica, especialmente en el de Gestión Integral del Agua. Sin embargo, resulta necesario profundizar sobre el sentido de su existencia y materialización. El llamado a la participación de actores y sectores lleva a preguntarse ¿por qué, cuáles y cómo? Aquí la perspectiva de JHR provee el sentido. Este nace de la voz y proceso de comprensión y autoconocimiento de las y los afectados, hacia la reparación del daño, tomando como horizonte la atención a las causas multidimensionales que produjeron el problema.

Respecto a la población en general habría que tener una lectura desde la diversidad. Lo cual significa comprender que no todas las personas quieren formar parte de un trabajo arduo organizativo pero sí pueden diseñarse instrumentos que permitan los distintos niveles, escalas y formas de participación. Con ello se puede contribuir a la democratización de la política del agua y de la justicia hídrica restaurativa.

Un ejemplo es la ciencia ciudadana que en el ámbito académico se propone abrir fronteras en la producción de conocimiento, posibilitando procesos de democratización. En esa tesitura, la articulación de esta propuesta a proyectos sociales organizativos o gubernamentales en temas de justicia hídrica restauratlva para los ríos, para la fauna, la flora y para las comunidades afectadas por la contaminación despliegan un sinfín de posibilidades. Desde el monitoreo y/o georeferenciación de los vertidos, hasta el seguimiento de la salud de las personas, de los animales y de los ríos. La construcción de bases de datos para un diagnóstico puntual es posible en la comunidad del conocimiento, con la capacitación, colaboración y trabajo conjunto, donde las organizaciones sociales y ambientales tienen una experiencia loable y las y los jóvenes una función central.

Una propuesta analítica de la Justicia Hídrica Restaurativa

¿Cómo estudiar la contaminación de los ríos desde una perspectiva de justicia hídrica restaurativa? A continuación se presenta la propuesta analítica para observar y examinar cómo se desdobla la dimensión política, económica, social, cultural y ambiental de la contaminación hídrica. No se busca una metodología rígida sino flexible, adaptable, desplegada como punto de partida.

El análisis histórico constituye un recurso metodológico vital de la JHR. Su carácter es transversal a las dimensiones política, económica, social, cultural y ambiental, de este depende la integralidad en el estudio que se proponga. La complejidad del problema de contaminación de los ríos -que no solo se trata de vertidos sino de todo el engranaje político, económico, social, cultural y ambiental que lo produce- motivan un trabajo colaborativo, a través de un ejercicio analítico inter y transdisciplinario, en el que el conocimiento académico se teje/interrelaciona con el resultado de la capacitación y autoco-

nocimiento de las comunidades afectadas directa e indirectamente por la contaminación.

La comprensión y atención a las causas del problema de contaminación de los ríos, a partir del reconocimiento de su carácter multidimensional (político, económico, social, cultural y ambiental) constituye una condición sine qua non para su resolución. Las dimensiones propuestas no son limitativas -v. gr. puede explorarse también la dimensión psicosocial- pero sí determinantes para conocer y comprender el problema. En conjunto, se proponen identificar las causas raíz de la contaminación de los ríos frente a la predominancia del reduccionismo económico.

También vale decir que las variables constitutivas de cada dimensión, en el mismo sentido que las dimensiones, representan una forma de aproximación, un primer andamio, susceptible de ser ampliado o profundizado. Así mismo, es posible que alguna de las dimensiones sea predominante en el análisis de cada caso, eso no significaría que la contaminación de ríos, como consecuencia, no dependa de la interacción con las otras dimensiones. Para un enfoque megapolitano en cada una de las dimensiones se analizaría las relaciones que se establecen en su área de influencia.

Dimensión política

Las relaciones de poder tienen un carácter transversal en cada una de las dimensiones, sin embargo, es en la dimensión política donde puede verse con mayor nitidez. En particular, se propone su análisis a través de dos observables: el marco jurídico y el marco institucional (a nivel internacional, nacional, estatal y municipal), y su relación con la contaminación de los ríos. Aquí uno de los recursos metodológicos es el mapeo de actores.

Un tema que sintetiza y representa el análisis posible de está dimensión es el régimen de concesiones de agua plasmado en el marco jurídico constitucional y en la Ley de Aguas Nacionales, así como en los procedimientos institucionales de la Comisión Nacional del Agua. La pregunta orientadora es ¿Cuál es la relación que se establece entre el régimen concesional y la contaminación de los ríos en la megalópolis? Apuntando la mirada hacia, al menos, dos vertientes: el ordenamiento jurídico a nivel internacional (tratados y convenios supranacionales), nacionales (legislación nacional, estatal y municipal).
Al respecto, se ha analizado y denunciado cómo en la práctica ese sistema concesional ha beneficiado a las grandes empresas, propiciando la contaminación, expoliación y acaparamiento del agua (Montoya, 2023). De aquí que, en el ámbito político-jurídico diversas organizaciones y activistas han pugnado por un nuevo marco, una Ley General de Aguas que tienda a moderar y eliminar gradualmente la contaminación, la concentración del agua (2023).

Dimensión económica

La preponderancia de la visión economicista, no significa que se pueda eludir la importancia de esta dimensión. Aquí se plantea el estudio de la economía productiva a través de las dinámicas de producción, distribución y consumo de bienes y servicios destinados al intercambio o acumulación, y su relación con la contaminación de los ríos. La pregunta guía es ¿Cuál es la relación que se establece entre las características de la economía productiva en la megalópolis y la contaminación de los ríos?
La megalópolis de México constituye una de las áreas económicas más importantes del país. De acuerdo con el cálculo por entidad federativa del Producto Interno Bruto del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) en 2022, en orden descendente, la Ciudad de México y el Estado de México encabezan los estados que contribuyen al PIB nacional, mientras que Puebla -otro de los estado que conforman la megalópolis de México, ocupa el sexto lugar. Se analizaría, por ejemplo, el lugar que ocupa en la dinámica económica mundial e internacional y cómo impacta, por ejemplo, en la pérdida de zonas agrícolas o el fenómeno de crecimiento del comercio informal que constituye el 50% del trabajo de la población en el país (United Nation Habitat, 2022, p. 188).

Dimensión social

En esta dimensión se propone analizar la relación que se establece entre la contaminación de los ríos y la pobreza, la desigualdad, con especial atención a su feminización, entendida como la mayor afectación a mujeres y niñas- con la contaminación de los ríos. Existen dos instrumentos: el Índice de Pobreza Hídrica hídrica -evalúa el acceso, uso, capacidad socioeconómica, recursos hídricos y conservación ambiental- y la pobreza multidimensional -es decir,

la experimentación de seis carencias sociales como insuficiencia alimentaria, rezago educativo y salud, falta de servicios básicos en la vivienda, inaccesibilidad a la seguridad social, vivienda de mala calidad o falta de espacios adecuados, además de la insuficiencia de ingresos para adquirir los bienes y servicios necesarios. En ambos instrumentos se excluye la exposición al agua contaminada como daño y la configuración del daño a los ríos. De modo tal que la inclusión de la perspectiva JHR permitiría poner luz sobre aspectos hasta ahora ocultos de la contaminación hídrica.

Dimensión cultural

Marilena Chaui en su libro Cultura y democracia (2006) recuerda que la cultura proviene del verbo latino colere, en su origen significa cultivo, cuidado. Era el cultivo y el cuidado de la tierra (agricultura); de los niños (puericultura); y de los dioses y lo sagrado (culto). Es este último aspecto (el cuidado de lo sagrado) donde el agua habitó pero con la configuración de la modernidad quedó excluido, condenado al ostracismo.

En su relación con la libertad, la cultura se concebía como "una acción que conduce a la realización de las potencialidades de algo o de alguien, era hacer brotar, florecer y beneficiar" (Chaui, 2006). Desde esta perspectiva de cultura, esta dimensión busca determinar cuáles son las ideas fuerza de la sociedad que explican la contaminación de los ríos. Esto significa, analizar las subjetividades, expresadas en creencias y valores, así como las percepciones sobre la contaminación que posteriormente se manifiestan en actitudes, prácticas u omisiones en relación con los ríos.
La JHR convocaría a explorar como una de sus aspectos, cuál es la racionalidad dominante que perpetúa la contaminación de los ríos, cómo puede comprenderse el problema para deconstruir y reelaborar una nueva subjetividad y materialidad.

Dimensión ambiental

En esta dimensión la historia ambiental es un recurso central. Se trata de estudiar las interacciones entre la humanidad y los ríos (como naturaleza no humana) desde una perspectiva histórica. En particular, se trata de una reconstrucción de la historia ambiental de la contaminación como destrucción socioambiental, en el ámbito territorial estudiado, por ejemplo, el de las megalópolis.

A manera de conclusión

La Gestión Integral del Agua reflexiona en el qué, la justicia hídrica restaurativa reflexiona sobre el cómo podrían recuperarse los ecosistemas vitales, en este caso, los ríos desde una visión integral, multidimensional que mire la complejidad en el diagnóstico de la contaminación de los ríos, así como en la atención en las causas y reparación del daño. Se trata de orientar el estudio y las acciones a la resolución del problema, dando luz a las experiencias que se enfocan en la resolución del conflicto y no del problema.

Este trabajo invita a reflexionar en torno a qué pasaría a los ríos les es devuelto su reconocimiento como sujeto, como ser sintiente, de manera tal que junto con las comunidades afectadas directa e indirectamente, también le sea reparado el daño y se atiendan las causas multidimensionales que lo generan. No se trata únicamente del reconocimiento jurídico, esa es una de las dimensiones sino de la identificación de las causas y reparación del daño en la dimensión social, cultural, política, económica y ambiental.

Un problema complejo, no puede atenderse con respuestas unívocas sino integrales. De aquí que la resolución a la contaminación no debe concentrarse en soluciones unívocas, tales como las plantas de tratamiento. Se convoca a situar ¿Qué lugar ocupa la falta de tratamiento de las aguas residuales en la generación del problema?

¿Por qué las experiencias de recuperación de ríos, como respuesta a la contaminación hídrica, en la megalópolis han tenido un alcance limitado, superficial o simulado? En algunos casos, por la ausencia de compromiso político "basado en un poder real que asegure su realización" (Cohen, 1999), en otros por la tendencia a una incidencia superficial, exclusivamente paisajística sin mejorar la salud de los cuerpos de agua.

El conocimiento profundo, multidimensional e interdisciplinario que incluya los planteamientos y preocupaciones de las comunidades por su centralidad constituye un primer paso para comprender y explorar caminos hacia la resolución de los procesos de contaminación de los ríos en las megalópolis.

Otro aspecto fundamental será la búsqueda de andamios que permitan visualizar puntos de encuentro entre los distintos enfoques, a fin de avanzar hacia la integralidad.

Se trata de analizar las dimensiones que explican el problema, las formas en que se expresa el daño a los ríos y a las comunidades, así como hacer una prospección de la transformación en cada una de esas dimensiones como correlato de la reparación del daño multidimensionalmente identificado.
El breve análisis de la Coordinación Ambiental de la Megalópolis da cuenta de que el agua y en particular los procesos de contaminación son un pendiente aún poco visibilizado.

Este ejercicio analítico permite dar cuenta de la valía de observar los límites y alcances de cada enfoque, así como la riqueza investigativa y práctica de identificar puentos de encuentro para construir puentes. La discusión sobre el cambio de paradigma en la justicia tradicional es un tema trascendental para las problemáticas hídricas. La justicia restaurativa participa señalando la necesidad de cambiar el paradigma punitivo y proponiendo el de atención a las causas que originaron el daño. La perspectiva de Justicia Hídrica Restaurativa contribuiría a dotar de sentido a las propuestas de resiliencia hídrica de los sistemas urbanos, la economía circular, las soluciones basadas en la naturaleza (SbN), la automatización en los servicios de agua y saneamiento, la digitalización y uso de las tecnologías de la información.

Finalmente, resulta necesario promover investigaciones que den cuenta del carácter multidimensional y multifactorial de la contaminación de los ríos con un horizonte encaminado a una experiencia práctica de la justicia. Una mirada a la complejidad que permita entender, por ejemplo, ¿Cómo se propondría y generaría una reforma hídrica? ¿Qué dimensiones y aspectos integraría?

Las experiencias gubernamentales, de organizaciones sociales y empresas respecto con la recuperación de ríos contaminados presentan limitaciones distintas pero existen visos que pueden dar cuenta del potencial de la gestión integral del agua en las megalópolis cuando se incorporan elementos de la perspectiva de justicia hídrica restaurativa (ver Tabla 1).

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Diagnóstico y acciones orientadas a la resolución de conflictos y no a la resolución del problema	La propuesta analítica de la Justicia Hídrica restaurativa permite orientar el diagnóstico y las acciones a la resolución del problema, como condición primigenia para la reparación del daño
Visión antropocéntrica de la contaminación de los ríos	La Justicia Hídrica Restaurativa pone el foco sobre las comunidades, los ríos afectados directa e indirectamente por la contaminación
Análisis fragmentado de la contaminación de los ríos en la megalópolis	La visión integral invita a una mirada multidimensional (política, económica, social, cultural y ambiental) de la contaminación de los ríos para explicar cuáles son las condiciones que le producen
La ausencia de una coordinación megapolitana en la gestión integral del agua frente a la contaminación de los ríos	Al proponerse la atención a las causas raíz del problema, la Justicia Hídrica Restaurativa respaldaría la necesidad de la coordinación en la Gestión Integral del Agua en las megalópolis
Ausencia de una perspectiva de justicia en la Gestión Integral del Agua	La perspectiva de Justicia Hídrica Restaurativa apuntala y ofrece una ruta analítica a la visión integral a la que convoca la Gestión Integral del Agua
Reduccionismo analítico en el estudio de la contaminación de los ríos	El tratamiento de las aguas constituye un elemento que atiende pero no resuelve el problema de contaminación. Necesario ampliar el análisis para tender a su resolución.

El carácter secundario que la agenda hídrica ocupa en la acotada planeación de la Megalópolis y la falta de participación social.	La Justicia Hídrica Restaurativa dota de sentido a la inclusión y participación de afectados por la contaminación y de responsables, así contribuiría a recobrar el papel vital del tema hídrico.
La polución hídrica recibe menor atención que la contaminación atmosférica.	Importancia de conocer, comprender la polución hídrica desde una mirada integral e identificar las relaciones sinérgicas entre las distintas formas de contaminación, para promover intervenciones con visión de totalidad.
Falta de confianza en el agua del servicio de suministro público	Es probable, que la confianza mejore si se tuviera certeza de que está mejorando la salud de los ríos, de las fuentes de agua.
Inuficiencia de estadísticas y datos sobre contaminación	Integrar una perspectiva de Justicia Hídrica restaurativa para resolver la contaminación de los ríos necesariamente obliga a la construcción de estadísticas para el diagnóstico
Ausencia de puentes analíticos entre enfoques, v. gr. entre la Gestión Integral del Agua y la Justicia Hídrica Restaurativa	Promover investigaciones que den cuenta del carácter multidimensional y multifactorial de la polución hídrica encaminadas a una experiencia práctica de la justicia para la recuperación de los ecosistemas vitales

Referencias bibliográficas

Asamblea General Naciones Unidas [AGNU] (2022). A/HRC/49/53 Derecho a un medio ambiente limpio, saludable y sostenible: el medio ambiente no tóxico. Informe del Relator Especial sobre la cuestión de las obligaciones de derechos humanos relacionadas con el disfrute de un medio ambiente sin riesgos, limpio, saludable y sostenible. https://documents.un.org/doc/undoc/gen/g22/004/51/pdf/g2200451.pdf

Buzai, G. (2020). Megaciudades de América Latina: Conceptos, modelos y geografía de los procesos de estructuración urbana. Universidad Nacional de Luján. Departamento de Ciencias Sociales. Instituto de Investigaciones Geográficas. Anuario de la División Geografía. e-ISSN: 2618-3110. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/168765/CONICET_Digital_Nro.2779455c-cb00-46bb-8b5c-7b20a05ddb68_B.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Chaui, M. (2006). Cultura y democracia. https://biblioteca-repositorio.clacso.edu.ar/bitstream/CLACSO/16038/1/CuadernosPCL-1-8.pdf

Comisión Ambiental de la Megalópolis (2024). Comisión Ambiental de la Megalópolis. 10 años de trabajo. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/944433/2024_09_18_Informe_10_anios_CAMe_v2.1.pdf

Diario Oficial de la Federación (2013, 03 de octubre). Convenio de Coordinación por el que se crea la Comisión Ambiental de la Megalópolis, que celebran la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Gobierno del Distrito Federal y los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Tlaxcala. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5316255&fecha=03/10/2013#gsc.tab=0

Escobar Neira, C. (2022). Implementación de políticas públicas de abajo hacia arriba (bottom-up): plan de acción para una justicia restaurativa. Repositorio Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2293

Guzman, A. (comp.) (2021). Justicia hídrica: una mirada desde América Latina. Homenaje a Mourik Bueno de Mesquita. Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de las Casas (Cusco). https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2023/10/Justicia-Hidrica-CBC.pdf

Miller, J. et. al. (2024). Self-reported anticipated harm from drinking water across 141 countries. Nature Communications volume 15, Article number: 7320 https://www.nature.com/articles/s41467-024-51528-x

Montoya, Miguel Ángel (2023). Tesla, los neoliberales de closet y la coartada del agua. https://mundonuestro.mx/content/2023-03-24/tesla-los-neoliberales-de-closet-y-la-coartada-del-agua-miguel-Angel-montoya

Naciones Unidas (2009). ¿Qué es la GIRH?. Integrated Water Resources Management in Action. WWAP, DHI Water Policy, PNUMA-DHI Centro para el Agua y el medio Ambiente. 2009. https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/iwrm.shtml

Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018. Contaminación atmosférica y salud infantil. Preescribir aire limpio. https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/275548/WHO-CED-PHE-18.01-spa.pdf

United Nations - Habitat (2022). Envisaging the future of cities. World Cities Report. https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [Unicef], 2024. Día Mundial del Agua: 1.000 niños mueren al día por su falta. https://www.unicef.es/noticia/dia-mundial-del-agua-1000-ninos-mueren-cada-dia-por-falta-de-

agua-potable.
Unicef (2019). Hay más niños que mueren por el agua insalubre que por las balas. https://news.un.org/es/story/2019/03/1453301
Tortolero, A. (2000). El agua y su historia. México y sus desafíos hacia el siglo XXI. México: Umbrales de México-Siglo XXI Editores.
Zavaleta, René (1974). Movimiento obrero y ciencia social. La revolución democrática de 1952 en Bolivia y las tendencias sociológicas emergentes. Obras completas, Bolivia, Ed. Plural.
Domingo, V. (2012) Entrevista a Howard Zehr. https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4063101.pdf&ved=2ahUKEwjLz6Ox9p6JAxV3LtAFHT4LBVcQFnoECBcQAQ&usg=AOvVaw31xMrqjlpcs--r4HTehoyr
Zehr, El pequeño libro de la justicia restaurativa. https://www.icbf.gov.co/sites/default/files/el_pequeno_libro_de_las_justicia_restaurativa.pdf

28 Dos modelos de gestión del agua en la Megalópolis de México

Alfredo Méndez Bahena[1]*, Anna Rosa Domínguez Corona[2], Benjamín Méndez Bahena[3]

[1]Universidad Autónoma de Guerrero (*autor de correspondencia: amendezbahena@gmail.com);
[2]Escuela Nacional de Antropolo-gía e Historia;
[3]Instituto Politécnico Nacional

Resumen

Ante la existencia de dos modelos de gestión del agua en la Megalópolis de México (ZMCM), aquí se argumenta la necesidad de optar por un enfoque que incluya tanto a los organismos gubernamentales, como a las comunidades que autogestionan sus fuentes de abastecimiento, en una perspectiva integral, multinivel y multiactor.

Introducción

En todo el país, el acceso de la población al agua es considerado un problema prioritario. Los resultados de la Encuesta Nacional de Agenda Legislativa (ENALE, 2023) elaborada por el Senado de la República indican en el tema ambiental, que 53% de los entrevistados consideran la escasez de agua como el principal problema (ver gráfica 1).



Gráfica 1. Percepción ciudadana de los principales problemas ambientales. Fuente: ENALE, 2023.

Este tema es aún más preocupante en la región centro del país donde problemas ambientales comunes propiciaron la creación de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (DOF, 2013), ampliada posteriormente (DOF, 2023) que incluye a la ciudad de México y los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Querétaro, conocida como la megalópolis. Esta región enfrenta enormes retos, pues ha rebasado su capacidad de proveer de bienes esenciales como el agua, propiciando un creciente trasvase desde otras regiones y generando fuerte competencia por ellos. Los reportes mensuales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (OCAVM-Conagua, 2024) muestran una tendencia en el incremento de la demanda hídrica, que aunada a problemas asociados al cambio climático colocan a la ZMCM y a la Megalópolis en su conjunto, en una situación cada vez más compleja. Las industrias inmobiliaria y manufacturera, así como el sector servicios asociados a grandes capitales (p.e. las cadenas de tiendas departamentales, hoteleras y restauranteras), demandan volúmenes crecientes de agua y han tenido un acceso preferente.

Aquí coexisten dos modelos de gestión del agua: a) la realizada por los organismos gubernamentales y, b) las comunidades que manejan sus propios pozos o fuentes de abastecimiento, a la que se denominará de forma genérica como Sistemas Comunitarios del Agua (SCA). El primero, el de los Organismos Públicos del Agua (OPAs) es criticado por propiciar escasez en grandes zonas populares, con servicio basado en el tandeo y largos periodos de rotación, en contraste con el dispendio en otras zonas y otro tipo de usuarios. En la segunda, miles de comunidades rurales, suburbanas y aún urbanas mantienen esquemas organizativos propios; los comités, sistemas comunitarios de agua y sistemas autónomos de agua ofrecen un servicio en ocasiones mejor que los sistemas gubernamentales municipales o estatales, además de defender el derecho de los vecinos frente a la voracidad de proyectos inmobiliarios o comerciales que pretenden adueñarse del agua, pero son criticados por funcionar al margen de la ley. Nuestra investigación empírica documenta que este servicio, cercano a la gente, tiene un gran potencial para involucrar a la población, la rendición de cuentas y para implementar esquemas que trascienden el mero servicio de abasto, para incluir acciones de cuidado y restauración del ciclo

socionatural del agua; es decir para transitar hacia modelos de gestión integral que la mayoría de las instancias gubernamentales no realizan. Por ello, proponemos una gestión multinivel en la región que comprende la megalópolis, que incluya a los SCA.

Perspectiva Teórica

La combinación de tres corrientes teóricas explica la perspectiva que se asume en este trabajo. En la primera, el derecho a la ciudad es un planteamiento originalmente formulado por Henry Lefebvre (1968), quien examinó cómo la industrialización y la urbanización generaron segregación social a partir de convertir en mercancías bienes básicos para la vida urbana. Años después, Harvey (2013) lo plantea como un derecho colectivo de acceder a los recursos urbanos, que incluye la posibilidad de reinventar la ciudad en favor de los intereses colectivos y como consecuencia del poder colectivo, donde el actor central ya no es la clase obrera, sino los movimientos ciudadanos (Molano, 2016). Abramovich y Courtis (2006), Abramovich y Pautassi (2009) y Ansuátegui (2010) argumentan la necesidad de comprender los derechos sociales como parte de los derechos humanos y, por tanto, como elemento central de las políticas públicas. Recientemente, dos libros incluyen trabajos con temas específicos del derecho a la ciudad en América Latina, Carrión y Dammert (2019) y Carrión y Erazo (2016) en el cual González (2016) examina las implicaciones de política pública en el derecho humano al agua en la ciudad de México.

En el ámbito de los acuerdos internacionales, los derechos humanos, entendidos como "… el conjunto de prerrogativas sustentadas en la dignidad humana, cuya realización efectiva resulta indispensable para el desarrollo integral de la persona …" (CNDH, s/f) fueron adoptados por la ONU tras la segunda guerra mundial (ONU, 1948). Otros tratados posteriores como el Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos (ONU, 1966a), el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (ONU, 1966b) y Habitat III (ONU, 2016) establecieron obligaciones para los Estados firmantes como: 1) respeto; 2) protección, 3) garantía y 4) satisfacción, promoción, tomar medidas para garantizarlos.

A nivel de instrumento vinculante, la Constitución Política de la Ciudad de México (2017) fue creada desde la perspectiva de enfoque de derechos, expresada en sus artículos tercero (que establece el principio de respeto a los derechos humanos, la necesidad de armonizar con la naturaleza), cuarto (derechos ejercidos individual o colectivamente con responsabilidad común, obligación gubernamental de adoptar medidas para garantizarlos), cinco (define a la ciudad como garantista) y nueve (derecho a la vivienda con servicios básicos).

En la segunda perspectiva, con la complejidad de la gestión de múltiples problemas en las zonas metropolitanas surgió el estudio de la gobernanza multinivel, que evidentemente es mucho mayor en el caso de megalópolis. Entre sus dificultades se encuentra la ausencia de marcos jurídicos, las diferentes capacidades de los gobiernos y niveles involucrados (Schurgelies y Baines, 2016). Un libro coordinado por Vera, Toro y Mashini (2024), tras una amplia revisión de temas involucrados en la escala, complejidad y gobernanza de las metrópolis latinoamericanas, concluye con tres grandes áreas de estudio: la necesidad de superar las barreras administrativas para responder las demandas en la escala geográfica; la adopción de un enfoque sistémico para atender la complejidad multisectorial; y los retos de la sostenibilidad tanto fiscal, como en el ámbito de la gobernanza.

En la tercera perspectiva, se contempla un panorama en donde la acción humana es examinada desde su inclusión como parte de un complejo sistema con la naturaleza. Esta perspectiva, conocida como pensamiento sistémico, establece la interdependencia entre los diferentes factores que integran cada sistema, de lo cual resulta que su funcionamiento depende de estos efectos recíprocos, por lo que es necesario sustituir el pensamiento disyuntivo y reduccionista por un pensamiento complejo, entendido como comprender lo que está tejido junto, lo interdependiente (Morin, 2001). En el caso que nos ocupa, la teoría se concreta en el concepto del ciclo socionatural del agua (CSNA), que es una visión integradora en la que reconoce la interdependencia entre los factores naturales del ciclo hidrológico y las dinámicas sociales, culturales y políticas de las comunidades humanas, en contraposición de la visión más convencional del ciclo hidrológico, que se enfoca sólo en el movimiento del agua a través de la atmósfera, la superficie terrestre y los cuerpos de agua (Moctezuma, 2023). La noción del CSNA reconoce que factores como el uso del suelo, las prácticas de urbanización, las políticas públicas y

las costumbres culturales, tienen un impacto directo en el ciclo del agua, y que algunas formas de uso -sea por acaparamiento o por contaminación- pueden ocasionar la ruptura de la dinámica circulatoria, al impedir la disponibilidad y renovabilidad de crecientes volúmenes de agua, afectando tanto a los ecosistemas como a las poblaciones que dependen de ellos.

El modelo de gestión de OPAs

En México, las competencias en materia de uso del agua están distribuidas en los tres niveles de gobierno. A nivel federal, la Ley de Aguas Nacionales (LAN), decretada en 1992 y reformada en 2002 (DOF, 1992 y 2002) establece a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) como el organismo rector que otorga concesiones a personas físicas o morales, asignaciones a organismos estatales o municipales que administren sistemas de agua potable y alcantarillado.

En algunas entidades federativas, existen organismos encargados del servicio de agua potable que atienden directamente a los ciudadanos en ciudades y pueblos. En otras, transmiten esa competencia a organismos de nivel municipal. Los organismos públicos, se encargan de la infraestructura, mantenimiento y operación del sistema, incluyendo el cobro. Esto significa que, en la mayor parte del país, las competencias están repartidas en tres niveles de gobierno, condición que dificulta realizar la gestión con una perspectiva territorial a la vez amplia y profunda.

Algunas instituciones solo actúan en el panorama nacional, mientras otras lo hacen a nivel estatal y la mayoría atienden únicamente el plano local. Pero en un asunto tan complejo no existe una mirada desde la escala metropolitana y menos aún megalopolitana, como propone el enfoque general de este libro, que considera necesaria una gestión integral en esta escala, dado que muchas de las implicaciones del uso del agua rebasan no solo una ciudad o un municipio, sino incluso una cuenca.

Este modelo, tiene al menos siete áreas que han sido criticadas desde hace años por la ciudadanía y por estudios especializados. La primera es la incapacidad de la gestión pública para garantizar un suministro continuo de agua potable en todo el territorio que atiende, pues en algunas colonias residenciales o donde hay corporativos empresariales, el flujo es continuo; mientras en otras no ocurre así y esta condición se traduce en sistemas de tandeo donde a cada colonia, unidad habitacional o pueblo le toca recibir agua en un horario o en determinados días, obligando a las familias a recurrir a costosas alternativas como sistemas de almacenamiento y pipas de agua; incluso en algunas, el abasto es ocasional. Este funcionamiento ineficiente genera culturas burocráticas carentes de posibilidades de innovación, propensas al clientelismo y la corrupción (Cruz et. al., 2020). La segunda se refiere ya no a la cantidad, sino a la calidad del agua en términos de su color, sabor y olor, pues existen zonas urbanas o suburbanas que reciben agua color chocolate o amarillenta, con olor a drenaje, azufre o compuestos químicos y con sabor extraño, y los ciudadanos no conocen estudios sobre la calidad del agua que consumen.

En la tercera, la expansión de la red a zonas periféricas, especialmente en colonias marginadas avanza con lentitud debido a los altos costos (ver tabla 1). La Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) del año 2022 (INEGI, 2022) indica que de los 35.6 millones de viviendas existentes en el país, 2.5 millones carecen de toma de agua entubada y 11.5 millones no tuvo acceso diario. Esa carencia no se reparte equitativamente, sino se concentra en seis entidades federativas destacan por el bajo porcentaje de viviendas con agua entubada: Oaxaca (40.6%), Guerrero (49.4%), Chiapas (52.4%), Puebla (60%), Veracruz (61.6%) y estado de México (75.1) (INEGI, 2021). La historia de la urbanización en las ciudades mexicanas está llena de ejemplos de colonias que deben luchar por tener acceso al agua. El fondo de esto es que la ubicación de las viviendas de los trabajadores y su acceso a servicios básicos no ha sido importante en la planeación urbana.

Tabla 1. Viviendas sin agua entubada en México 2000-2020.

Viviendas	2000	2010	2020
Particulares (habitadas)	21,942535	28,607,568	35,219,141
Sin tomas de agua (absolutos)	3,225,552	3,232,655	1,232,69
Sin tomas de agua (porcentaje)	14.7	11.3	3.5
Fuente: INEGI (2020).			

La cuarta crítica refiere a la demora para el mantenimiento de la infraestructura, lo que genera importantes pérdidas de agua. En la quinta, la población considera elevadas las tarifas en relación con la calidad del servicio. Este aspecto es relevante porque a nivel nacional no existe una metodología unificada para calcularlas, entre otras razones porque existen al menos cuatro tipos de usuarios, domésticos, comerciales, industriales y agropecuarios; pero también debido a que las tarifas del servicio doméstico suelen subdividirse en baja, media y alta, según los estratos de ingreso por colonia. Adicionalmente, las tarifas deben incluir los costos asociados de tres actividades: la operación, el mantenimiento de la red y la inversión en infraestructura (IMCO, 2023). A pesar de estas dificultades, es posible aproximarse a un gasto promedio. La Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH) 2022, permite conocer que los gastos promedio anual y mensual realizado por los hogares en México para pagar el servicio de agua potable, es de $1, 643.16 y $136.93, respectivamente (ver Tabla 2) (INEGI, 2022).

Tabla 2. Gasto Corriente Promedio Mensual en cada entidad federativa por concepto de Agua (miles de pesos). Se resaltan en color las entidades que forman parte de la megalópolis.

Estidad Federativa	Gasto Promedio Mensual	Estidad Federativa	Gasto Promedio Mensual
Chihuahua	274.63	Edo de México	109.71
Baja California	270.56	Durango	108.16
Aguascalientes	250.08	Michoacán	106.47
Querétaro	242.61	San Luis Potosí	106.2
Nuevo León	241.06	Hidalgo	105.89
Quintana Roo	214.82	Morelos	104.43
Guanajuato	211.55	CDMX	104.25
Sonora	204.62	Veracruz	94.44
B. California Sur	200.77	Nayarit	92.54
Tamaulipas	195.9	Tlaxcala	80.44
Colima	184.71	Puebla	75.47
Jalisco	175.94	Guerrero	60.83
Coahuila	175.53	Campeche	55.77
Sinaloa	159.46	Chiapas	48.69
Zacatecas	146.7	Yucatán	45.81
Nacional	**136.93**	Oaxaca	25.16
		Tabasco	21.57

Fuente: Sandoval et. al. (2024 en prensa).

En la sexta crítica, se cuestiona la priorización de grandes desarrollos inmobiliarios en detrimento de los barrios y colonias populares, lo que provoca un descontento social que en ocasiones llega al huachicoleo del agua (Hernández-Gamboa y Reyes-Maya, 2024). La séptima señala que los instrumentos vinculantes encargados de regular la actividad de los organismos públicos omiten la existencia de los SCA en donde la población en forma autónoma se encarga del servicio y éstos suelen emprender campañas para desacreditar las organizaciones autónomas y eliminarlas.

El modelo de Sistemas comunitarios de agua

Los comités y sistemas comunitarios de agua han existido históricamente en todo el planeta. Tan solo en América Latina y el Caribe, Domínguez y Castillo (2018) calculan que abastecen a 70 millones de personas. Bajo un régimen político u otro, las comunidades han tenido que organizarse para garantizar la provisión de este bien elemental. La incapacidad gubernamental para atender a toda la población sumada a la lógica centralista que ha imperado en el país, han sido algunas razones para que el servicio público de agua exista en las capitales y cabeceras municipales, pero raras veces en las demás localidades.

Por tratarse de un modelo no reconocido en la legislación mexicana, no existe un recuento, pero recientemente en un evento organizado por el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED) se mencionó la existencia de 44 mil SCA abasteciendo a 24 millones de habitantes (INAFED, 2021).

En las siete entidades que integran la megalópolis, existen comunidades que se han tenido que organizar para abastecerse de agua y que han funcionado por largo tiempo. Aunque normalmente se piense que esto ocurre sólo en contextos rurales, la rápida urbanización de la región generó que muchas localidades con este tipo de organización, en la actualidad se encuentren inmersas en las zonas urbanizadas en las décadas recientes, por lo que existen como reductos en los que aún se mantiene la lógica comunitaria. Por supuesto, existen muchas otras que se localizan en contextos locales en los que aún predomina un estilo rural o semiurbano, donde mantener esta lógica comunitaria resulta común. Pero existen incluso en grandes conurbaciones como la ZMCM en Coyoacán, Ecatepec, Tecámac, Chalco o Zumpango.

Las relaciones entre los comités comunitarios de agua y las diferentes instancias de gobierno son y han sido muy diversas. La falta de presupuesto para atender a todas las comunidades y la falta de un reconocimiento a la personalidad jurídica de estos comités, ha dado pie para que se generen lógicas clientelares en las que el éxito depende de las buenas relaciones que tengan los actores locales con la autoridad en cuestión o de su capacidad para realizar esfuerzos de gestión; la inversión pública en la materia no se ha percibido como un derecho que el estado mexicano esté obligado a proveer, sino como un beneficio excepcional que debe ganarse.
El modelo de gestión comunitaria del agua que llevan a cabo los Comités y Sistemas Comunitarios de Agua, forma parte del sistemas de cargos presente en numerosos pueblos, barrios o comunidades de los estados que conforman la megalópolis. Estos comités están encargados de garantizar el abasto de agua y muchos surgieron desde la apertura de sus propios pozos de agua o desde la generación de las redes de distribución proveniente de sus ríos o manantiales a los domicilios. La construcción de la infraestructura necesaria para realizar su labor algunas veces contó con apoyos gubernamentales y muchas otras tuvo que resolverse de forma autogestiva. La estructura de los comités suele ser similar, formada por Presidente, Secretario, Tesorero y Vocales, que apoyan en la diversidad de tareas que les son asignadas. Son elegidos en asambleas comunitarias o asambleas de usuarios para desempeñar la función durante un período que varía de uno a tres años. Cuando el tejido social es débil o hay intervención de instancias externas que logran imponerse, en algunos casos las ratificaciones sucesivas dan lugar a cacicazgos sobre la gestión del agua.

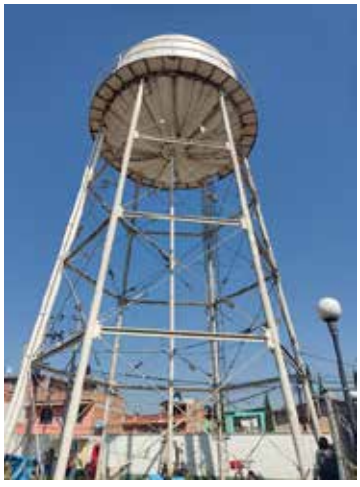


Figura 1 Pozo rural San Lucas Amalinalco, Chalco, Estado de México, administrado con gestión comunitaria del agua.



Figura 2. Pozo de Ozumbilla Ecatepec Estado de México que opera con Sistema Comunitario de Agua.

Entre las funciones de administración de estos comités está el cobro de cuotas para el mantenimiento de su red y atender los desperfectos que se van generando por el tiempo, el desgaste, los accidentes, los desastres naturales, entre otros (ver Figura 2).

Estas cuotas en su mayoría son anuales y garantizan derechos en la comunidad, responden al número de tomas que pueden tener los vecinos, si tiene dos tomas de diferentes pozos o ríos pues paga dos cuotas de mantenimiento. En algunos sistemas comunitarios hay cuotas diferenciadas para el uso doméstico y el uso comercial (ver Figura 3). Una crítica observada excepcionalmente en algunos SCA se refiere a la negativa a otorgar servicio de agua a quienes compran una casa o un predio, pero no son originarios del lugar. Bajo esta misma lógica, muchos SCA se han enfrentado con grandes compañías inmobiliarias al negarse a abastecer a grandes fraccionamientos que se establecieron sin haber garantizado previamente el suministro; las comunidades originarias argumentan que dichos fraccionamientos pueden incluso superar varias veces su tamaño poblacional, por lo que abastecerlas de agua significaría un fuerte impacto negativo para sus pobladores.



Figura 3. Recibo de pago del Comité de Agua Potable del Pueblo de Guadalupe Victoria en Ecatepec.

Una de las características de la gestión comunitaria de agua es que puede existir mayor transparencia en el manejo de los recursos si se rinden cuentas de todas las cuotas recabadas y un informe detallado sobre los rubros y montos de gasto realizados durante el periodo de gestión de ese comité. En algunos SCA una parte considerable de las cuotas de mantenimiento está destinada al pago de energía eléctrica a la Comisión Federal de Electricidad (CFE), ya que el alto consumo de energía generado por el bombeo ocasiona que se les clasifique como uso industrial, haciendo que las tarifas asignadas sean muy altas. La CFE no considera que se trata de un servicio público para garantizar un derecho humano, y les da un trato similar al de cualquier empresa que usa el agua con fines de lucro, dando origen a deudas millonarias que se hacen impagables y que luego son usadas por los gobiernos municipales para chantajearlos.

Estos comités también suelen tener reglamentos comunitarios donde se estipulan las obligaciones y acuerdos, así como y las sanciones a las que se hacen acreedores por incumplirlos. Estas sanciones son ejecutadas por alguna autoridad comunitaria, a veces la autoridad civil y en otras la autoridad agraria. Los comités han acumulado una diversidad de conocimientos que han pasado de generación en generación que van desde aspectos técnicos del manejo de motores, bombas, válvulas, fontanería, albañilería, entre otros; en aspectos ambientales que han logrado reconocer las características de sus ecosistemas, identificando las zonas de recarga de los acuíferos, o en los comités que se abastecen de pozos tienen claras las repercusiones en la salud si perforan muy profundo su pozo. Identifican los colores, sabores, olores que no son normales y en algunos casos están capacitados para realizar sus propios monitoreos de calidad de agua. Han desarrollado conocimiento de administración, rendición de cuentas e incluso, de tipo jurídico para defenderse frente al hostigamiento de algunas autoridades.

La gestión del agua en manos de los comités está más cerca de garantizar una visión integral, ya que tiene como principio básico garantizar el derecho humano al agua y al saneamiento de cuerpos de agua, teniendo claro que para garantizar el abasto en los domicilios en necesario cuidar el CSNA, pues la reconocen como bien común fundamental para la vida en los territorios. Son los que conservan y promueven las costumbres y tradiciones de cariño y protección del agua, haciendo frente a la lógica mercantil que prevalece en la gestión gubernamental.

La experiencia acumulada en los SCA no solo al realizar una gestión eficiente, sino sorteando intentos d eliminarlos o dividir a las comunidades, ha generado agrupaciones en las cuales comparten conocimiento, se asesoran mutuamente (ver Figura 4) e incluso, una de ellas ha elaborado útiles guías de acción (Comité de Agua, 2024).



Figura 4. Conformación de la Red Nacional de Sistemas Comunitarios de Agua, Zumpango Estado de México, agosto de 2024.

Problemáticas y oportunidades

Algunos de los aspectos que más se han cuestionado a la lógica gubernamental de gestión pública, es que se basan en modelos centralizados (que alejan al tomador de decisiones de aquello que se gestiona, dificultando el monitoreo y la evaluación), que invisibilizan el conocimiento de los actores locales y tienden a invalidar sus opiniones y que generan inequidad en la distribución del recurso al privilegiar ciertas zonas sobre otras. Por su lado, los SCA son criticados por la falta de recursos y de personal calificado

No obstante, como ha demostrado Ostrom (2000), cuando los actores locales disponen de algunas condiciones (p.e. certeza jurídica, legitimidad, delimitación territorial precisa, mecanismos de monitoreo), pueden gestionar de forma exitosa, sostenible y equitativa bienes de uso común.

El nivel de las autoridades comunitarias representa la instancia más cercana a la población, la que puede tener el pulso más preciso y actualizado de lo ocurre en el territorio, y con mayores posibilidades para realizar la gestión de forma participativa. Es por ello que consideramos adecuado mantener en la región ambos modelos de gestión del agua, reconociendo las debilidades de cada uno e identificando cómo fortalecerlos. La tabla 3 sistematiza los problemas identificados, así como las oportunida-

des, señalando a los actores políticos que pueden impulsar las propuestas e instrumentos vinculantes. Como se observa, asumimos la disposición de muchos SCA a dialogar y establecer mecanismos de cooperación, siempre y cuando garanticen su autonomía (ver Figura 5).



Figura 5. Murales elaborados por los sistemas comunitarios de agua.

Tabla 3. Problemáticas y oportunidades para articular dos modelos complementarios de gestión del agua en la Megalópolis de México. Fuente: elaboración propia.

Problemáticas	Oportunidades
Existe desvinculación, competencia y conflicto entre ambos modelos de gestión del agua	Reconocer los ámbitos de gestión de cada uno, así como los aportes y generar sinergias estableciendo mecanismos institucionales de colaboración como los acuerdos público-comunitarios. Responsables: Cámara de Diputados (Ley de Aguas Nacionales).
Falta de planeación regional, participativa y de largo plazo para la gestión del agua.	Generar espacios de planeación donde participen los SCA y los OPAs, estableciendo lineamientos y programas encaminados al manejo sustentable y endógeno del agua con distribución equitativa. Responsables: Cámara de Diputados (Ley de Aguas Nacionales y Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano).
Los OPAs funcionan desde una lógica vertical, no consultan, no informan, no rinden cuentas, aunque el artículo 4º constitucional establece la participación ciudadana como elemento constitutivo del DHAS	Ciudadanizar los OPAs en su operación, composición y estructura, con transparencia, incorporando ciudadanos a espacios de toma de decisiones. Programas de trabajo derivados de planes consensuados para el manejo de las cuencas y acuíferos. Responsables: Cámara de Diputados (Ley de Aguas Nacionales)
Los SCA no cuentan con una figura jurídica que reconozca su aporte al DHAS	Reconocer la figura jurídica de los SCA, para regular su operación, recibir financiamiento y protegerlos de los vaivenes en la política local. Responsables: Cámara de Diputados (Ley de Aguas Nacionales) y Congresos estatales.
Los SCA no tienen certeza sobre su operación y los volúmenes que gestionan	CONAGUA debe asignarles volúmenes requeridos para evitar despojos. CFE debe otorgar tarifas preferenciales para su operación, pues no persiguen fines de lucro. Cámara de Diputados (Ley de Aguas Nacionales).
Negativa a reconocer la existencia de los SCA	Apoyar la gestión comunitaria del agua puede tener un potencial valioso

Conclusiones

En todo el planeta hoy es indispensable adoptar una postura en la gestión del agua que permita garantizar su uso en el futuro. Para hacerlo es preciso abandonar la idea de que es un recurso ilimitado y que los criterios para distribuirla pueden responder a la lógica de priorizar a quien más paga por ella, pues su acceso ha sido reconocido como un derecho humano en nuestra Constitución Política.

Como ocurre en muchos lugares, en la megalópolis de México y en particular en la ZMCM coexisten dos modelos de gestión de agua: el de los organismos públicos (OPAs) y el Sistema Comunitario del Agua (SCA), pero el segundo no está reconocido en

la legislación mexicana, por lo que es indispensable incorporarlos al marco jurídico, por ser un derecho de los propios pueblos y comunidades, pero además porque ha demostrado su papel fundamental para contribuir al DHAS, al ser la forma organizativa adoptada por numerosas comunidades en la región. Los SCA no desaparecerán. Existen porque cumplen una función relevante al abastecer de agua a pequeñas comunidades rurales, pero también en zonas urbanas donde los pobladores exigen tener prioridad sobre las grandes empresas. Adicionalmente, la visión con la que actúan los SCA puede aportar una nueva racionalidad de la que han carecido los OPAs.

Para realizar una gestión más eficiente, es necesario rebasar el enfoque del conflicto entre ambos y buscar los mecanismos de cooperación que colaboren a subsanar sus debilidades y compartir sus fortalezas, lo cual puede permitir una planeación participativa desde la cual se establezcan las prioridades regionales y nacionales desde un enfoque integral, multinivel y multiactor.

Cambiar la perspectiva significa también pensar no solo en las necesidades humanas, sino en su relación con la naturaleza y el efecto en ella. Justamente la cuenca de México, en donde una pequeña parte es la actual ZMCM, ejemplifica el mal uso. En este lugar, donde entre lluvia, yacimientos, escurrimientos de ríos y la que se trae de otros lugares, se dispone de una cantidad de agua superior a la media anual de otras grandes ciudades del mundo, que en promedio significa disponer de 360 litros diarios por habitante, pero al distribuirlos, cinco millones de sus 22 millones de habitantes no disponen de ella (Legorreta, 2013). Aquí hoy se sufre y se gastan muchísimos recursos, primero para traer agua y después para desalojarla, gracias a un modelo de gestión que ignora sistemáticamente el ciclo socionatural del agua y violenta los derechos y la integridad de las poblaciones a las que despoja y también de aquellas que reciben sus aguas desalojadas.

Referencias bibliográficas

Abramovich, V. y Courtis C. (2006). El umbral de la ciudadanía. El significado de los derechos sociales en el Estado social constitucional. Editores del Puerto, Buenos Aires, Argentina.

Abramovich, V. y Pautassi, L. (2009). Cap. 7. El enfoque de derechos y la institucionalidad de las políticas sociales. En Abramovich, V. y Pautassi, L. (comps.). La revisión judicial de las políticas sociales. Estudio de casos (pp. 2-43). Buenos Aires: Editores del Puerto.

Ansuátegui Roig, F. J. (2010). Argumentos para una teoría de los derechos sociales. Revista derecho del Estado, (24), 45–64. Recuperado a partir de https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/derest/article/view/419

Carrión, F. y Erazo, J. (Coords.) (2016) El derecho a la ciudad en América latina. Visiones desde la política. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH) s/f. https://www.cndh.org.mx/derechos-humanos/que-son-los-derechos-humanos

Comité de Agua La Candelaria Tlapala, Comité de Agua Potable Guadalupe Victoria, Comité de Agua Potable San Sebastián, Zumpango, Estado de México (CAPSSZEM), Comité Pozo Rural San Lucas Amalinalco, Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de San Pablo Atlazalpan (SAPASPA), Sistema de Agua Potable Santa María Cuevas, Zumpango, Estado de México, Sistema de Agua Potable Santa María Ozumbilla A.C. (SIAPO), Unión de Comités Autónomos de Agua del Oriente del Estado de México (UCAOEM), Escuelita del agua, y ControlaTuGobierno, A.C. (2024). Guía integral para la administración de los Sistemas y Comités Autónomos de Agua (1era ed.). ControlaTuGobierno, A.C.
https://controlatugobierno.org/wp-content/uploads/2024/07/GUIA-SCAA_web-1.pdf

Constitución Política de la Ciudad de México (2017). https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/estatutos/CONSTITUCION_POLITICA_DE_LA_CDMX_11.pdf

Cruz, P., Méndez, B. y Culebro, J. (2020). La Institucionalización de SAPASE en Ecatepec de Morelos, Estado de México. Revista IAPEM No. 107 septiembre-diciembre. Instituto de Administración Pública del Estado de México, A.C. ISSN 1665-2088. http://iapem.dyndns.org:8080/libros/revistas/REVISTA%20IAPEM% 20107%20web.pdf

Diario Oficial de la Federación (DOF) 2023. Primer Convenio Modificatorio al Convenio de Coordinación por el que se crea la Comisión Ambiental de la Megalópolis.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/882574/Primer_conv_modif_CAMe_formalizado.pdf

Diario Oficial de la Federación (DOF) 2013. Convenio de Coordinación por el que se crea la Comisión Ambiental de la Megalópolis, que celebran la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Gobierno del Distrito Federal y los estados de Hidalgo, México, Morelos, Puebla y Tlaxcala.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5316255&fecha=03/10/2013#gsc.tab=0

Diario Oficial de la Federación (DOF) 2002. Ley de Aguas Nacionales. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=736040&fecha=04/02/2002&print=true

Diario Oficial de la Federación (DOF) 1992. Ley de Aguas Nacionales. https://

dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4700795&fecha=01/12/1992&print=true

Domínguez, J., y Castillo, E. (2018). Las organizaciones comunitarias del agua en el estado de Veracruz. Análisis a la luz de la experiencia latinoamericana. Estudios Demográficos y Urbanos, 33(2):98, 469-503. doi:http://dx.doi.org/10.24201/edu.v33i2.1756

Encuesta Nacional de Agenda Legislativa, ENALE 2023. Visor Ciudadano 77 Febrero 2023 Número Especial. http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/5871/VC_77_ENALE_2023_Resultados%20principales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

González, A. (2016). El derecho humano al agua y las contradicciones urbanas y regionales del abastecimiento del agua. En Carrión, F. y Erazo, J. (Coords.). El derecho a la ciudad en América latina. Visiones desde la política. Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Harvey, D. (2013) Ciudades rebeldes. Del derecho de la ciudad a la revolución urbana. Ed. Akal, Madrid, España.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2022). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH). 2022 Nueva serie. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2022/

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

INAFED. (2021). YouTube: Gestión Comunitaria del Agua. Canal del INAFED. https://www.youtube.com/watch?v=G7KsKlbWOjk

Lefebvre, H. (1968). El Derecho a la Ciudad. Ediciones Península, Barcelona, España.

Legorreta, Jorge. (2013). Los ríos de la ciudad de México: pasado, presente y futuro. Ciencias 107-108, julio 2012-febrero 2013, 18-32. https://www.revistacienciasunam.com/images/stories/Articles/107/pdf/107A02.pdf

Molano, F. (2016). El derecho a la ciudad de Henri Lefebvre a los análisis sobre la ciudad capitalista contemporánea. Folios, revista de la Facultad de Humanidades, Nº. 44, págs. 3-19, Colombia.

Moctezuma, P. 2023. El agua en nuestras manos. Fondo de Cultura Económica. México. 537p.

Morin, E. (2001). La mente bien ordenada. Seix Barral. España. 185 p.

Organización de las Naciones Unidas (1948). Declaración Universal de los Derechos Humanos. https://www.un.org/es/about-us/universal-declaration-of-human-rights

Organización de las Naciones Unidas (1966a). Pacto Internacional de Derechos Civiles y Políticos. https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-civil-and-political-rights

Organización de las Naciones Unidas (1966b). Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. https://www.ohchr.org/es/instruments-mechanisms/instruments/international-covenant-economic-social-and-cultural-rights

Organización de las Naciones Unidas (2016). Proyecto de documento final de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre la Vivienda y el Desarrollo Urbano Sostenible (Hábitat III) (A/CONF.226/4). https://habitat3.org/wp-content/uploads/Draft-Outcome-Document-of-Habitat-III-S.pdf

Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM), Conagua (2024). Almacenamiento en presas del Sistema Cutzamala 2024. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/951940/Octubre_2024.pdf

Ostrom, E. (2000). El gobierno de los bienes comunes: La evolución de las instituciones de acción colectiva. Universidad Nacional Autónoma de México. México. 403 p.

Sandoval D., Méndez B. y Méndez A. (2024, en prensa). El Sistema Comunitario de Agua en el Pueblo de Guadalupe Victoria, Ecatepec, estado de México.

Schurgelies y Baines (2016). Improving metropolitan governance: A case study of the Greater São Paulo. Revista Eletrônica Gestão e Serviços v.7, n. 1, pp. 1561-1575, Janeiro/Junho. https://doi.org/10.15603/2177-7284/regs.v7n1p1557-1571

Vera, F., Toro, F. y Mashini, D. (2024). Lo Metropolitano: escala, complejidad y gobernanza. Ed. Banco Interamericano de Desarrollo. https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/156185-opac

29 Cubierta forestal y el agua: bases para la gestión hídrica en el Ajusco

Alma Abigail Luna-Gil[1], Angel Rolando Endara Agramont[1]*, Luis Fernando Gopar-Merino[2] y Todd S. Fredericksen[3]

[1]Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, Universidad Autónoma del Estado de México (*autor de correspondencia: arendaraa@uaemex.mx);
[2]Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México;
[3]Ferrum College.

Resumen

Este texto desarrolla la interrelación entre bosques y agua, la importancia de la cobertura forestal en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco y, se propone un método para su estudio y recopilación de datos para la toma de decisiones respecto a la gestión del agua. Se demuestra la necesidad de conocer cada caso o zona en particular a detalle y así, recomendar los bosques prioritarios para su conservación; en este sentido, el bosque de oyamel con el 56% de cobertura de copa garantiza el almacenamiento de agua en las zonas bajas, mientras que la cobertura del zacatón (55 %) en el bosque de pino, asegura la captación en las zonas altas. Por tanto, se deberán considerar estas variables en la gestión integral del agua para su inclusión en la toma de decisiones.

Introducción

La cubierta vegetal está íntimamente relacionada con la cantidad, distribución y aprovechamiento de los recursos hídricos. Los árboles, el sotobosque y los suelos forestales contribuyen a la regulación de la cantidad y calidad de agua, además reducen la erosión y recargan las aguas subterráneas. Para la población en general, los bosques son fundamentales en el mantenimiento de las cuencas de captación de agua, de donde se abastecen los acuíferos que usan las ciudades, además son la fuente principal de agua dulce. No obstante, la disponibilidad y calidad del agua está cada vez más amenazada por su contaminación, así como por el uso excesivo y desorganizado de esta (Carrasquilla, 2019).

Al producirse una precipitación pluvial sobre un bosque, una parte es interceptada por la copa de los árboles. Esta agua, capturada por el dosel de la vegetación, se puede redistribuir a través del follaje (precipitación directa), escurrir por los troncos (escurrimiento fustal) o evaporar desde las hojas (pérdidas por intercepción, Echeverría et al., 2007); sin árboles, no hay retención de la lluvia, y se reduce la tasa de infiltración, es decir, en los bosques la captación de agua por precipitación es superior a la evaporación, lo que permite la formación de mantos freáticos que funcionan como importantes reservorios de agua dulce (Figura 1).



Figura 1 Bosque de pino como reservorio de agua dulce, Parque Nacional Cumbres del Ajusco.

Los bosques y los árboles deben ser reconocidos como reguladores primarios dentro de gestión hídrica (Ellison et al., 2017). Además, contribuyen a la creación de cuencas; acumulan, limpian, regulan y distribuyen los recursos acuíferos; evitan que las presas y lagos se llenen de sedimentos. La cubierta forestal entonces, reduce la erosión del suelo disminuyendo tanto la escorrentía de las aguas, como el riesgo de inundaciones y el estancamiento de los embalses y cursos de agua (Granados-Sánchez et al. 2007). En este contexto, es necesario reconocer la estrecha interrelación que existe entre los bosques y el agua y, con ello establecer un compromiso político y técnico que permita mantener este equilibrio y mejorar así las funciones protectoras de los bosques.

Método propuesto

Un estudio de evaluación de las funciones protectoras del bosque en materia de suelo y agua permite recopilar datos de la relación suelo-agua, los cuales aportarán las bases para los gestores forestales y corresponsables a integrar objetivos en las políticas de gestión de los bosques y el agua. Básicamente, el método propuesto registra datos sobre el dosel forestal y cubierta vegetal que permitirán entender: 1) cuáles son las condiciones necesarias para que los bosques desempeñen funciones de protección de suelo y agua, 2) el papel de las copas de los árboles en el ciclo del agua y, 3) cómo el dosel forestal o cubierta forestal influyen en toma de decisiones para la gestión de los recursos hídricos en los bosques (FAO, 2022). Para ello, se recopila información a través de la instalación de sitios de muestreo circulares con líneas imaginarias este-oeste y norte-sur con un radio de 17.86 m, al interior se realiza una descripción general del sitio:

1. Registrar altitud, pendiente, exposición (dirección de la pendiente) y coordenadas geográficas.
2. Vegetación. Tipo de bosque (especies arbóreas presentes), porcentaje de cobertura de copa y porcentaje de cobertura de suelo en los estratos arbustivo y herbáceo (registrar especies).

La practicidad de este método radica en la fácil obtención de variables cuantitativas de vegetación y que tienen implicación directa con el almacenamiento de los recursos hídricos en estos ecosistemas. Además, estudios recientes han utilizado este método con fines de analizar el estado de conservación de los bosques de alta montaña de México (Endara et al., 2023).

Este estudio se llevó a cabo en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco, se ubica en la Alcaldía Tlalpan, Ciudad de México y cuenta con 920 ha (Figura 2). Su altitud máxima es de 3900 msnm y presenta un clima templado subhúmedo. Este Parque forma parte del Bosque de Agua, este último, como su nombre lo indica, provee del recurso hídrico que abastece al Área Metropolitana del Valle de México al captar el 75 % del agua que consume la Ciudad de México (CONANP, 2002).

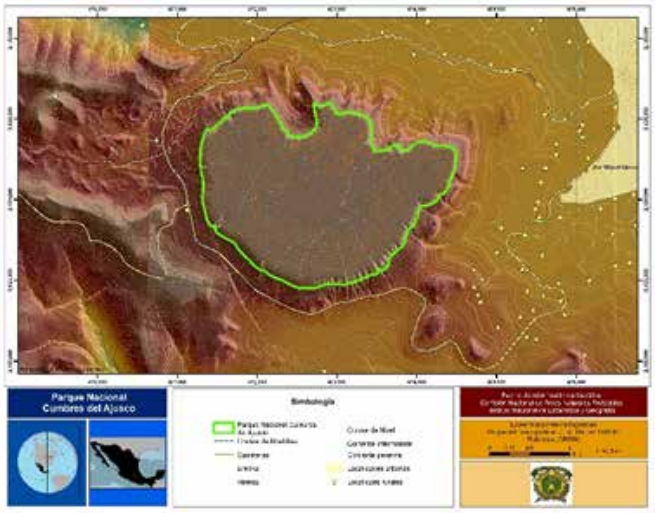


Figura 2 Ubicación del Parque Nacional Cumbres del Ajusco.

Resultados

Tipos de cobertura forestal y su gestión

Dado que México presenta gran diversidad, no es posible definir un solo sistema o enfoque de manejo que asegure la permanencia de los ecosistemas, sino que, se deben desarrollar esquemas que permitan adaptar las prácticas de manejo a las condiciones específicas y únicas de cada situación particular, para ello, se necesita información de los tipos de bosques a gestionar y, con base en los resultados plantear una estrategia particular.

En el caso del PN Cumbres del Ajusco y, puesto que, la vegetación arbórea de climas templados es la que caracteriza a los bosques, también se examinó su cobertura vegetal, esto con el fin de conocer más a detalle la vegetación presente, se estimó el porcentaje de cobertura de los estratos herbáceo y arbustivo. Se registró que los bosques están compuestos por especies coníferas: Pinus hartwegii y Abies religiosa (Tabla 1), aunque también existen latifoliadas. Se les denomina bosques puros aquellos en los que predomina una especie y bosques asociados en los que el predominio está representado por dos o más especies.

Tabla 1 Tipos de vegetación en el Parque Nacional Cumbres del Ajusco: promedio de porcentaje de copa y zacatón, número de árboles por hectárea.

Vegetación	% Copa	% zacatón	Árboles / ha
Abies religiosa	56.32	19.44	229.76
Abies religiosa y asociaciones	54.26	25.72	228.06
Pinus hartwegii	14.90	55.82	251.37
Pinus hartwegii y asociaciones	24.17	63.40	269.17

Respecto a la vegetación, de las 68 especies registradas, dos se encuentran en categoría Sujetas a Protección Especial (Pr): la hierba del sapo (Eryngium proteiflorum) y el musguito de zacatonal (Arenaria bryoides), una en estado Vulnerable (Vu): sauce (Salix cana). Aunque 46 especies no están evaluadas (NE). Los zacatonales o gramíneas amacolladas conforman la cobertura herbácea, los bosques de Pinus hartwegii asociado a otros árboles (Abies religiosa, Salix paradoxa, entre otros) presentó mayor porcentaje de zacatón (63% de cobertura), así como el mayor número de árboles promedio por hectárea, aunque la cobertura de copa es menor en relación a los bosques de Abies religiosa. Se podría deducir que estos ecosistemas de zacatonal y pino sean considerados prioridad en cuestiones de conservación y gestión del agua ya que cobran importancia con porcentaje alto de cobertura de suelo (por el zacatón, 55%) pues fortalecen la filtración y captación del agua. De igual manera, los bosques de oyamel con el 56% de cobertura de copa garantizan el almacenamiento de agua en las zonas por debajo del bosque de pino.

Los cambios (antrópicos o naturales) que se producen en los ecosistemas pueden tener repercusiones considerables sobre el balance hídrico local (Echeverría et al., 2007). La disminución de los recursos forestales se debe a la tala inmoderada, incendios, plagas y enfermedades, aunque, en realidad estos solo son efectos de una problemática social y económica de proporciones locales y globales. La deforestación va acompañada de efectos ambientales adversos, como la modificación de los ciclos hidrológicos y regímenes de aguas: la erosión de suelos, inundaciones en ciudades aledañas, los arroyos y ríos perennes se vuelven estacionales o se secan completamente y la calidad del agua empeora.

Alrededor del 17% de los bosques de oyamel (Abies religiosa) del Parque Cumbres del Ajusco presentan tala selectiva, esto quizás debido a la facilidad de acceso por la cercanía de estos bosques al camino. La tala selectiva que ocurre en poblaciones de oyamel abre el dosel, lo que ocasiona que baje la humedad relativa y, por lo tanto, reduce la capacidad de retención de agua y la disminución de la cobertura de musgo. Con la finalidad de comprender con mayor claridad la importancia del porcentaje de cobertura de copa de los diferentes tipos de vegetación, mediante Google Earth, se representa dicho porcentaje (Figura 3), donde, a pesar de que los bosques de Pinus hartwegii presenta solo el 14.90%, cuando este se asocia con otras especies arbóreas, la cobertura de copa asciende al 24.17%. Mientras que el porcentaje alto de copa arbórea del bosque de oyamel (> 50 %), representa la poca cantidad de luz que deja pasar a través del dosel, esto a su vez, disminuye la evaporación.

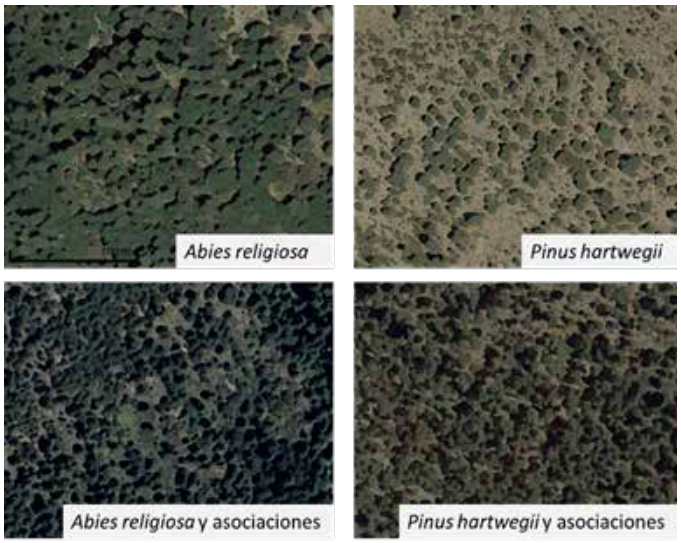


Figura 3 Cobertura de copa y densidad (árboles / ha) de los tipos de vegetación en el Parque.

El balance y ciclo del agua depende directamente del buen estado de conservación de estos bosques y pastizales aledaños a la megalópolis de México, además, esto reduce los riesgos de eventos meteorológicos extremos y mejora la disponibilidad y calidad del agua, así como la distribución en época de sequía. Aunque su manejo dista mucho de ser sustentable, garantizar el agua en la megalópolis requiere de la participación activa ciudadana, esto desde promover una educación socio ambiental crítica, gestión del agua de lluvia, reuso del agua local,

reparación de fugas; de manera colectiva, la conservación de suelos forestales y su regeneración, para que estos ejes se integren a la política pública de manera que se pueda asegurar que la gestión del agua sea parte de la solución y no del problema. Es fundamental el ordenamiento ecológico del territorio, es decir, la planeación de actividades rentables (económica, ambiental y socialmente) para los recursos naturales, con énfasis en el agua y el bosque, en donde, la toma de decisiones no vea al agua como un elemento aislado, sino integrado a los ecosistemas. Para ello, es necesario conservar el mayor volumen de agua en los almacenamientos naturales más eficientes y económicos: las laderas de las montañas cubiertas densamente de árboles (Sánchez et al., 2003).

Dada la importancia del agua, los servicios hidrológicos de los bosques no solo debería ser una gestión consciente, sino también una alta prioridad de gestión y tomar en cuenta variables que van desde la escala (local, regional, etc.) hasta los indicadores a tomar en cuenta, tales como la evapotranspiración, erosión de suelo, sequía, cambio climático, capacidad de infiltración, entre otros, en los que los métodos a diseñar tomen en consideración el agua en las actividades relacionadas con el bosque.

Participación social

En función de los objetivos e indicadores, las decisiones de gestión forestal son más efectivas al elegir las mediciones y monitoreo adecuados. Esta metodología propuesta está en función de la relación de la vegetación del bosque y el agua que tiene el propósito de ser rápida y accesible a la población en general. Los resultados que se obtienen permiten priorizar los tipos de bosque y su estado de conservación para ser sujetos de apoyos gubernamentales.

Los pagos por los servicios ambientales hidrológicos son un mecanismo prometedor para el reparto de beneficios y la cooperación entre las instancias encargadas de la gestión forestal e hídrica, por lo que deben considerarse como parte de un proceso más amplio de gobernanza local participativa. Esta gestión participativa puede traer varios beneficios, tales como: mejorar la calidad de vida de las personas locales, facilitar una definición coherente de las necesidades de la zona donde se lleve a cabo este tipo de gestión, permitir la incorporación de actores como el sector público privado, comunidades locales y universidades, identificar soluciones más eficientes (Gil y Reyes, 2015), además de incorporar múltiples conocimientos y puntos de vista que facilitan el intercambio entre saberes, por lo que, el aspecto social es significativo en dicha gestión.
El 95% de los ejidatarios del Parque están interesados y dispuestos a apoyar en pro de su conservación. Es importante recalcar que, para conservar su bosque realizan prácticas silvícolas al menos cinco días a la semana, esto conlleva a una apropiación del bosque por los ejidatarios y/o comuneros, esta participación social contribuye a que la gestión de los bosques y el agua sea más eficiente y duradera.

Problemáticas y oportunidades

Algunas problemáticas referentes a la gestión del agua en casos particulares como lo es el Parque Nacional Cumbres del Ajusco se describen la Tabla 2.

Tabla 2 Problemáticas y oportunidades para integración de los bosques en la gestión del agua.

Problemáticas	Oportunidades
Planes de acción para la conservación de bosques no centralizados en el agua	Es preciso tomar en cuenta métodos que sean sencillos y rápidos de realizar que tomen en cuenta factores relacionados al agua y, que estén al alcance de la población general.
La información para la toma de decisiones es generalizada y no pública	Se requiere de la obtención y acceso libre a la información local por parte de los gestores más próximos.
Falta de continuidad de la gestión del agua por asociados a nuevas formas de democracia	La toma de decisiones requiere que, desde diagnóstico, planificación monitoreo y evaluación sea dada a conocer y/o sea continúa a pesar de los cambios de organización social y política.
Existe una desvinculación con el sector social	La gestión cada zona particular requiere de la participación social y el involucramiento de los ejidatarios y/o comuneros de principio a fin de manera activa.

Referencias bibliográficas

Carrasquilla, O. (2019). Bosques para el agua: Integración del manejo forestal sostenible y el manejo de recursos hídricos. CAF Banco de desarrollo de América Latina.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP, 2002). México: Corredor Biológico Chichinautzin. CONANP-UAEM-CONABIO.

Echeverría, C., Huber, A. y Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. Bosque (Valdivia), 28(3), 271-280.

Ellison, D., Morris, C., Locatelli, B., et al. (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. Global Environmental Change, 43, 51-61.

Endara A.A.R., Aguirre, Z.J.J., Luna G.A.A., Rosas S.M.A., Varo R.R.D. y García A.L.A. (2023). Atlas de plantas parásitas en bosques templados de México. Aldus. México.

FAO, IUFRO y USDA. (2022). Guía para la gestión de los bosques y el agua. Estudio FAO: Montes, No. 185. Roma.

Gil, A.M. y Reyes, H.H. (2015). Gestión integral del agua desde un enfoque social hacia una economía ecológica. Nóesis, 24 (47), 159-174.

Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G.F. y Hernández-García, M.A. (2007). Ecología y silvicultura en bosques templados. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 13(1), 67-83.

Sánchez Vélez, A.S., García Núñez, R.M. y Palma Trujano, A. (2003). La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. SEMARNAT. México.

30 Transición hacia el fin al paradigma extracción-desecho en la región suroriente de la Cuenca de México

Eloísa Domínguez Mariani[1]*, Carlos Vargas Cabrera[2]

[1]Universidad Autónoma Metropolitana (*autor de correspondencia: e.dominguez@correo.ler.uam.mx);
[2]Centro para la Sustentabilidad Incalli Izcahuicopa, Centli

Resumen

El descenso de los niveles de agua subterránea a nivel mundial se ha convertido en tema de preocupación debido a que hay claras evidencias de disminución del almacenamiento por extracción intensiva y también de la calidad debido a la incorporación de contaminantes de origen antropogénico, y por efectos de cambio climático. Otro asunto vital es que el manejo del agua consideró separar administrativamente el agua subterránea de la superficial, ignorando las interrelaciones entre ambas e incluso la que existe con la biodiversidad. El suroriente de la Cuenca de México tiene la mayor precipitación pluvial de la cuenca, se ubica aquí una importante cobertura forestal, y suelo de conservación. La región contaba con abundantes ríos, manantiales y lagos donde las comunidades desarrollaron chinampas. Actualmente, coexisten dos entidades federativas, la Ciudad de México y el estado de México, con tasas de crecimiento muy altas, las que favorecieron la desecación del lago y la explotación intensiva del agua subterránea; la subsidencia del terreno provocada por la sobrextracción del agua subterránea ocasionó la reformación de un cuerpo lacustre renombrado como Lago Tláhuac Xico. Las aguas residuales son canalizadas por gravedad hacia este lago y/o hacia la Cuenca del Río Tula mediante el Sistema de drenaje de la cuenca, con grandes efectos ambientales para el Valle del Mezquital. Adicionalmente, se tiene la disposición de toneladas de cascajo en el Lago Tláhuac Xico que alcalinizan suelo y agua, además de otros daños ambientales y de contribuir a la compactación del subsuelo. Se analizan aquí las estrategias de restauración originalmente planteadas en el Plan Hídrico de los Ríos Amecameca-La Compañía, la reciente declaratoria de ANP (‘Área Natural Protegida) Lago Tláhuac Xico, el tratamiento de agua residual mediante humedales y su repercusión con el agua subterránea en el contexto de los socios ecosistemas de la región.

Introducción

De acuerdo con cifras de la UNEP (2024) la cantidad de agua dulce disponible a nivel mundial para uso humano es del 3%, lo que involucra tanto agua superficial como subterránea. En México, las aguas superficiales representan el 42% del abastecimiento de agua potable (SEMARNAT, 2024); como problemas actuales para su disponibilidad son los períodos de sequía extrema y la contaminación por agua residual principalmente; el agua subterránea representa el 58% del abastecimiento para agua potable, el que va en decremento a causa de la explotación intensiva y por contaminación desde fuentes superficiales. De acuerdo con SEMARNAT (2024), en 67 años (1950-2017) el volumen de agua per cápita se ha reducido en 79%, pasando de 17 742 a 3 656 metros cúbicos por habitante y seguirá reduciéndose, lo que provocará escasez y competencia por el uso.

De manera tradicional el paradigma para el agua ha sido “extracción y desecho”, mientras existe escasez e inundaciones que ponen en riesgo la vida humana y la infraestructura urbana y el desarrollo de las actividades humanas y las de productividad en la región. Ha significado la extracción de agua sin considerar su capacidad de renovación. En el caso del agua subterránea la recarga tiene valores de mm/año (Foster y Tyson, 2016, p.3), mientras el descenso o abatimiento en el acuífero de la Zona Metropolita de la Ciudad de México es de 2 a 3m anuales (Conagua, 2024) p. 28. En tanto que el desecho de agua residual sin tratamiento genera el riesgo de contaminación a suelos y al agua subterránea y enfermedades a poblaciones aledañas. La contaminación provoca una menor disponibilidad del vital líquido por limitar su uso o bien, por significar riesgos a la salud de los consumidores.
Particularmente importante es el hecho de que el agua residual se incrementa en volumen, a la par que se incrementa de forma proporcional el cre-

cimiento de la población, la producción industrial como también se incrementa el número de industrias. Sin embargo, la capacidad de tratamiento nacional refleja que se tiene un tratamiento del solamente del 40% (INEGi, 2021).

Esto significa un claro ejemplo de la economía lineal para el agua donde la crisis climática, la disminución de la calidad y la competencia por el agua agudizarán el abasto. Por otro lado, en un esquema circular del agua se prioriza el menor uso de agua de primer uso, esto es, la extraída del subsuelo, cuyo volumen no debe superar la tasa de recarga; se promueve el reuso continuo de agua tratada y nutrientes, además de minimizar los impactos ambientales de las acciones anteriores. Se incorporan además sistemas de ciclo cerrado y de tecnología. Para tener éxito, la UNEP (2024) considera la colaboración de grupos diversos, tomadores de decisión, investigadores, consumidores, gente de negocios que participen en tres roles, que incrementarán las posibilidades de llevar a cabo la transformación hacia la modificación a la normatividad vigente e incrementarán la gobernanza participativa.

Las condiciones de una situación extrema de crisis hídrico-ambiental se pueden ejemplificar en la región suroriente de la Cuenca de México, (Figura 1), que comprende las subcuencas de los ríos Amecameca la Compañía y el Lago Tláhuac Xico.

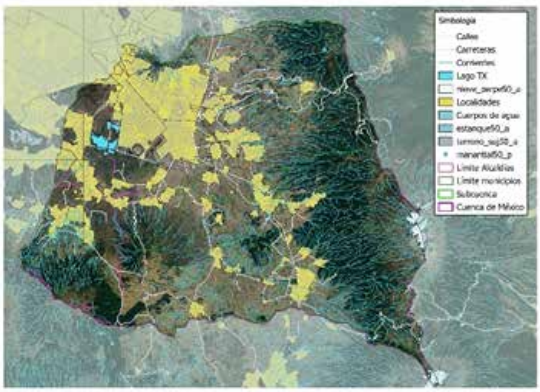


Figura 1. Mapa de la región suroriente de la Cuenca de México

Desarrollo

En esta región se tiene un gradiente de altitudes de 2,876m (5,112-2,236 msnm) debido a que está rodeada al oriente por la Sierra Nevada y por el sur, la Sierra Chichinautzin. Esto representa condiciones socioeconómicas diversas tanto de alta montaña como de planicie y de zona lacustre ocupada por el Lago Tláhuac Xico. Se ubica casi en su totalidad en el estado de México, y una pequeña porción de la Ciudad de México. Para el primero se ubican los municipios de Amecameca, Ayapango, Cocotitlán, Chalco, Ixtapaluca, Juchitepec, Tenango del Aire, Tlalmanalco, Temamatla y Valle de Chalco, para la Ciudad de México corresponde parte de las Alcaldías Tláhuac y Milpa Alta.

Asimismo, por este gradiente de altitud existen Áreas naturales como Parque Nacional Izta-Popo que es de las más importantes del país, otras de menor tamaño son el Cerro Sacromonte, Corredor biológico Chichinautzin, Parque estatal Cerro el Faro y Cerro de los Monos, Parque Estatal Santuario Lagunas de Xico, Parque Estatal denominado Santuario del Agua Manantiales Cascadas de los Diamantes, Parque Estatal Santuario del Agua y Forestal Santuario del agua Ecatzingo, Reserva Estatal del Cerro Ayaqueme y volcán Huehuel. La existencia de estas áreas significa que deberían existir condiciones para el cuidado, conservación y aprovechamiento por parte de las comunidades que viven en su cercanía

Problemática y oportunidades

Por esta confluencia de ambientes urbanos, rurales y forestales que en 2011 mostraban en conjunto una crisis de sustentabilidad, y de la paradoja extracción-desecho, escasez-inundación se planteó el Plan hídrico para las Subcuencas de los Ríos Amecameca La Compañía y Lago Tláhuac Xico (PHRACLTX) (Burns, 2011) donde el problema raíz era la falta de coordinación y acción gubernamental, social y científica para la sustentabilidad del que a su vez derivaban tres problemas principales:

A. Irregularidades en el manejo de concesiones y autorizaciones inmobiliarias,
B. Aumento en frecuencia y severidad en las tormentas debido al cambio climático.
C. Deforestación.

En tanto que la solución principal que se propuso fue la Planeación y acción colaborativa para cumplir

con el Plan hídrico de las Subcuencas de los ríos Amecameca-La Compañía y Lago Tláhuac-Xico (PHRACLTX). Los problemas detectados durante la elaboración del PHRACLTX se han agravado en los 14 años que han transcurrido hasta la fecha en que esto se escribe. Empero se han diseñado y/ renovado estrategias para el cambio en la gestión de la esta región. Se presentan a continuación de forma resumida, los principales problemas relacionados con la gestión del agua y las oportunidades detectados en reuniones de trabajo con comunidades y ejidos del suroriente de la Cuenca de México:

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Parte alta: alta erosión fluvial, pérdida de la cobertura forestal, cambio de uso de suelo forestal a urbano	Desazolve de presas para la retención de agua y sedimentos. Elevar la tala de árboles a delito federal. Protección a defensores ambientales
Zona rural: incremento del escurrimiento, uso de fertilizantes en zonas agrícolas, incremento urbano explosivo	Retención y almacenamiento de agua de lluvia, Ordenamiento colaborativo para proteger el uso forestal en contra de la instalación de fraccionamientos. Construcción de humedales para tratamiento
Zona de planicie: extracción intensiva de agua subterránea, agua residual sin tratamiento, escasez de agua potable y de riego, subsidencia, Inundaciones, caciques del agua.	Revisión de concesiones de agua subterránea. Retención, tratamiento y reuso seguro de agua. Privilegiar el Derecho Humano al agua para uso doméstico y para la producción agrícola de autoconsumo.
Zona lacustre: tiraderos de cascajo, procesos de alcalinización y sodificación de suelos, mala calidad del agua, evaporación del agua de LTX, afectación de aguas de escurrimiento fluvial, de lluvia y residual sin aprovechamiento.	Implementar Proyecto Habilitación Integral Lago Tláhuac Xico, SEMARTNAT, 2022. Declaratoria ANP Lago Tláhuac Xico, DOF 8 -ene-2024. Preservación Zona chinampera. Desarrollo de proyectos ejidales y comunitarios agroecológicos.

Como se apuntó en la Introducción, se requiere de la participación de diversos sectores de la sociedad para lograr la economía circular del agua, lo que también fue la base para la elaboración del PHRACLTX. En 2015, se creó la Contraloría de la Ciudad de México, figura que también fue incluida como en la Propuesta de proyecto de dictamen y articulado Ley General de Aguas (Moctezuma Barragán y Burns, 2019) en que se apunta que son “mecanismos organizados desde las comunidades y la ciudadanía para diagnosticar la situación del agua en sus territorios, acordar planes y propuestas para vigilar e influir en el quehacer gubernamental en torno a la gestión del agua y su entorno natural” (Conahcyt-UAM Azcapotzalco, 2024).

En la región se están integrando Grupos promotores de Contralorías Ciudadanas Autónomas del Agua que generan propuestas, planes y vigilan la aplicación de la normativa nacional e internacional en la gestión del agua, del ambiente y de los derechos humanos, de los pueblos originarios y de la Madre Tierra para la restauración de la región. Asimismo, dan apoyo instituciones como CORENADR, CONANP, gobiernos de los municipios de Valle de Chalco y de Tepetlixpa, Gobierno de la Ciudad de México (2022) y del actual, Secretaría del Agua, Edoméx, además de instituciones de enseñanza superior de la región.

De esta forma las estrategias en la región incluyen el manejo desde cuenca alta donde permitirán conservar la masa forestal, para dar oportunidad a la recarga o a retención de agua. En cuenca media y baja, es donde se dan los mayores efectos de la extracción de agua subterránea y de la presencia de agua residual, por lo que las estrategias de tratamiento y reuso se deben dar en esta parte de la región. Sería de esperar que la extracción aminorara a fin de disminuir o estabilizar el ritmo de abatimiento del agua subterránea, con el reciclado del agua, el uso de ecotecnias y de la construcción de la ciudadanía responsable y comprometida que obligue la aplicación de normativas encaminadas hacia la sustentabilidad.

En zona lacustre, el esquema de tratamiento que se propone permitiría, por un lado, tener volúmenes disponibles para agua de riego y potable, y a la vez restaurar el Lago en cuanto a la biodiversidad, y con esto establecer espacios para el ecoturismo.

Conclusión

Las soluciones para la problemática de crisis hídrica, que es transversal para ser también crisis social, económica y ambiental, están surgiendo de grupos organizados que confluyen desde el diálogo para el encuentro de soluciones desde los saberes tradicionales, adaptaciones tecnológicas, esquemas de cooperativas sociales y sustentables, sistemas comunitarios del agua, organizaciones de productores, ejidos.

Las contralorías fomentan el acercamiento hacia grupos diversos con diferentes ópticas de la región a fin de conciliar soluciones proambientales.

Referencias bibliográficas

Burns, E. (2011). Plan hídrico de las subcuencas Amecameca, La Compañía y Tláhuac-Xico, Universidad Autónoma Metropolitana, 240.

Conagua (Comisión Nacional del Agua, 2024). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Zona Metropolitana de la Cd. De México (0901), 40p.

DOF (Diario Oficial de la Federación, 2024). DECRETO por el que se declara área natural protegida, con la categoría de área de protección de recursos naturales, el sitio Lago Tláhuac-Xico, ubicado en la demarcación territorial Tláhuac, Ciudad de México y en el municipio de Valle de Chalco Solidaridad, Estado de México, y que abarca la superficie de 3,545-41-40.66 hectáreas (Segunda publicación).

Foster, S., Tyson, G., (2016). Cambio global y aguas subterráneas. Serie de visión estratégica. Asociación Internacional de Hidrogeólogos, 6p.

Grupo Promotor Contraloría Ciudadana del Agua CDMX, (2024). ¿Qué son las contralorías ciudadanas autónomas del agua? Folleto, 4p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2021). Cuéntame de México. Territorio. https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/residual.aspx?tema=T.

Moctezuma Barragán, P. (2021). Propuesta de proyecto de dictamen y articulado Ley General de Aguas, Universidad Autónoma Metropolitana, 225 p.

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2022). Proyecto de Aprovechamiento y Manejo Ambiental del Lago Tláhuac Xico. Informe final. Junio del 2022, 501 pp.

SEMARNAT (Secretaria del Medio ambiente y recursos naturales, 2024) Capítulo 6, Agua. Informe del Medio Ambiente. https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html#tema1.

UNEP (United Nations Environment Programme, 2024). Water as a Circular Economy Resource - Foresight Brief 033. DOI https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44782. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44782.

31 La gestión del agua en la V zona de Ecatepec de Morelos

Maribel Espinosa-Castillo

Centro Interdisciplinario de Investigaciones y Estudios sobre Medio Ambiente y Desarrollo del Instituto Politécnico Nacional (*autor de correspondencia: mespinosac@ipn.mx)

Resumen

En la V zona de Ecatepec de Morelos, uno de los municipios conurbados a la Ciudad de México, prevalece una crisis hídrica y de derechos humanos por los escases de agua que lleva más de 4 años. Esta zona alberga a más de 800 mil personas que desde el año 2020 han visto la reducción del caudal de agua en sus domicilios y en consecuencia han tenido que adquirir agua a particulares. Este comercio del agua se ha acentuado a partir del cambio de régimen en el año 2018, cuando el control estatal del agua fue afectado por el cambio de partido político municipal. A lo anterior se suman las condiciones del suelo en la V zona del exlago de Texcoco, los permanentes desplazamientos de tierra, la aparición de socavones y la permanente ruptura de la red hidráulica. Al ser la V zona parte del vaso del exlago de Texcoco, en cada temporada de lluvia, el agua vuelve a tomar su cause; por ello, año con año algunas viviendas se vuelven a inundar; el agua toma su lugar en la cuenca de México. El objetivo del presente capítulo es analizar ¿cómo se está dando la gestión del agua en la V zona de Ecatepec? y hacer evidente la crisis hídrica que vive la población de este municipio metropolitano. El análisis territorial se llevará a cabo a partir de documentación biblio-hemerográfica y entrevistas a informantes clave. En todo momento la gestión del agua en Ecatepec de Morelos observa condicionantes territoriales y obstáculos político sociales; los primeros son inevitables, los segundos son los que conducen a la grave crisis de agua que se vive en la actualidad.

Introducción

Ecatepec de Morelos es un municipio conurbado al norte de la Ciudad de México. Es el más poblado del Estado de México, alberga 1’656,107 habitantes para 2020 (INEGI, 2020); y actualmente es una de las entidades con mayores problemas de dotación de agua potable en la zona conurbada. En la V zona de Ecatepec se asientan más de 800 mil habitantes; el suelo, al nacer del exlago de Texcoco es salino e inestable, no tiene productividad agrícola y no es fácil que crezca vegetación; por ello, la carencia de masa forestal y pozos.

El municipio de Ecatepec de Morelos observa tres momentos de crecimiento urbano. 1. El que deviene de la urbanización de los antiguos pueblos, a las orillas de la vialidad colonial a Veracruz, hoy llamada carretera México-Pachuca. Pueblos reconocidos desde la época prehispánica como: Santa María y Sant o Tomás Chiconautla Santa Clara Coatitla, San Pedro Xalostoc, Santa María Tulpetlac, Tecpayocán-Guadalupe Victoria, San Isidro Atlautenco y San Andrés de la Cañada. Todos ellos con un antecedente cultural prehispánico, con una identidad territorial y una red económica que incidió en el desarrollo urbano de todo el municipio. 2. El crecimiento del área urbana en los suelos desecados del exlago de Texcoco en la década de los años 60 del siglo XX. Al momento de pretender darle productividad agrícola a los terrenos del desecado lago, lo fraccionaron y adjudicó a las entidades cercanas; a Ecatepec le correspondió la fracción V. Es esta área de suelo de alta vulnerabilidad la que comúnmente se identifica de alta densidad poblacional, inundabilidad y de carencia de agua. 3. El tercer momento de crecimiento del área urbana de Ecatepec se dio sobre la Sierra de Guadalupe y áreas limítrofes municipales en la década de los 80 del siglo XX. Este momento se caracteriza por la migración permanente al municipio y la venta del suelo, “en los cerros”, de la Sierra de Guadalupe.

Particularmente, el crecimiento de la V zona de Ecatepec se observó en 2 etapas constructivas: construcción y consolidación (Espinosa, 2010). A partir de la década de los 60 sus pobladores no solo construyeron los cimientos, caminos y viviendas en sus colonias, sino que ayudaron a consolidar un mercado inmobiliario, comercial y político a las afueras de la gran ciudad. En la etapa constructiva se considera el proceso de regularización de los terrenos, donde, los programas gubernamentales: PRIZO (1972), FINEZA (1973) y Plan Sagitario (1976), fueron acciones de la Legislatura del Estado para la regularización del suelo (1978). La etapa de consolidación considera el Fortalecimiento de la estructura urbana y su integración a la Ciudad México. El fortalecimiento se logró con la construcción y gestión de servicios urbanos locales (80s), la creación de espacios de consumo masivo (Plazas: Aragón, Neza, Multiplaza, Center) (80s). La integración se dio con la introducción de nuevas tecnologías: telefonía, televisión por cable (1984), telefonía celular, internet (2000). Además de la Metropolización con vialidades y transportes: STCMetro (2000) (Espinosa, 2008).

Durante la pandemia de Covid-19, la V zona de Ecatepec vio reducida su dotación de agua del sistema Cutzamala administrado por la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM). El cambio de régimen de gobierno junto a una obsoleta red hidráulica, generó una crisis humanitaria por la carencia del vital líquido. La relación directa sobre la falta de agua y el incremento del Covid-19 en la V zona, no fue evidente inmediatamente, sin embargo, el Municipio de Ecatepec fue la entidad local que más fallecidos reportó durante los dos años que duró la emergencia sanitaria por Covid-19 (Espinosa, 2021) (CONACYT, 2024).

Son diversos los factores que caracterizan la crisis hídrica que vive la V zona y son múltiples las implicaciones por la carencia del vital líquido. Entre los elementos que aclararían lo que sucede en torno a la carencia de agua se encuentran: el origen del territorio y condiciones de su suelo; las condiciones de la infraestructura hidráulica; y la política local y estatal respecto a la gestión del agua. De ahí que el objetivo del presente documento sea analizar ¿Cómo se está dando la gestión del agua en la V zona de Ecatepec?, a fin de proponer acciones de política pública que atiendan la crisis de agua en la zona oriente conurbada de la Ciudad de México.

Metodología

La participación en el Primer Congreso de Sistemas Comunitarios (2024) y del Taller Participativo del agua del Programa Hídrico Integral para el Estado de México 2024–2029, permitieron la realización de entrevistas a ciudadanos interesados en la problemática de la gestión del agua en Ecatepec. El análisis de la cartografía gubernamental sobre la red hídrica existente en Ecatepec permitió identificar los espacios de carencia de infraestructura y los espacios para crear las “Islas de captación de agua”. El análisis bibliográfico sobre la urbanización y conurbación en la Ciudad de México ha sido fundamental para identificar el contexto histórico y urbano del municipio de Ecatepec de Morelos y de la V zona en particular.

El origen del suelo

El origen del Municipio de Ecatepec de Morelos data de la época prehispánica. Algunos de los 7 pueblos que dieron origen al municipio se localizan a lo largo de la vialidad más importante del municipio: la antigua carretera México -Pachuca. Sin embargo, para la década de los años 30 del siglo XX, con el deslinde de los terrenos del desecado exlago de Texcoco es creada la V zona de Ecatepec (ca. 1932) (Espinosa, 2008). El fraccionamiento del desecado lago derivó en VI fracciones.

“El vaso del lago se delimitó a partir de la cota 7.10 del terreno, el área que se fraccionó fue la poniente, dividida a su vez en VI zonas. El número de éstas se asignaron del I al VI, en orden de sur a norte, de manera que la zona II quedó al sur y la VI al norte. Las zonas I, II, III y IV corresponden a lo que actualmente es el municipio de Nezahualcóyotl, la IV zona se distingue hoy porque es la parte norte de Nezahualcóyotl; la V corresponde a un área triangular que forma parte del municipio de Ecatepec, el límite poniente de esta área corre paralela al Gran Canal del desagüe, a una distancia de entre 500 metros y un kilómetro en su extremo sur y norte, respectivamente, y al oriente colinda con los terrenos del exlago de Texcoco al borde del antiguo canal de desagüe del Lago de Texcoco una parte de la zona VI se localizó al norte del territorio actual del municipio de Ecatepec y otra correspondió al municipio de Atenco; asimismo, el área de El caracol, que eran terrenos de tratamiento de sales que pertenece al municipio de Ecatepec, era parte de la VI zona” (Es-

pinosa, 2008). Así, desde la década de los treinta del siglo pasado, quedó delimitado el territorio de la V zona del exlago de Texcoco. Véase figura No. 1

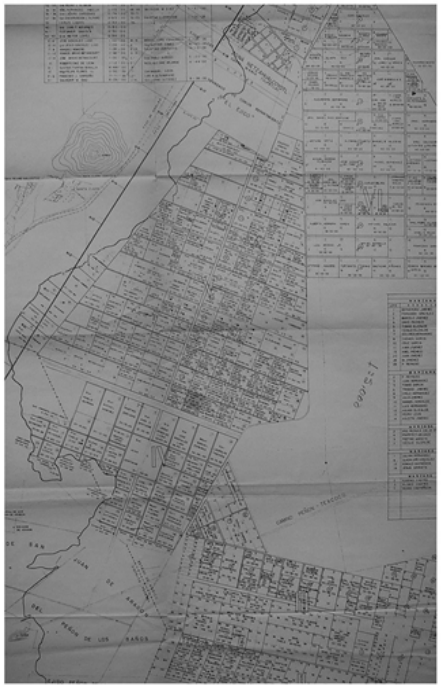


Figura No. 1
Fraccionamiento de terrenos del exlago de Texcoco en VI zonas (1932 ca.) Fuente: Archivo Municipal de Ecatepec de Morelos.

La V zona de Ecatepec fue una fracción de terrenos salinos que se proyectaba dedicarlos a actividades agrícolas, pero que finalmente la especulación inmobiliaria los incorporó al mercado del suelo para viviendas. A finales de la década de los años 50 nacen las primeras colonias, alejadas de los pueblos, cercanas al área industrial, y a la principal vialidad, la carretera federal a Pachuca. Para los años 60 los fraccionadores clandestinos comenzaron a ofrecer suelo urbanizable del centro de la V zona. De la vía Morelos se tendieron tres "vialidades" o caminos principales perpendiculares a la antigua carretera México-Pachuca y que permitieron la movilidad de los nuevos colonos. Estas vialidades fueron: la Av. Central, partiendo de lo que es actualmente la planta industrial de jugos Jumex; la avenida de la Laguna (Vicente Lombardo Toledano), partiendo de la Y griega (desviación), y la avenida Circunvalación / Boulevard de los Aztecas, al pie del denominado "Cerro Gordo", para conectar el fraccionamiento Ciudad Azteca. Así, el tendido de caminos al centro de la V zona, facilitó el desplazamiento de fuerza de trabajo y mercancías, y la creación de fraccionamientos y colonias sin infraestructura y servicios para la sobrevivencia digna. Cabe señalar que el límite sureste de la V zona corresponde a la parte central del exlago de Texcoco, decir, es la parte más baja; de ahí las actuales inundaciones que sufren las colonias que se encuentran asentadas en ese lugar.

Al momento de la venta de los terrenos, resultado del fraccionamiento del vaso de Texcoco, los vendedores, fraccionadores y oportunistas del sector inmobiliario no tenían la propiedad del suelo, pero sí la omisión de las autoridades municipales, estatales y federales para construir un mercado inmobiliario en pleno vaso del lago. Los periódicos de la década de los 60 muestran las grandes inundaciones que afectaban a los avecindados y colonos que desafiaron la desecación final del lago. En épocas de lluvia las colonias y viviendas se observaban completamente inundadas y, sin agua potable, drenaje, electricidad y, en muchos casos, sin la atención de las autoridades locales.

Las condiciones del suelo

Durante la Etapa de Construcción del espacio urbano en la V zona, de 1944- 1980, la población contribuyó a compactar los suelos; se rellenaban los terrenos y caminos con cascajo de otras localidades urbanas para evitar las inundaciones. Durante muchos años, al no haber drenaje, el agua de lluvia se acumulaba, y el lago volvía a aparecer. Actualmente el suelo de la V zona se ve presionado por la carga de las viviendas y la que ejercen los transportes.

El estrato de escombros superior con el que se recubrió el lago, no eliminó la condición expansiva de las arcillas inferiores, que al carecer de agua, "aumentan o disminuyen el volumen del suelo".

De acuerdo a Santoyo de la Cruz, "Los suelos del exlago de Texcoco están compuestos por arcillas del tipo 2:1 (esmectitas), que se caracterizan por ser expansivas, es decir, aumentan o disminuyen el volumen conforme a su contenido de agua. Existe la presencia de estratos endurecidos cementados naturalmente por carbonato de calcio y sílice amorfa en la Ribera del ex lago de Texcoco, formándose cristales de silicato de sodio" (2021:37). En los terrenos del lago se formaba una costra superficial de sales, que en época de estiaje se pulverizaba formando tolvaneras salinas, y en época de lluvias el aumento de agua desplaza los suelos generando socavones.

“El suelo dominante en esta área es un fluvaquentic endoaquollos, que significa que es un mollisol, debido a la acumulación de materia orgánica promovida por el pasto salado (…); con un régimen de humedad áquico (influencia del manto freático) y con propiedades flúvicas. Debajo de la capa de suelo se encuentra una capa de ceniza volcánica, seguido del sedimento lacustre o “jaboncillo”, denominado así localmente por su sensación jabonosa” (Santoyo, 2021: 38).

Con lo anterior se puede comprender porque el suelo del vaso de lago no es firme, permanentemente se encuentra en movimiento cuando se efectúa una presión al suelo; cuando pasa un vehículo pesado como un trailer se siente el movimiento. Se hacen socavones por la movilidad del terreno y hay hundimientos con el peso de las construcciones. Las paredes de las viviendas sobreviven a la costra de sal “manto blanco” con el que es recubierta la base de todas las viviendas; es salitre. Al efectuarse una excavación no profunda se encuentra agua, ya que el recubrimiento con cascajo, piedra o tepetate no fue lo suficientemente profundo para evitar que el agua del lago vuelva aparecer.

La infraestructura hidráulica de más de 40 años está dañada, erosionada por la sal; las viviendas de más de tres niveles colapsan por la presión al suelo, sobre todo, frente al paso de vehículos pesados. Y los socavones aparecen con frecuencia, sobre todo en temporada de lluvias cuando el agua se desplaza debajo, busca filtrarse al subsuelo y remueve el fondo.

En la siguiente figura se puede observar el hundimiento del suelo y de la construcción, la cual tiene más de 40 cm. de hundimiento.



Figura No. 2 Hundimiento de construcción en la V zona.

Por las condiciones salinas del suelo, la vegetación en la V zona es mínima. En el vaso del lago solo pueden distinguirse comunidades vegetales de: pirules, lentejilla, pasto salado, romerito y eucalipto (Santoyo, 2021). Existen sólo en áreas específicas como parques, en las jardineras privadas o en los patios, áreas verdes insuficientes para una población de 800 mil habitantes.

La infraestructura hidráulica

Para la década de los 80 el gobierno del Estado ejecutó programas de regularización de suelos nacionales. A través de este mecanismo se otorgó la propiedad del suelo a particulares y con ello regularizar un mercado de servicios de: electricidad, agua potable y alcantarillado. La consolidación del área urbana comenzó con la construcción social de la infraestructura hidráulica, colonia por colonia. Una vez regularizado el suelo, a través de la Ley de Cooperación de Obras Públicas los colonos ponían una parte del recurso y su fuerza de trabajo, y el gobierno otorgaba otro recurso, y con ello comenzaría la construcción de drenaje, sistema hidráulico, banquetas y pavimentación (Espinosa, 2010).

El servicio de agua potable y alcantarillado en el municipio es administrado por el organismo público descentralizado denominado Servicios de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento del Municipio de Ecatepec (SAPASE) desde 1991 (GGPOGCEM).
El organismo municipal señala que el municipio se alimenta de una red hidráulica de 86 pozos profundos y de la dotación que envía el sistema Cutzamala (SAPASE, 2024). Ecatepec de Morelos tiene una Red Primaria de: pozos, tanques, cárcamos, cisternas, estaciones de rebombeo y puntos de descarga.

De la infraestructura hidráulica municipal destaca que en la zona de los pueblos prevalece los pozos comunitarios que están a las faldas de la Sierra de Guadalupe; en la zona de la cañada sobresale la existencia de tanques abastecedores cercanos al área natural protegida; y en la V zona destacan tanques y cárcamos de bombeo para contención y distribución de agua; pero son mínimos. Cabe señalar que la zona de los pozos es la misma que la de los pueblos, es la misma que la de la zona industrial; muchas industrias tienen sus propios pozos, es decir, tienen concesiones de agua.

El tanque abastecedor de la V zona recibe el agua del sistema Cutzamala y es operado por la CAEM, de los 24 pozos perforados en Ecatepec al año 2020, solo 5 se ubican en la V zona (Ecatepec.gob, 2020). Cuatro sobre R-1 (av. Adolfo López Mateos) y otra en la avenida Ignacio Pichardo Pagaza.

Al ser el vaso del lago el origen de la V zona, la perforación de pozos ha sido complicada. Los terrenos salinos y de alto desplazamiento de suelo obliga a que la perforación de suelo sea más profunda. Por ello, son limitados los pozos de agua, y los que existen, no logran abastecer a las más de 800 mil personas. Así, la V zona no tiene lagos, fuentes superficiales de agua, no hay suficientes pozos y no hay cisternas. Es el servicio de distribución de agua privado lo que prevalece en la V zona de Ecatepec.

La política local, estatal y federal respecto a la gestión del agua

Durante la Pandemia de Covid-19 la carencia de agua fue más preocupante, ya que cumplir las condiciones sanitarias implicó el uso del agua. Iniciando el año 2020 se observó una reducción del caudal del tanque abastecedor a la V zona, pues paso de 1086 litros por segundo (lps) de abril de 2019 a 941 lps., en el mismo mes del siguiente año; luego se redujo a 870 lps., a marzo de 2021; y a 745 lps. en febrero de 2022 (SAPASE, 2022). Durante los dos años de la pandemia de Covid- 19, la CAEM redujo la distribución de agua en bloque al Tanque Abastecedor de Cerro Gordo en la vía Morelos, punto de distribución del agua que llega a la V zona y que abastece a 152 colonias.

A partir de marzo de 2020 el gobierno del Estado de México, a cargo del señor Gobernador Alfredo del Mazo Maza, dejo de suministrar 37 millones de litros de agua al día; "Mario Luna Escanamé, director del Sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Ecatepec (Sapase), dio a conocer que en lo que va del mes, el municipio solo ha recibido 770 litros de agua por segundo de agua por según del sistema Cutzamala en el tanque Cerro Gordo, la cantidad más baja desde que entró en operación hace más de 20 años" (Ecatepec.gob, 2020a) De acuerdo a un decreto presidencial de 2007, Ecatepec debía recibir mil 140 litros por segundo por parte de la Comisión de Agua del Estado de México.

Esta acción se presentó paralelo a la denuncia del presidente municipal de solicitar al gobernador Alfredo del Mazo, "la entrega de 150 millones de pesos retenidos por la Secretaría de Finanzas estatal y el caudal de agua que le corresponde al municipio" (Ecatepec.gob, 2020b). El alcalde señaló que "el gobierno estatal busca crear una crisis social y sanitaria en el municipio más poblado del país con un propósito político, aun a costa de la salud de miles de habitantes afectados" Éste "calificó la medida como genocida, ya que se aplicó durante la fase más crítica de la emergencia sanitaria por el coronavirus" (Ecatepec.gob, 2020a).

Paralelamente, la población también denunció la falta de agua en plena emergencia sanitaria (Lázaro, 2020), las denuncias en redes sociales y medios de comunicación, los plantones en los pozos y toma de los cárcamos, se sumó al cierre de las principales avenidas, particularmente Avenida Central y R-1.
La reducción del agua se dio justo a un mes de declarada la entrada de Covid-19 en México, hecho que ocurrió a finales de febrero de 2020. La medida sanitaria de lavado de manos, junto a la limpieza personal y del hogar no pudo cumplirse debido a la falta de agua. Cabe señalar que fue el municipio de Ecatepec de Morelos una de las entidades locales con más fallecidos en toda la república. Para octubre del año 2024 Ecatepec registró 6998 defunciones por Covid-19, sólo después de Iztapalapa que tuvo 8652 pérdidas humanas por esa causa (SSGM-CONAHCYT, 2024).
A pesar de las denuncias públicas tanto del gobierno municipal como de la población de la V zona, el caudal del agua no se recuperó, y solo tuvieron agua las familias que pudieron comprarla en el marcado privado del agua. La reducción del caudal de agua puede observarse en la siguiente figura.

Agua en Bloque Tanque Cerro Gordo

Año	2019	2020	2021	2022
ENERO	1,017	1,153	856	870
FEBREO	1,095	1,103	914	745
MARZO	1,307	1,124	870	
ABRIL	1,086	941	950	
MAYO	1,062	914	862	
JUNIO	1,148	883	867	
JULIO	1,083	879	891	
AGOSTO	1,106	999	921	
SEPTIEMBRE	1,113	955	752	
OCTUBRE	1,086	976	876	
NOVIEMBRE	986	957	892	
DICIEMBRE	1,162	828	870	
PROMEDIO	1,104	976	877	808
1,140				
VS Ejercio Anterior		-12%	-21%	-8%
VS Acuerdo CAEM 1,140 lps	-3%	-14%	-23%	-29%
% Desabasto	-35.69	-163.96	-263.22	-332.34
litros	-1,125,624,960	-5,170,581,282	-8,300,774,520	-890,139,456
Acumulado				-15,487,120,218

Figura No. 3 Fuente: SAPASE, 2022.

En todo momento la distribución de agua es sólo a algunas colonias por la red hidráulica y otras es a través de pipas.

La distribución por medio de la apertura de la red fue, y sigue siendo, en días y horarios programados (tandeo); puede ser por un par de horas a la semana, o una vez al mes. Pero, también hay colonias y manzanas (conjunto de manzana) que no poseen agua y que están identificadas como casos atípicos; vinculados a la deficiente red hidráulica y el permanente movimiento del suelo que rompe la red. El control de las llaves y bombas de agua merece mención especial, pues no queda claro los motivos por los que "no abren las llaves de los tanques abastecedores y de la red, cuando la autoridad dice que hay agua".

Cabe señalar que el municipio de Ecatepec de Morelos cambió su administración pública y política en 2018; y en 2019 fue el único año que se conservó el caudal de agua mensual. El partido político que llegó en 2018 cambió la administración pública de mando federal y municipal, pero no los servidores públicos estatales quienes siguieron siendo fieles a sus liderazgos partidistas. De tal manera que la distribución de agua municipal sigue siendo controlada por estructuras del partido histórico, el Partido Revolucionario Institucional a nivel estatal. Situación que generó que algunas colonias tuvieran agua y otras no. Colonias afines a la administración estatal no carecían de agua.

El municipio de Ecatepec de Morelos, colocó a un presidente municipal de un partido diferente al del gobierno del Estado en 2018, motivo por el cual los acuerdos sobre dotación de agua no se pudieron concretar, y más aún, la administración pública del agua, de apertura de llaves del tanque abastecedor, seguía siendo del partido histórico en el poder, motivo por el cual el control del agua quedo en un diferendo y desquite político. Contexto que dificultó las negociaciones para la apertura de las tomas de agua.

El Comercio del agua

El abasto del agua por medio de pipas se ha convertido en una política pública de entidades estatales y locales. Consiste en la distribución de agua a cambio de la lealtad política y pago económico.
La venta de agua se sigue dando de manera pública y no hay autoridad que pueda controlarla. En palabras de Eli Benjamín Hernández, Director de SAPASE (2023), señaló que desde mayo de 2022 el saqueo del líquido es tipificado como delito y tiene una sanción de hasta ocho años de prisión. "Se estima que esta práctica ilícita genera, sólo en Ecatepec, ganancias anuales por mil millones de pesos. En la Quinta Zona hay gente que llega con bombas a llenar bidones que se llevan en camionetas para venderlos" (Salinas, 2023).

A los limitados pozos existentes en la V zona llegan las pipas y cargan agua para luego venderla a los pobladores de la misma.

El señor Ernesto González Gutiérrez, asesor técnico de la Vocalía de la CAEM señaló "El huachicoleo es uno de los principales cánceres en la entidad, con mafias que intensifican la escasez porque hay gente metiendo mano a la infraestructura del municipio con fines de vender el agua a la gente" (Pérez, 2024).

La compra de agua representa un gasto más a la exigua economía de los pobladores de la V zona. El tambo de 200 litros de agua oscila entre 40 y 80 pesos; gasto que reduce el presupuesto para otras necesidades de alimentación, educación y vestido. Día y noche, la venta de agua, potable o tratada, permanece.

En el primer Congreso Nacional de Sistemas comunitarios se expresó que para ejercer su derecho al agua han tenido que: "pelear con el Estado Mexicano y el Gobierno Federal al más alto nivel, hasta darse encontronazos con alcaldes que han tratado de municipalizar sus redes y pozos, así como disolver sus comités independientes de agua, casi siempre bajo el pretexto de mejorar el servicio, pero beneficiando intereses privados de constructoras de casas (inmobiliarias), embotelladoras, fresqueras, cerveceras o parques industriales" (Torres, 2024).



Figura No. 4 Distribución de agua por pipas privadas.
Fuente: Ecatepec, 2024.

Se intenta controlar los pozos de los Sistemas Comunitarios con el argumento de que no hay agua; pero es permisiva la venta de agua de los pozos a cargo del CAEM y SAPASE.

En palabras de un miembro perteneciente al Sistema comunitario de Agua Potable de Guadalupe Victoria en Ecatepec (informante clave uno) se menciona que, "La falta de agua es cosa de política del señor presidente municipal saliente (…) él daba la orden de cerrar válvulas (…) que es lo que pasa que él tenía un lote de pipas las cuales hacía su venta, era huachicolero del agua, no nada más en la V zona, sino en la mayor parte de Ecatepec de Morelos, mencionando que no tenía la solvencia económica para poder rehabilitar los pozos (…) el Municipio de Ecatepec tiene bastantes pozos que son administrados por el organismo operador de agua llamado SAPASE, (…) él mandaba (a SAPASE) que cerrarán las válvulas y pudiera vender sus pipas de agua" (SCAGV, 2024).

Son diversos problemas los que se deben atender respecto al problema de la gestión del agua, sin embargo, el comercio del agua merece especial atención, ya que este hecho no solo vulnera el derecho humano al agua plasmado en la Constitución Mexicana, sino que atenta contra la salubridad pública y la vida.

En palabras del Informante clave No 2, habitante de la V zona, el problema del abasto de agua se debe "al mal manejo del agua por parte de las autoridades que estaban antes, y sigue habiendo (…) el mal manejo del suministro del agua, porque las autoridades no le dieron mantenimiento a las redes, y el agua se ha estado contaminando con el drenaje, porque tampoco se le ha dado mantenimiento al drenaje, las autoridades no han estado (…) trabajado al 100".

Actualmente, el comercio del agua se presenta como la solución al problema, pues pipas privadas son las que distribuyen el agua en toda la V zona. El problema se agrava cuando las pipas privadas se abastecen de los tanques de la Comisión de Agua del Estado de México (CAEM). El agua se pone como un bien en el mercado de agua, aun cuando lo extraen y almacenan con infraestructura y equipamiento de carácter público.

Conclusión

La problemática de la gestión del agua tiene sus aristas desde el nivel federal hasta el local. La actual Ley de Aguas Nacionales de 1992 (DOF-LAN, 1992), facilita la concentración y sobreexplotación de las concesiones del agua. Las comunidades rurales y urbanas no tienen concesiones, por tanto, son las últimas en tener acceso al líquido; primero se reparte agua, por las concesiones a: refresqueras, embotelladoras, industrias agropecuarias e inmobiliarias, y después a la población urbana y rural. Desde hace 12 años existe la propuesta de una nueva Ley General de Aguas, donde se asume el derecho al agua y al saneamiento como principio rector en la gestión del agua, y no privilegiando al mercado, como se encuentra actualmente.

A nivel Estatal se ejecutó un diferendo político de dejar sin agua a 800,000 habitantes exponiéndolas a la insalubridad y la enfermedad en plena pandemia del Covid-19. Y a nivel local la falta de mantenimiento y atención a la obsoleta infraestructura de agua y saneamiento hace evidente el abandono de la población por autoridades locales y estatales.

En el pasado y en el presente la población de la V zona sufre el abandono de los gobiernos para garantizar el acceso al agua. En el presente reciente se pasó de tolvaneras y socavones, a muerte por Covid-19, donde la existencia del agua jugó un papel fundamental para la limpieza y la preservación de la vida.

En la V zona de Ecatepec hay una crisis humanitaria por falta de agua potable resultado de un proceso histórico de transformación de suelo no apto para uso habitacional; donde los actores políticos han tenido amplias responsabilidades en la deficiente atención en la gestión del agua y en el no cumplimiento del derecho humano al agua de la población.

Acciones de política pública sugerida

La V zona depende de la conducción de agua del Sistema Cutzamala y de pozos, sin embargo, por las condiciones del suelo, las condiciones de la infraestructura hidráulica y limitadas fuentes de abasto, los pobladores carecen de agua potable para satisfacer sus necesidades en vivienda.

Propuestas

1. Control de la distribución del agua. Con el cambio de gobierno estatal (2023) y federal (2024), se sugiere que la distribución del agua sea una atribución federal y desaparezca la venta de agua por privados, al ser un bien nacional; solo la federación podría evitar el "Huachicoleo" del agua.
2. Concientización sobre la importancia del recurso agua. Llevar a cabo un proceso de concientización del ciclo del agua y su importancia en la sobrevivencia humana, su gestión integral y la necesidad de incorporar ecotecnias en la captación y uso del agua en viviendas.
3. Colocación de medidores de agua. A fin de optimizar su distribución de manera equitativa, los medidores permitirían incrementar los recursos económicos para mejorar el mantenimiento de la red y el consumo responsable.
4. Creación de un Sistema Municipal o Red de Cosecha de Agua o Islas de Captación de Agua en la V zona de Ecatepec. Frente a la falta de pozos y fuentes de obtención de agua la formación de una red de predios que capten agua permitiría crear una red hidráulica complementaria que se alimente en temporada de lluvia y se distribuya el agua en temporada de estiaje. Consistiría en destinar predios municipales o predios abandonados a captación de agua. Podría ser por colonia o sector. Sería tener muchos Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) de amplia capacidad, a fin de atender la demanda por colonia, pero que cada sector o colonia tenga su propia recolección de agua y que cada uno lo administre.

A manera de síntesis

Problemáticas	Oportunidades
Reducción de agua	Que instancias federales tomen el control de válvulas de la red de hidráulica y distribuyan el agua equitativamente.
Carencia de pozos	Crear una Red hidráulica de Cosecha de Agua.
Infraestructura hidráulica obsoleta	Cambio de infraestructura hidráulica.
Disminución del agua en bloque	Cambio de servidores públicos municipales y estatales, para recuperar el monto de agua perdido del tanque abastecedor.
Cierre de válvulas de paso de agua	Seguridad federal en las tomas de distribución de agua para el control de válvulas.
Comercio del agua	Tandeo de agua por la autoridad federal y penalizar la venta del agua sin autorización.

Referencias bibliográficas

Diario Oficial de la Federación. Ley de Aguas Nacionales. (DOF-LAN, 1992). México.

Espinosa Castillo, M. (2008). Procesos y actores en la conformación del suelo urbano en el exlago de Texcoco en: Economía, Sociedad y Territorio. No. 27. Colegio Mexiquense, no. 27 vol. VIII. México, pp. 769-798. Incluida en el Índice de Revistas Científicas Mexicanas de Excelencia (CONACYT). https://est.cmq.edu.mx/index.php/est/search/search?query=Lago+de+-Texcoco&authors=&dateFromYear=&dateFromMonth=&dateFromDay=&dateToYear=&dateToMonth=&dateToDay=

Espinosa Castillo, M. (2010). Ecatepec y Nezahualcóyotl De suelos salitrosos a ciudades de progreso. México, Consejo Editorial del Estado de México. 253 p.

Espinosa-Castillo, M. (2021). Un espacio de alta transmisión del SARS-Cov-2 en el área urbana de la Ciudad de México en: Espinosa-Castillo, Maribel; Ángel, Eustorgio, Rivera y Mario Aguilar Fernández (Coord). 2021. Implicaciones y oportunidades de la emergencia sanitaria por Covid-19, Editorial Díaz de Santos, 57-70 pp. ISBN: 978-84-9052-330-8.

Ecatepec.gob. (2020ª). Gobierno estatal aplica nuevo recorte de agua a Ecatepec; ahora de 643 millones de litros en el pico más alto de la pandemia por Covid-19. Consultado el 12 de octubre de 2024.

Ecatepec.gob. (2020b). Gobierno del Edomex le quita 37 millones de litros de agua a Ecatepec y afecta a 600 mil familias. Consultado el 12 de octubre de 2024. Ecatepec

Gaceta del Gobierno. Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de México (GGPOGCEM, 1991) DGC-No. 01 1021, Toluca de Lerdo, México. 18 de octubre de 1991. oct184.PDF (edomex.gob.mx)

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Población, Censo de Población y Vivienda 2020. Recuperado el 15 de octubre de 2024. www.inegi.org.mx/temas/estructura/#Tabulados

Lázaro, J. (19/06/2020). Reducción al suministro de agua afecta a miles de vecinos en Ecatepec. La Silla Rota, Secc. Metrópoli. Consultado el 12 de octubre de 2024. https://lasillarota.com/metropoli/2020/6/19/reduccion-al-suministro-de-agua-afecta-miles-de-vecinos-en-ecatepec-234581.html

Pérez, R. (29/02/2024). Sequía en Ecatepec se agrava por pozos tapados y sin mantenimiento. La Prensa secc. Metrópoli. Consultado el 20 de octubre de 2024. https://www.la-prensa.com.mx/metropoli/sequia-en-ecatepec-se-agrava-por-pozos-tapados-y-sin-mantenimiento-11522022.htm

Salinas Casáreo, J. 30/10/2023. Pozos del AIFA, paliativo para la creciente crisis hídrica de Ecatepec. La Jornada secc. Estados. Consultado el 12 de octubre de 2024. https://www.jornada.com.mx/noticia/2023/10/30/estados/pozos-del-aifa-paliativo-para-la-creciente-crisis-hidrica-de-ecatepec-4546

SAPASE, 2024. Preguntas frecuentes. Consultado el 21 de octubre de 2024. OPD SAPASE

Secretaría de Salud Gobierno de México- Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (SSGM-CONAHCYT, 2024). Tablero General, CONACYT. Consultado el 15 de octubre de 2024. https://datos.covid-19.conacyt.mx/

Servicio de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Ecatepec de Morelos (SAPASE, 2022). Agua en bloque Tanque Cerro Gordo.

Torres, C. (2024). Primer Congreso Nacional de Sistemas Comunitarios de Agua en Zumpango. Revista Brujulamx, secc. Ecología. 23 de septiembre de 2024. Consultada el 8 de octubre de 2024.

Entrevistas

Entrevista a informante clave No. 1. 2024. Sistema Comunitario de Agua de Guadalupe Victoria (SCAGV).

Entrevista a informante clave No. 2. 2024. Taller participativo del agua, Ecatepec de Morelos, Estado de México.

32 Alternativas sostenibles del agua en la Megalópolis en el patriaceno. Mujeres, comunidades indígenas, sociedad y gobiernos para la recuperación hídrica

Úrsula Oswald-Spring[1]*

[1]Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinaria, Universidad Nacional Autónoma de México
(*autora de correspondencia: uoswald@gmail.com)

Resumen

La meta de este artículo es criticar las políticas hidráulicas ingenieriles y equivocadas en la Megalópolis del Centro de México (MCM) que son resultado de una centenaria historia de destrucción hídrica, propio del Patriaceno. Ingenieros, interesados en negocios y corrupción gubernamental, se centraron en soluciones tecnológicas contaminantes y costosos, al bombear agua desde los estados vecinos y sobreexplotar los acuíferos, que produjo subsidencia. Se escaseó y se contaminó el agua limpia por falta de mantenimiento. Se expulsaron las aguas negras fuera de la cuenca endorreica y los canales colapsado han inundado con estas aguas peligrosas a múltiples poblaciones de los suburbios e. Ante este ecocidio patriarcal e intereses corruptos, se requiere de un manejo sostenible alternativo, que integraría factores ambientales, socioeconómicos, políticos y culturales con una perspectiva de género y de pueblos indígenas. Colectivamente con autoridades recién electas, se promovería un ordenamiento territorial, donde se recuperarían las Áreas Naturales Protegidas, las zonas de cultivos y el bosque de agua alrededor de las montañas de la MCM, mayormente en manos de las comunidades indígenas. Ante los recortes periódicos de acceso al agua, durante las dos últimas décadas, mujeres y ecologistas han promovido el ahorros dentro del hogar, la captura de lluvias, techos verdes, el saneamiento de aguas residuales con humedales y su infiltración al subsuelo. Al convertir este manejo participativo y sustentable en una política pública de todos los municipios de la MCM, se limitarían las inundaciones, causadas por subsidencia y drenajes colapsados y se recuperarían los mantos freáticos ahora sobreexplotados. Ahorraría bombeos desde acuíferos profundos y bombeos desde el sistema Lerma-Cutzamala, lo que reduciría la contaminación y restauraría el ambiente, incluidos los estados vecinos. Una cultura de manejo de cuencas y la protección del Bosque de Agua garantizarían agua a largo plazo a una población urbana en crecimiento y amenazada por el cambio climático. Pueblos indígenas han protegido el bosque y las mujeres han captado lluvias para suplir la falta en el abasto. Han ado jardines y parques con aguas grises saneadas y se han adaptado con sus familias al aumento de temperaturas, precipitaciones irregulares y lluvias torrenciales, resultado del cambio climático y la urbanización caótica. El texto propone la unión entre ciudadana/os, empresaria/os, gobiernos de los tres estados, pueblos indígenas y campesina/os para una gestión sostenible del recurso hídrico, a partir de la recuperación de cuencas hídricas y la restauración del bosque de agua. Propone integrar una biósfera de las áreas naturales protegidas, áreas de cultivos y bosques, donde participarían la Ciudad de México, Morelos y parte del estado de México. Este manejo sustentable sustituiría las prácticas destructoras del Patriaceno, generaría resiliencia ante las amenazas por el cambio climático y limitaría la falta y contaminación del agua.

Tabla 1

Problemáticas	**Oportunidades**
Ante el manejo violento de cientos de años de extracción depredadora de los recursos naturales en la Megalópolis del Centro de México (MCM) se desarrolló en este estudio el concepto del Patriaceno, donde ingenieros y gobiernos corruptos han generado durante las últimas siete décadas un modelo hidráulico insostenible de abasto del agua en la MCM. La escasez y contaminación se agravó por el crecimiento poblacional caótico sobre el bosque de altura. Se estableció un sistema de conducción de agua de 322.23 km y se ha bombeado agua desde Michoacán y el sistema tuvo que subir el agua a 2,702m de la Ciudad de México (CDMX), mediante bombas poderosas del sistema Lerma-Cutzamala, capaz de destruir los ecosistemas vecinos, que han generado onerosos gastos energéticos y contaminación del aire. La expulsó de aguas negras por el tajo de Nochistongo desde la cuenca endorreica data desde los tiempos de los españoles. La falta de mantenimiento, terremotos y subsidencia han fracturado los canales de desfogue, inundando zonas conurbadas con aguas peligrosas. Esta política patriarcal de bombeo ha generado costos económicos y contaminación elevados para sin abastecer de agua a 32 millones de habitantes en la Megalópolis del Centro de México	Al integrar la naturaleza en lugar de tubos y bombas, crear una institución metropolitana intersectorial e interdisciplinaria en la MCM que incluye la CDMX, Hidalgo, Tlaxcala, Morelos y parte del Edomex y Puebla, pudieran recuperar el Bosque de Agua de altura con la participación de pueblos indígenas, mujeres, funcionarios, académica/os. La toma de decisiones colectivas promovería el manejo sostenible de cuencas (GIRH), ordenamientos territoriales, recuperación del bosque, ANP, ahorros, y saneamiento de aguas pluviales y residuales para recargar acuíferos. Todas estas actividades limitarían las inundaciones en las partes bajas y superarían la falta de agua potable.
Esta política hidráulica patriarcal y destructiva privilegió costosas obras de ingeniería, dañó al ambiente y a la economía, donde decisiones autoritarias han limitado desarrollar alternativas sostenibles a largo plazo. Este capítulo propone como alternativa la recuperación del bosque de agua que genera más agua que todos los ríos y humedales juntos. Garantizaría el abasto de agua limpia a una población en crecimiento y amenazada por los riesgos del cambio climático, con temperaturas mayores y más largas sequías. Incluye el establecimiento de una biósfera común entre los tres estos de México, Morelso y CDMX, que permitiría a los pueblos indígenas establecer UMAs sostenibles que proporcionarían ingresos, cuidado del bosque, flora y fauna silvestres e infiltración de agua a los acuíferos. Adicionalmente, se tendrían que sanear las aguas servidas in situ para recargar al manto freático. Mujeres y hombres conscientes capturarían lluvias y regarían jardines y camellones con aguas saneadas, donde el ahorro dentro del hogar es tareas básicas de las mujeres, severamente afectadas ahora por la escasez del vital líquido. El conjunto de estas actividades propuestas necesitarían del apoyo de los gobiernos de la MCM, mujeres organizadas, grupos indígenas, empresarios, académica/os y la sociedad entera para garantizar la seguridad hídrica a todos los habitantes.	Un Centro de Información Metropolitana, apoyado por análisis regionales de técnicos, investigadora/es, política/os y agentes socioeconómicos en plataformas alimentadas y dinámicas permitiría gestar un manejo integral de participación colectiva en la GIRH, prevenir desastres, integrar ANP al BA para capturar agua pluvial. Ahorros, saneamiento de aguas grises y negras dentro de la MCM ayudarían recargar los mantos freáticos. Una biósfera del bosque de agua, ANP y áreas de cultivos entre las tres entidades (Edomex, Morelos y CDMX) permitiría contar con el agua necesaria para una población en crecimiento. Una auditoría ciudadana vigilaría el ejercicio presupuestal y el cumplimiento de las metas acordadas entre todos los sectores de la sociedad.

Introducción

El World Resource Institute (WRI, 2022) estimó que la Megalópolis del Centro de México (MCM) que incluye la Ciudad de México (CDMX), Morelos, Hidalgo, parte de Tlaxcala, Puebla y el Estado de México (Edomex) pudiera quedar en 2028 sin agua potable. El Global Risk Report (GRR, 2024) indicó además que México por su ubicación geográfica en el trópico y entre dos océanos calientes, es el 4º lugar en riesgo y el segundo país más vulnerable ante desastres en el mundo. La desigualdad social y regional, educación precaria, corrupción, inseguridad pública y autoridades descoordinadas han limitado el desarrollo colectivo de una infraestructura capaz de adaptarse al cambio climático. La MCM cuenta con 32 millones (INEGI, 2020) y pudiera llegar a 52 millones de habitantes en 2050. La zona está rodeada por montañas volcánicas, cubiertas por un bosque de agua (BA; Hoth, 2012). Por falta de ordenamiento territorial y una expansión urbana caótica, la CDMX y parte de la MCM fueron construidas sobre una cuenca lacustre, donde los españoles desfogaron el agua por el Tajo de Nochistongo. Hoy, la urbanización desenfrenada y una política de tubos y bombas ha traído agua desde Michoacán, sobreexplotado los acuíferos y colapsado el subsuelo hasta en 50 cm por año, destruye la infraestructura urbana (Metro, sistema de abasto y drenaje), además de provocar socavones en carreteras y edificios.

Esta política destructora, llamada Patriaceno (Oswald, 2023), critica al Antropoceno neutro de Crutzen (2003), que no define quién es este Anthropos devastador, donde predomina hasta el día de hoy entre los geólogos la visión de iniciar esta época con los ensayos nucleares que han dejado huellas en el suelo. Tampoco el término del Capitalocene (Moore 2017) que se refiere a la emergencia del capitalismo con la máquina de vapor (1769) y su aceleración por la globalización después de la Segunda Guerra Mundial profundiza en el deterioro ambiental, que inició mucho antes de la Revolución Industrial. La historia del deterioro de la Tierra por civilizaciones humanas empezó 4,000 años antes, cuando se erradicó la fauna salvaje y se destruyeron los bosques por actividades agropecuarias. La propiedad privada (Engels, 1884) permitió a los hombres comprar novias, lo que expulsó a las mujeres del clan maternal de cuidado (Reed, 1985). Esta violencia patriarcal se agudizó con guerras y conquistas, donde se colonizaron continentes enteros, se explotaban los minerales y se esclavizaron los humanos. Este proceso ha continuado y hoy día, mediante guerras crueles y un armamentismo global (SIPRI, 2023), una elite violenta se ha apropiado de los recursos humanos y naturales de todo el planeta, destruyendo biodiversidad, agua y culturas humanas. Los países del norte han generado el aumento de los gases de efecto invernadero (GEI), responsables del cambio climático global, aunque los efectos están impactando más severamente en el Sur Global (IPCC, 2024). Oxfam (2024) explica que sólo 500 empresas transnacionales siguen acumulando las riquezas financieras, a costa de la sobreexplotación y la pobreza, donde 70% son mujeres, mientras que los gobiernos de los países dominantes apoyan esta destrucción transnacional. Al indagar en el origen de la destrucción socioambiental, Reardon (1985) reveló que los procesos patriarcales en todo el planeta, relacionados con violencia, guerras, conquistas y explotación de seres humanos y naturaleza están provocando la actual sexta extinción ambiental (Kolbert, 2022) y las múltiples guerreras (SIPRI, 2023) para imponer el modelo presente de destrucción socioambiental. Se trata de procesos antropológicos en manos de limitadas elites masculinos, que han dominado con violencia patriarcal el saqueo del planeta para beneficiarse personalmente.

Estas elites dominantes han conquistado territorios, capturaron esclava/os, se han apropiado de sus bienes y saberes y hoy día, siguen extrayendo los recursos naturales y pagan salarios miserables a la/os trabajadores del Sur Global, pero dónde la diferencia salarial por los mismos trabajos afecta a todas las mujeres en el mundo. Violencia, guerras, discriminación y controles religiosas permitieron consolidar poderes monopólicos, donde en el presente empresas transnacionales oligopólicos se enriquen a costa de los humanos y la destrucción del ambiente (Vargas y Rodríguez, 2016). Por este complejo proceso destructor patriarcal, la autora definió esta fase violenta de explotación de la Tierra, basada en procesos históricos violentos y repercusiones socioeconómicas y ambientales como Patriaceno. La globalización transnacional de 1% de hombres occidentales controla ahora la mitad de todos los recursos socio-naturales en el planeta.

Problemáticas y oportunidades en el abasto de agua de la MCM

La MCM abarca 16 alcaldías de la CDMX, 56 municipios del Edomex, Hidalgo, Morelos y parte de Tlaxcala, Puebla y Querétaro. Es una zona densamente poblada y abarca una superficie de 7,180 km2, de los cuales 2,884 km2 están urbanizados y otros 4,296 km2 se destinan al cultivo, bosques y ANP. El Censo de 2020 indica una población de 32 millones de habitantes, que había crecido durante los últimos 20 años en 79%. La región, resultado de erupciones volcánicas, tiene buena permeabilidad de la precipitación. Hace cien años, esta región estaba cubierta en gran parte por bosques de altura, principalmente de pino-encinos y el nivel freático estuvo a ras del suelo., Estos ecosistemas, hoy dañados, rodean a la MCM y han tradicionalmente abastecído de agua a los habitantes y la naturaleza, donde se habían formado múltiples lagos, cuerpos de agua y humedales, alimentados por ríos y arroyos, ahora desecados para permitir la especulación de bienes raíces y la expansión caótica de la MCM. (Figura 1). Con imágenes de satélites y en colaboración con el Grupo GEO, hemos encontrado en las tres entidades todavía 800,000 ha del Bosque de Agua, capaces de abastecer a una población urbana en crecimiento en los tres estados.

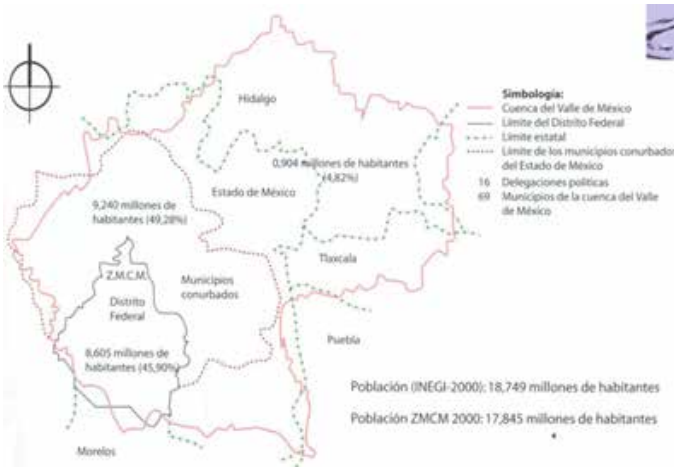


Figura 1: Imagen de la Cuenca de la MCM (Santos, Medina y Rodríguez 2021: 9) y población de 32 millones de habitantes en 2020 (INEGI, 2020)

La densidad poblacional y las actividades industriales han contaminado la región, donde las aguas residuales fueron expulsadas hacia el Mezquital, donde la planta de Tratamiento (PTA) más grande de América Latina en Atotonilco, recibe las aguas sucias mediante los ríos existentes. En el oriente, el Gran Canal de Desagüe, el Tajo de Nochistongo y el Río Salado desfogan el agua de la CDMX y durante abundantes precipitaciones inundan las colonias populares en las orillas. El Emisor Poniente aprovecha al Río El Salto y el Emisor Central que entronca a la presa Requeña y la presa Endhó, de donde ambos emisores se juntan en el río Tula, donde se suman con el Río Salado (Figura 2) y son tratado en la PTA.



Figura 2: Sistema de drenaje en la MCM. Fuente: Hernández, Otazo, Román y Romo 2021: 28.

La inundación en Chalco que se ha repetido durante muchos años requiere de un manejo alternativo, ya que el Gran Canal de Desagüe en el Oriente ha colapsado en múltiples partes por la subsidencia, por lo que se inundarán aún más ante precipitaciones extraordinarias. Asimismo, la CDMX mezcla aguas pluviales con industriales y domésticas, lo que limita el aprovechamiento de las lluvias y encarece el costo de saneamiento. La alternativa hoy día, con gobiernos progresivos y recientemente electos, es

factible cambiar la política depredadora del Patriaceno. Significaría cambios profundos para sanear las aguas domésticas servidas en la CDMX, Edomex y Morelos mediante tecnologías más baratas como humedales, obligar a las industrias a cumplir con la Norma existente y depurar sus aguas industriales, en lugar de descargarlas al drenaje doméstico y mezclarlas con agua pluviales. Una vez saneadas adecuadamente las aguas se les podrían infiltrar juntas con las pluviales hacia los acuíferos sobreexplotados. Además, se evitarían inundaciones futuras en zonas conurbadas como lo ocurrido en Xochimilco o Chalco, dado que la infraestructura de desalojo es muy antigua y por terremotos y subsidencias, el canal se ha fracturado y las aguas negras han azolvado lodos, incapaces de desalojar las aguas sucias a la PTA de Atotonilco en el Mezquital, donde se riegan cultivos en una región árida. Entretanto, la población quedó inundado durante un mes con aguas apestosas y dañinas a la salud.

El cambio climático, la sobreexplotación de acuíferos y el manejo insostenido del sistema Lerma-Cutzamala (L-C) han amenazado la disponibilidad del agua potable en julio de 2024, cuando se presentó una sequía extraordinaria en la región centro del país. Este fenómeno no es nuevo. Desde hace cuatro años se ha periódicamente reducido el suministro del L-C por presas agotadas ante el cambio climático. El aumento de la sequía en los estados vecinos y en las presas del sistema Cutzamala obligaron a las autoridades a reducir en 99 mil millones de m3 el abasto a la MCM (Sacmex, 2024).

En 2024, la zona MCM consumía 62 m3/s, donde 56% provenía de los 976 pozos profundos de la propia CDMX, que extrae esta agua desde profundidades hasta 400 metros. Sacmex (2024) estima una sobreexplotación de 139% en los acuíferos y se abate anualmente el nivel freático entre 10 a 40 centímetros produciendo subsidencia en el subsuelo. Al extraer 763 m3/año de agua o 24,000 L/s sólo en la CDMX, se generaron hundimientos múltiples en el subsuelo urbano. Han dañado la infraestructura urbana, las redes de abasto de agua, el drenaje, el metro, el aeropuerto, los conjuntos habitacionales y han producido microsismos. En 2023 se detectaron 1500 fugas en la red de distribución, que es muy antigua y las tuberías se han fracturado por terremotos y hundimientos, creando un círculo vicioso de nuevas fugas. Además de que perforar agua a mayores profundidades, se deteriora la calidad por las sales disueltas que están afectando a la salud humana.

La historia del abasto de agua a la MCM es compleja. A partir de 1951, Toluca y la CDMX trajeron agua de la región del Lerma (Edomex) para completar la demanda del vital líquido por el crecimiento urbano e industrial. Ante conflictos con agricultores en el Lerma (Torres, 2014), los ingenieros construyeron desde 1950 el sistema Cutzamala en tres etapas (Figura 3). Fue un sistema complejo, muy caro y ambientalmente dañino al bombear el agua desde las presas de Michoacán y del Edomex hacia la CDMX, donde se tuvo que superar una diferencia de altura de 1,100m para pasar por las montañas que rodean la región. Esta obra ingenieril se compone de 72.5 km de canales, 44 km de túneles y seis sifones desde la presa Colorines y se perforaron las montañas mediante el Túnel San José y Atarasquillo Dos Ríos, con el fin de depositar el agua en el Tanque Dolores en la 2ª Sección de Chapultepec, desde donde se redistribuía hacia la CDMX (Semarnat, 2010). Este sistema de abasto no sólo se encuentra en severa crisis por la sequía, los costos del bombeo y la contaminación por GEI, tanto en el L-C como en el bombeo de los acuíferos muy profundos.

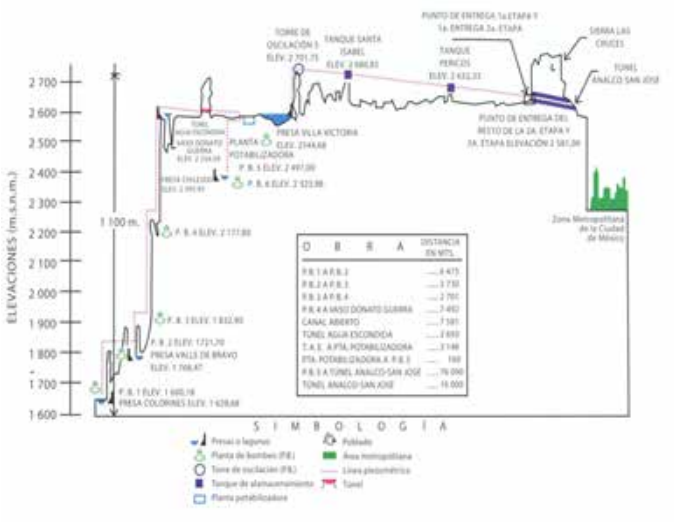


Figura 3: Tres etapas del Sistema Cutzamala. Fuente: Conagua (2005: 32).

Traer 14.423 m3/s de agua desde los estados vecinos (Toluca obtiene 0.817 m3/s) y extraer 58.322 m3/s desde los acuíferos para abastecer a 32 millones de habitantes en la MCM y al mismo tiempo expulsar entre 35 m3/s a 42 m3/s de aguas residuales fuera de la cuenca, es costoso en lo económico y lo ambiental. Los seis bombeos sólo del L-C significan un gasto de 2.8 mil millones (MM) de kilovatios por hora (Ruíz, 2018). Conagua pagó en 2017 2.4 MMP por electricidad a la CFE, monto que aumentó en

2021 a 3.03 MM de pesos/año, equivalente a 23% del gasto corriente de la Conagua (Forbes, 2021). A pesar de estos subsidios, se cubre únicamente 61% del gasto del sistema L-C y el gasto faltante es cubierto por otros apoyos federales (Armenta, 2023). Al incluir el costo financiero del drenaje, el bombeo de los 976 pozos muy profundos y la distribución de los microcircuitos hacia las colonias y municipios, así como las reparaciones periódicas por esta infraestructura envejecida y amenazada de colapso por la subsidencia, queda claro que el sistema de agua potable y saneamiento en la MCM se ubica en una severa crisis.

Frente a estos desafíos, las autoridades han implementado estrategias diversas de índole cosmético como la recolección y el tratamiento de aguas pluviales, junto con la promoción de tecnologías de ahorro de agua para mitigar la crisis (SEMARNAT, 2021). Además, las reducciones periódicas en el abasto han creado conciencia pública de la severidad del problema. La reducción de agua potable ha obligado especialmente a las mujeres a ajustar sus actividades domésticas no remuneradas a la hora y el día de acceso al vital líquido. Ante la escasez periódica y calidad deficiente del agua, las mujeres se han organizado y han exigido asesoría para captar las lluvias, sanear esta agua y disponer del vital líquido dentro del hogar. Asimismo, han reciclado aguas grises en sus patios, jardines y camellones para conservar la vegetación que ha mitigado el aumento de la temperatura.

Las amenazas por el cambio climático en México siguen aumentando (GRR, 2024), la prolongación de la sequía, el retraso de las lluvias y ahora las inundaciones en toda la MCM han convertido el sistema de tandeos en permanente. Lo mismo ocurre con el abasto de las pipas que distribuyen el agua potable a las colonias. Por lo mismo, ante condiciones climáticas adversas, un aumento de la población y el deterioro de la infraestructura hidráulica existente, hay que superar esta visión ingenieril estrecha y voltear hacia alternativas más integrales.

Con el apoyo del Grupo GEO, académcia/os de la UNAM, UEAM y otros centros de investigación, la Asociación Bosque de Agua y comuneros de los tres estados que han cuidado el bosque, hemos establecido una plataforma dinámica que ayudaría a los grupos indígenas a defenderse ante los despojos potenciales y conocer más a fondo la biodiversidad en su región. La cooperación entre ciudadana/os, indígenas, campesina/os, autoridades e investigadora/es permite explorar una cultura sustentable alternativa, donde se pretende involucrar a todos los sectores de la sociedad, academia, las autoridades y los usufructuarios del bosque de agua para cuidar nuestro recursos naturales. Al establecer una biósfera con UMAs entre los tres estados involucrados, se garantizaría a los auténticos usufructurarios del bosque condiciones de vida digna con un manejo sustentable de la flora y fauna silvestres en armonía con la naturaleza. Esta tarea requiere de la conjunción de científica/os, empresarios y gobiernos para contar con recursos financieros necesarios para desarrollar estas alternativas políticas sostenibles que son mucho más barato que las acciones actuales ingenieriles de bombeo y destrucción natural, propias del Patriaceno violento.

Alternativas sostenibles

A pesar de los problemas severos mencionados y los obstáculos existentes, la MCM tiene el potencial de convertirse en un modelo de gestión socio-hídrica sostenible en el futuro. Significa crear un Organismo de Cuenca de la MCM que se compone de las Aguas del Valle de México y parcialmente del Golfo Norte, del Lerma Santiago Pacifico y del Balsas. Implicaría integrar en un manejo integral las regiones hidrológicas administrativas existentes: Panuco, Tula, Lerma Santiago y Balsas y sus 23 subcuencas que abarcan 23.3% del territorio (CONAGUA SINA, 2024). El polígono incluye las montañas que rodean a la MCM, donde se localizan 807,060 ha de bosque de agua, ANP, zacatonales y zonas de cultivos, capaces de generar el agua requerida (Figura 4). Además de este potencial hídrico se trata de una de las regiones megabiodiversas de nuestro país.

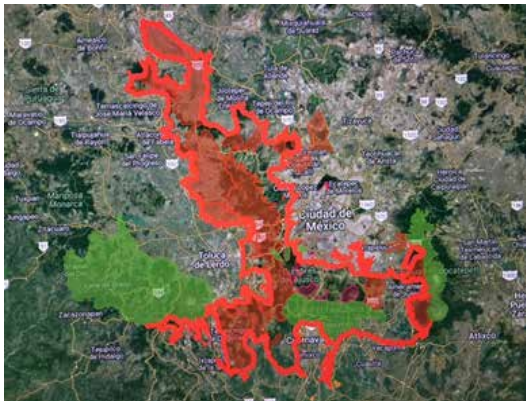


Figura 4: Características hidrológicas, de la vegetación, uso del suelo del Bosque de Agua y los asentamientos humanos en la MCM. Fuente: Jaramillo, 2024.

Los rangos de precipitación pluvial en el polígono del Bosque de Agua, con base en datos, cartografía de CONABIO (2009) y los datos promedios de las estaciones meteorológicas, ubicadas dentro y alrededor del BA entre 1910 y 2009, indican que la mayor parte del Bosque de Agua (37..52 %) obtiene entre 800 y 1,000 mm de lluvia anual en las partes medias y en las laderas de la sierras del centro y sur. En otro 30.35% hay mayor precipitación entre 1000 y 1200 mm que corresponden a las porciones medias y altas de las sierras del centro y sur del BA. Otro 17.32 % se ubica en un aporte entre 600 a 800mm en el centro norte de la Sierra de las Cruces y 14.82 % es de alta precipitación entre 1,200 y 1,500 mm, localizado en la porción central del Bosque de Agua (Hoth, 2012), donde se ubica la microcuenca endorreica de El Capulín, localizada entre las vertientes sur del Ajusco y la vertiente norte de los cerros de Zempoala.

En la priorización de las fuentes con mayor abasto de agua, la biodiversidad crucial a nivel mundial, donde el BA conserva la flora y fauna silvestres. Figura 5 destaca las regiones de mayor importancia como el Nevado de Toluca, el Chichinautzin hacia el Valle de la CDMX y de Morelos (Amacuzac), así como la zona de los volcanes del Iztaccíhuatl y Popocatépetl, entre otras áreas biodiversas cruciales. En estas zonas se ubica el presente y futuro del abasto del agua potable, la recuperación de los acuíferos con agua de calidad, donde el agua se infiltra a través de las rocas basálticas de mediana y alta permeabilidad y los suelos conservan esta biodiversidad excepcional.

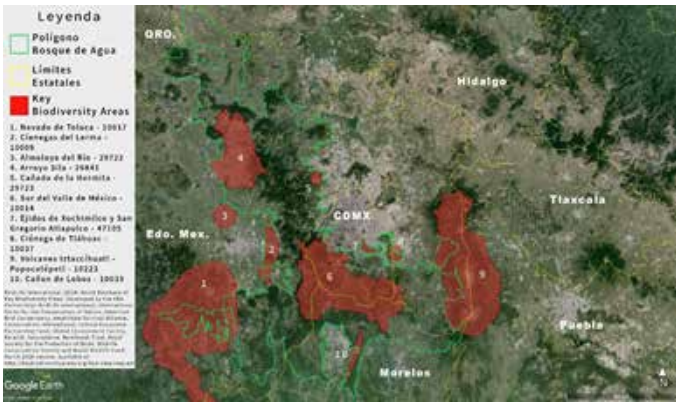


Figura 5: Áreas claves de biodiversidad a nivel mundial, vinculadas al Bosque de Agua. Fuente: Jaramillo, 2024.

Una política de conservación de los recursos naturales transforma estas regiones bien cuidadas en generadores de agua y bienes naturales. Junto con políticas alternativas de abasto y saneamiento, pudieran aliviar los requerimientos de agua limpia en la MCM. Al infiltrar aguas pluviales y saneadas en la MCM se pudiera paulatinamente recuperar los acuíferos. Implicaría recuperar mediante la organización comunitaria el bosque (Ávila et al. 2024), combatir la tala clandestina de árboles desde el interior de las comunidades y luchar colectivamente contra los incendios forestales, ahora más frecuentes por la sequía (Escolero et al., 2016) y las plagas que aumentaron por de la temperatura más alta. Significaría también superar manejos inadecuados de quemas agrícolas y por los descuidos ciudadana/os. Incluye la conservación del suelo, erradicar la extracción de tierra del monte y no dañar la vegetación en las montañas. El conjunto de estas actividades, dentro de un esquema de pago por servicios ambientales, reduciría los costos a la MCM, reduciría los deslaves y controlaría las precipitaciones torrenciales que inundan frecuentemente las partes bajas de las ciudades al recuperar los humedades y cuerpos de agua mitigadores.

Este proceder implica regular el uso del suelo y promover una agricultura orgánica sin empleo de agroquímicos en las zonas de infiltración, la homologación de los instrumentos regionales y locales vinculados a las ANP, los ordenamientos ecológicos territoriales (OET), los ordenamientos del territorio (OT), y un manejo integrado de las cuencas hidrológicas (GIRH). Figura 6 indica las características hidrológicas y su vínculo con el bosque de agua. Predomina el río Moctezuma en 48.88 % de la superficie del BA, seguido por el río Grande de Amacuzac (34.25 %) y el Lerma-Toluca con 22.44% del área. Estos datos ayudan a ordenar las prioridades y exigen a la sociedad de la MCM, integrar las diferentes regiones ahora separados por cuencas sin visión de integración socioambiental.

La biodiversidad asociada al BA no sólo garantizaría el abasto del agua, la conservación de la excepcional biodiversidad y la protección ante impactos por el cambio climático, sino que generaría un microclima, donde la humedad atmosférica reduce el aumento de la temperatura y la sequía y al contrario, las inundaciones durante la temporada del monzón. Mayor vegetación, cuerpos de agua recuperados, saneamiento de aguas negras con biodigestores

cuidaría a la población ante golpes de calor por mayores temperaturas pronosticados por el cambio climático (IPCC, 2024).



No.	Cuenca	área_adentro_ha	% en BA
1	R. ATOYAC	2,315.09	0.28
2	R. LERMA – TOLUCA	181,128.22	22.44
3	R. GRANDE DE AMACUZAC	276,472.97	34.25
4	R. CUTZAMALA	1,033.42	0.12
5	R. MOCTEZUMA	346,111.12	42.88
		807,060.81	100

Figura 6: Características hidrológicas de Cuencas en el Bosque de Agua. Fuente: Jaramillo, 2024.

La integración de los mapas 4 a 6 explicita la interacción entre cuencas y subcuencas, cubierta vegetal con 78 especies de flora y fauna, especialmente en el BA, suelos sanos, capaces de infiltrar aguas pluviales, limitar inundaciones y recargar acuíferos, ya que se trata de zonas de alta infiltración. La amenaza mayor en el Patriaceno se relaciona con la expansión desordenada de las zonas habitacionales e industriales, muchas veces sobre zonas de infiltración. El ordenamiento territorial obliga a las autoridades de los tres niveles de proteger las zonas de biodiversidad, donde sobre todo los pueblos indígenas han cuidado en el pasado esta riqueza natural y ahora en colaboración con la sociedad, se les apoyaría contra la tala clandestina de grupos ajenos a sus comunidades. Al promover el cuidado ambiental, se garantizaría no sólo el agua a largo plazo y de buena calidad, sino que se lograría resolver conflictos que ahora se están presentando por la mala calidad y la falta del agua.

En la Tabla 1 se sintetizan las problemáticas y la oportunidades que tiene la MCM, donde se debería priorizar la colaboración entre gobiernos, instituciones académicas, grupos indígenas, campesina/os y la sociedad civil para desarrollar soluciones innovadoras que garanticen un suministro adecuado y equitativo de agua hacia todos los habitantes de esta megalópolis. La integración en una institución metropolitana de gestión sustentable de agua, cuencas, subcuencas, biodiversidad y conservación del BA facilitaría recuperar las áreas del L-C para su propio desarrollo socioambiental, se limitaría la subsidencia y los problemas asociados con el colapso del subsuelo.

La transformación de estos retos en oportunidades dependería del compromiso continuo y de la acción coordinada entre toda/os la/os actores involucrada/os dentro de un manejo alternativo de abasto de agua, la prevención para limitar los desastres por falta o exceso de lluvia, la recuperación del entorno natural y la conservación de la excepcional biodiversidad de la MCM en el centro del país. Ofrece una adaptación ante condiciones adversas por el cambio climático y permitiría superar paulatinamente la vulnerabilidad social de las comunidades indígenas que han cuidado por milenios el bosque, gracias a los bonos de carbono. La humedad residual con vegetación urbana nativa, techos y muros verdes, humedales de saneamiento de aguas negras y recuperación de los acuíferos, reduciría los aumentos de la temperatura estimada en esta región densamente poblada, donde las islas de calor por falta de vegetación aumentan ahora sustancialmente al termómetro, afectando la salud de la población expuesta, en especial de las y los más vulnerables.

Referencias bibliográficas

Armenta, Humberto (2023). Sistema Cutzamala. Comisión Nacional del Agua: CDMX. https://humbertoarmenta.mx/sistema-cutzamala/: 1-14.

Ávila-Akerberg, V., González-Martínez, T. y Rosaliano Evaristo, R. (2024). Los patrones de distribución de los bosques de encino en el Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 19(8): 22-34.

CONAGUA (2017). Sistema Nacional de Información del Agua. Comisión Nacional del Agua: CDMX http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php.

Conagua (2006). Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua: CDMX. https://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sistema-cutzamala.pdf. 201 pp.

Conagua SINA (2024). Sistema Nacional de Información de Agua, SINA. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/SINA/?opcion=monitoreo.

Crutzen, Paul (2003). Geology of Mankind. Nature. 415(6867): 23.

Engels, Friedrich (1884). Der Ursprung der Familie, des Privateigenthums und des Staats. NoBooks. 162 pp.

Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S. y Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable a la Ciudad de México, México. Bol. Soc. Geol. Mex. 68(3): 409-427.

Forbes (2021). Conagua ya no quiere pagar 3,000 mdp de luz del Cutzamala a CFE. El consumo de electricidad de las seis plantas de bombeo del Cutzamala equivalen al 23% del gasto corriente anual de Conagua. Forbes, 26 de mayo, 2021. https://www.forbes.com.mx/conagua-ya-no-quiere-pagar-3-mil-mdp-de-luz-del-cutzamala-a-cfe/#google_vignette: 1-11.

GRR (2024). Global Risk Report 2024. World Economic Forum: Ginebra. 124 pp.

Hernández-Espinosa, A. K., Otazo-Sánchez, E. M., Román-Gutiérrez, A.D. y Romo-Gómez, C. (2021). El Sistema de drenaje de la Ciudad de México. Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI. 9(17): 24-30. https://doi.org/10.29057/icbi.v9i17.7146: 28 pp.

Hoth, J. (2012). Estrategia Regional para la Conservación del Bosque de Agua. ECOBA. Fundación Gonzalo Río Arronte, I.A.P., Fundación Biósfera del Anáhuac, A.C. y Pronatura México, A.C. México. 85 pp.

INEGI (2020). XIV Censo Nacional de Población y Vivienda 2020. INEGI, Aguascalientes. 173 pp.

INEGI (2000). XII Censo Nacional de Población y Vivienda 2000. INEGI, Aguascalientes. 103 pp.

IPCC (2024). Summary Report 16-19 January 2024. Earth Negotiations Bulletin. 12(843): 1-16.

Jaramillo, Fernando (2024). Diseño del Sistema de ANP, Corredores Biológicos e Hidrológicos del Bosque de Agua para Superar la Sequía. Exposición de Postdoctorado 27 de agosto, 2024. CRIM-UNAM, Cuernavaca. 36 pp.

Kolbert, E. (2022). The Sixth Extinction: An Unnatural History. Simon & Schuster. Nueva York. 305 pp.

Moore, JW. (2017). The Capitalocene, Part I: on the nature and origins of our ecological crisis. The Journal of Peasant Studies. http://dx.doi.org/10.1080/03066150.2016.1235036.

Oswald-Spring, Úrsula (2023). Interacciones regionales por Covid-19, violencia de género, deterioros socioeconómicos y conflictos ambientales en el Patriaceno. En Serrano, S.E., Wong, P. y Morales, E.R. (Eds). Estudios de género, geopolítica y dinámicas regionales con inclusión social. IIEc-UNAM y AMECIDER, Vol. VII. CDMX: 157-182 pp.

Oxfam (2024). Inequality Inc. Londres: Oxfam. 72 pp.

Reardon, Betty A. (1985). Sexism and the War System. Syracuse University Press. Nueva York. 128 pp.

Reed, Elizabeth (1985). Women´s Evolution. From matriarchal clan to patriarchal family. Pathfinder Press. Nueva York. 629 pp.

Sacmex (2024). Situación del Sistema Cutzamala y las Acciones Integrales Para el Abasto Equitativo. CDMX: SACMEX. https://www.sacmex.cdmx.gob.mx/storage/app/media/comunicacion/Cutzamala%202024/situacion-del-sistema-cutzamala-y-las-acciones-integrales-para-el-abasto-equitativo-sacmex-130124pptx.pdf. 11 pp.

Semarnat (2018). Anuario estadístico de la producción forestal 2018. https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2021/2018.pdf. CDMX: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 298 pp.

Semarnat (2010). Compendio del Agua, Región Hidrológico-Administrativa XIII. Lo que se debe saber del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. Semarnat-Conagua: Ciudad de México. 23 pp.

Semarnat (2021). Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. DOF 8 de noviembre 2018. Diario Oficial de la Federación: CDMX. 63 pp.

SIPRI (2023). El gasto militar mundial alcanza un nuevo récord con el aumento del gasto europeo. SIPRI: Estocolmo. 352 pp.

Torres Bernardino. Lorena (2014). Sistema Lerma. Una Visión Política en la Gestión Pública del Agua. ¿Solución Estatal o Federal? Instituto de Administración Pública del Estado de México, A.C.: Toluca. 288 pp.

WRI (2023). World Resource Institute. Annual Report 2023. WRI: Washington. 68 pp.

33 Captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia como herramientas para la sostenibilidad hídrica

María de Lourdes Maya-Salazar[1] y Humberto Thomé-Ortiz[1]*

[1]Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México
(*autor de correspondencia: hthomeo@uaemex.mx.com)

Resumen

El presente capítulo busca ilustrar la contribución que el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx) ha realizado de cara a la problemática de escasez de agua y la falta de redes de suministro en zonas rurales y periurbanas del centro de México. Para ello se presenta el diseño e implementación de un sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia que ha permitido complementar el abasto hídrico de este Instituto, de manera innovadora y sustentable. Surge la necesidad de plantear estrategias innovadoras para el abastecimiento del líquido vital. La Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx) es una institución comprometida con los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) por lo que ha impulsado el desarrollo de infraestructuras para el aprovechamiento integral del agua de lluvia. El primer proyecto que se desarrolló en la UAEMéx fue el sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR); un organismo académico situado en el suelo rural del municipio de Toluca, en la comunidad de San Cayetano de Morelos. El proyecto consiste en un sistema de captación de agua de lluvia, a partir de una superficie plana de 2000 metros cuadrados, con una capacidad de almacenamiento de 104 metros cúbicos, que posteriormente es tratada mediante sistemas de filtrado que permiten la purificación del agua en diversas etapas. Con esta iniciativa, desde el 2019, el edificio del ICAR ha sido autosuficiente en términos de abastecimiento de agua de servicios, para consumo humano y agua desionizada para sus laboratorios y el de otros espacios científicos de la UAEMéx, atendiendo a una comunidad de más de 100 personas. Esta experiencia ha servido como un referente para impulsar un modelo de captación de agua de lluvia en toda la Universidad Autónoma del Estado de México, así como de otras instituciones que han mostrado interés por replicar el modelo. Se concluye que el aprovechamiento integral del agua de lluvia representa una oportunidad para generar esquemas de abasto complementario de agua que son viables en una escala institucional.

Introducción

La disponibilidad de agua, es una problemática prioritaria en el siglo XXI, clave para la transición socioecológica hacia la sostenibilidad, dadas las múltiples contradicciones que existen entre la gestión de los recursos hídricos, el crecimiento económico y la relación entre ser humano y naturaleza.
El agua es un elemento imprescindible para el desarrollo socioeconómico, el abasto energético, la producción de alimentos, el mantenimiento de los ecosistemas, el desarrollo de actividades culturales y, en general, para la sobrevivencia de los seres humanos. Además, es pieza clave para la sociedad debido a que le permite al hombre su adaptación ante el cambio climático y permite mitigar sus efectos negativos.

El agua, más que un recurso o una mercancía, es un bien colectivo; un elemento constitutivo de la trama de la vida y un derecho fundamental de cada persona. Sin embargo, los modelos económicos dominantes han orientado el acceso al agua en función de la clase social de pertenencia o el capital económico que se despliegue. Por ello, resulta imperativo encontrar fuentes alternas de abastecimiento de agua que caodayuven a una mayor cobertura de este servicio, particularmente en el caso de las instituciones públicas.

A medida que la población mundial crece, se incrementa la necesidad de conciliar la competencia entre las muy diversas demandas de los recursos hídricos para que las comunidades puedan abastecerse del vital líquido (ONU- AGUA, 2023). Sin embargo, la disponibilidad de agua tiene que ver con un tema de justicia social e inclusión, toda vez que

la accesibilidad está determinada en función de la clase social de pertenencia, de si se está en un emplazamiento urbano o rural o incluso de la región del mundo en la que se habite (Laurent y Pochet, 2015). Por ello, una tarea fundamental de las instituciones donde se produce conocimiento es contribuir al uso eficiente y disponibilidad de agua para todas las personas y en todos los ámbitos.

Ciertamente, la crisis hídrica es un problema de grandes proporciones, que puede enmarcarse en lo que algunos intelectuales han definido como la era del Antropoceno (Trischler, 2017) que consiste en el advenimiento de una nueva era geológica, vinculada a los efectos antrópicos sobre el ambiente en la Modernidad. Bajo este esquema interpretativo, resulta necesario comprender la acción humana en términos de las responsabilidades que por posición en la estructura socioecómica competen a cada actor o grupo, además de reflexionar que estos efectos negativos no sólo afectan a los seres humanos, sino también a otras formas de vida no humanas con las que cohabitamos el planeta (Blaser, 2019).

En ese sentido, se puede afirmar que la crisis hídrica mundial apremia medidas urgentes que mitiguen y garanticen el acceso a dicho recurso, siendo la reutilización de este elemento un aspecto clave para su conservación y disponibilidad en el mediano y largo plazo. Por este motivo es indispensable generar propuestas sobre la reutilización del agua a través de diversas alternativas que coadyuven en el aprovechamiento más eficiente que se pueda hacer del recurso.

Por otra parte, resulta importante reflexionar en torno a los impactos actuales y futuros que tendrán las sequías, especialmente en las zonas más densamente pobladas de México, como la megalópolis en la que confluyen las zonas metropolitanas del Valle de Toluca y del Valle de México. En el caso de la región centro, es especialmente sensible la situación que presentan la Ciudad de México y el Estado de México. Para el 2024 se reportó la posibilidad de enfrentar el "día cero", debido a un descenso dramático de los niveles del Sistema Cutzamala, que impidieran el abastecimiento del vital líquido a las grandes metrópolis del centro del país (Mejía, 2024). Esta evidente disminución de agua en los principales sistemas hídricos de almacenamiento que suministran a las grandes concentraciones urbanas, son una muestra de los efectos del cambio climático que cada vez son más claras y que, en uno u otro sentido, nos invitan a impulsar procesos de transición socioecológica, fincados en el conocimiento científico y en las creencias que tenemos respecto al uso del agua. Es por ello que, tanto individuos como grupos sociales, somos responsables de generar acciones de gestión responsable del agua y de mitigación de la crisis hidrológica. Es especialmente importante el papel que las universidades juegan en estas tareas propositivas, tanto desde el punto de vista del desarrollo teconlógico, como de la gestión administrativa y de las prácticas implementadas por las instituciones frente a sus problemáticas específicas de abastecimiento de agua.

Los métodos de captación de agua de lluvia se han documentado desde la antigüedad, pero actualmente se consideran como una alternativa factible ante la crisis de escasez hídrica, toda vez que representa una técnica integral, sustentable y de bajo costo. Se trata de una herramienta relativamente sencilla que puede aportar socluciones a la falta de agua tanto en el ámbito urbano como rural. En el caso específico de las zonas rurales, los recursos hídricos suelen ser de difícil acceso, además de no conformarse dentro de la infraestructura de servicios públicos como las redes municipales de agua potable. Por otra parte, las instituciones públicas y privadas, así como las industrias, que cuentan con importantes superficies de captación de agua de lluvia, son francamente desaprovechadas; muchas veces por carecer de sistemas de almacenamiento y purificación, dado que ello requiere la disponibilidad de recursos financieros y humanos. Lo anterior, se sustenta nuestra experiencia empírica, pues una buena parte de los esfuerzos para mantener un sistema de agua de lluvia como el del ICAR tienen que ver con la capacidad de gestionar y generar recursos para su mantenimiento y funcionalidad, aunado con el talento universitario y el trabajo colaborativo.

La captación in situ de agua lluvia (Ver Figura 1) debe ser promovida como política pública y como programa social, pudiendo ser ya un mínimo necesario incluido dentro de las normativas de desarrollo urbano, en programas educativos, así como una alternativa de ahorro económico que podría tener un amplio alcance y difusión entre la población. Lo anterior implica que, paralelamente al desarrollo tecnológico de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, deben desarrollarse importantes

tareas de gestión de recursos, de inversión, planificación y divulgación de estas estrategias, que podrían considerarse relativamente simples, pero de profundo calado, como puede observarse en la experiencia de autosuficiencia hídrica del ICAR. Estas acciones son una afirmación de que las autoridades, en diversos niveles, valoran el agua como un recurso estratégico para la sostenibilidad, la reducción de riesgos y la prevención de desastres (Montes, 2008), así como de su liderazgo político en materia de sostenibilidad y bienestar humano.

Lo anterior, nos permite entender que la transición sociohidrológica, a través de procesos de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia requiere una perspectiva sistémica y compleja, que involucre la capacidad de las infraestructuras, el desarrollo tecnológico, la gestión de recursos humanos y financieros, el liderazgo directivo, la contribución de los usuarios y el establecimiento de nuevas formas de relacionarnos con la naturaleza.

De acuerdo con Garduño (2022) la captación pluvial es definida como un sistema que busca aprovechar el agua de lluvia para la atención de diversas necesidades humanas. De acuerdo con su finalidad, estos sistemas se clasifican en tres categorías:

1. *Sistemas para uso humano*
2. *Sistemas para uso industrial, agrícola y ganadero*
3. *Recarga de mantos acuíferos en zonas urbanas.*

En virtud de esta clasificación, aunado a las características específicas del agua cosechada, así como a los objetivos perseguidos en cada sistema de captación, es posible optar por una o varias de estas tres clasificaciones. Entonces, las posibilidades de uso del agua cosechada, así como el alcance del sistema, dependen de un conjunto de características sociopolíticas, territoriales y climatológicas en donde se va a implementar la propuesta. Ello nos invita a reflexionar respecto a que los sistemas de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia no pueden ser sistemas genéricos, ni de aplicación universal, sino que corresponden a diseños sociohidrológicos (trajes a medida) que responden a objetivos específicos y a la disponibilidad de recursos de diversa índole.



Figura 1. Superficie de captación 2000 m2. Elaboración propia.

Nuestro sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia se ubica en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en la Unidad Académica el Cerrillo Piedras Blancas, en el poblado rural de San Cayetano de Morelos en el municipio de Toluca, Estado de México (Ver Figura 2).



Figura 2. Ubicación geográfica del ICAR. Elaboración: María de Lourdes Maya Salazar, a partir del software Arc-GIS.

Con la precipitación media anual de la zona en que se encuentra el ICAR se tiene un potencial de captación anual de 1,738,000m3 de agua y mensualmente de 144,833m3. Sin embargo, dada la infraestructura disponible, la capacidad actual de almacenamiento es apenas para la precipitación de un mes, no obstante, con esta agua se ha cubierto constantemente la demanda de una población aproximada de 100 personas, con un consumo per cápita de 35 litros al día. Sin embargo, de acuerdo con los registros de precipitación de los últimos 5 años, se podría abastecer la demanda de agua de hasta 200 personas. Lo cual es evidencia del potencial de estos sistemas cuando se cuenta con los recursos necesarios.

El edificio del ICAR fue construido con un sistema de captación de agua de lluvia, en una superficie de 2000m2 (Ver Figura 1), al no contar con suministro de agua de la red municipal la utilización del agua de lluvia resultó en una alternativa viable, tomando en cuenta que, de acuerdo con la CONAGUA (2018), la precipitación media anual en el Estado de

México oscila los 869 milímetros al año, superior a la media nacional que es de 777 milímetros anuales; con una evaporación media anual de 720 milímetros anuales.

En este sentido, el sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia del Instituto constituye un laboratorio hidrosocial que pone en evidencia la posibilidad de alcanzar la autosuficiencia hídrica institucional, con lo que se contribuye a establecer paradigmas de gestión hídrica, basados en la experimentación y la evidencia empírica. A continuación, presentamos los procesos de captación y almacenamiento de agua de lluvia llevados a cabo en este espacio académico.

Captación y almacenamiento de agua de lluvia ICAR

Durante la captación del agua de lluvia (Ver figura 3) se disuelven o arrastran contaminantes que se depositan en los techos derivados de la contaminación atmosférica, excrementos de aves o roedores, debido a que en la zona hay campos de cultivo que arrastran polvo, hojas tierra o basura, el agua de lluvia puede presentar riesgos microbiológicos y contaminantes fisicoquímicos fuera de especificación que deben ser controlados; razón por la cual el agua antes de ser destinada a cualquier función debe ser sometida a un proceso de purificación que elimine los contaminantes no deseados y con ello la disminución de riesgos.



Figura 3. Captadores de agua de lluvia. Elaboración propia.

De acuerdo con (Avelar, 2019) el agua de lluvia sin tratamiento, proveniente de techos y depósitos limpios, puede usarse de manera segura para riego de cultivos y jardines, actividades de limpieza en el hogar, piscicultura y servicios sanitarios (no se recomienda para consumo humano de manera directa. Es necesaria la potabilización, mediante algún sistema de tratamiento certificado.

El almacenamiento actual para la captación de agua de lluvia en el ICAR, se lleva a cabo en 4 cisternas de cemento y 4 rotocisternas de grado alimenticio de 10,000 litros cada una (Ver Figura 4). Las cisternas de cemento están construidas de forma lineal en una superficie de 80 metros cuadrados, con una capacidad de 35 metros cúbicos cada una; tres de ellas almacenan el agua de lluvia captada y que será conducida por el proceso de purificación, la cuarta cisterna almacena el agua que ha pasado por el primer proceso de purificación y es enviada a la cisterna cuatro como agua de servicios para el ICAR. En conjunto con las cuatro cisternas de grado alimenticio, actualmente se cuenta con una capacidad de almacenamiento de 144 metros cúbicos, haciendo del Instituto un espacio universitario 100% autosuficiente en la reutilización y aprovechamiento del agua de lluvia, recurso natural que constituye un importante activo territorial en el Valle de Toluca. Lo anterior, implica pensar los elementos naturales como la lluvia, el viento o la energía solar como patrimonios territoriales que pueden ser claves para la satisfacción de las necesidades humanas.



Figura 4. Cisternas de almacenamiento. Elaboración propia.

Sistema de Purificación de agua de lluvia ICAR

El sistema de purificación de agua de lluvia del Instituto es un modelo probado a nivel institucional, con más de 5 años de funcionamiento, que aporta agua de calidad para una comunidad de aproximadamente 100 personas. Dicho sistema (Ver figura 5) consta de ocho etapas de remoción de contaminantes y, actualmente, abastece agua de servicios, agua bebible apta para consumo humano y agua desionizada, utilizada en los laboratorios del ICAR y también distribuida a diferentes espacios académicos de la UAEMéx como las Facultades de Química y Ciencias.

Con la reutilización de este recurso, podemos decir que el ICAR es un ejemplo institucional de sustentabilidad hídrica, aprovechando la precipitación pluvial de la zona, es decir que en armonía con los recursos naturales territoriales; se ha desarrollado una propuesta innovadora que aporta soluciones a las necesidades emergentes en el contexto de estrés hídrico y cambio climático, garantizando el acceso al recurso, en una escala institucional, sin depender de las fuentes del subsuelo ni de las redes públicas de agua potable.



Figura 5. Sistema de Captación de agua de lluvia ICAR- UAEMEX. Elaboración propia.

Sin embargo, también es muy importante establecer que esto no ha sido una tarea fácil, puesto que la disposición a consumir agua de lluvia depende de aspectos culturales y antropológicos, en los que deben equilibrarse los posibles límites entre la desconfianza de esta fuente hídrica, el desconocimiento de los sistemas de purificación y la garantía de la inocuidad del producto y la seguridad de su consumo humano (Chubaka, Ross, y Edwards, 2017).

Implementación del sistema

De la selección adecuada de los filtros, depende la calidad del agua a obtener y por ello ha sido necesario invertir una considerable cantidad de tiempo en conocer las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua de lluvia que se cosecha en las instalaciones del ICAR ya que esta agua es el insumo base que determinará las características del proceso de purificación. Cada tipo de agua recolectada requiere un tratamiento específico que no puede ser generalizado, ello en aras de obtener un líquido inocuo y seguro para el consumo humano. En este sentido, un primer paso a desarrollar fue el análisis fisicoquímico del agua cosechada, el cual se llevó a cabo en laboratorios certificados externos al ICAR; en un segudo momento, se realizó la selección de los filtros a partir de la calidad del agua de la que se parte y del tipo de producto esperado. Lo anterior se traduce en la necesidad de generar diferentes protocolos en razón de si el agua a utilizar es para servicios, para laboratorios o para consumo humano. Otro aspecto relevante es el seguimiento mensual que se da al producto o tipo de agua que se desea obtener, lo cual ha significado un aprendizaje histórico que ha permitido desarrollar un sistema de purificación inocuo, a partir de diversas adecuaciones y experiencias, que incluyen la instalación de un generador de ozono, que impacta en la calidad del agua, la vida de anaquel del producto y recientemente (2023) se instaló un filtro para la producción de agua alcalina con muy buenos resultados. Otro aspecto importante es que en este año (2024) se incrementó nuestra capacidad de almacenamiento en un 40% pasando de 104m3 a 144m3, convirtiendo al ICAR en un espacio universitario 100% autosustentable en materia hídrica. Este sistema de purificación, al día de hoy, abastece de agua de servicios, agua bebible, agua desionizada y agua alcalina, con estos resultados queda demostrada la importancia de la implementación de los sistemas de captación de agua de lluvia, como alternativa eficiente y comprobada ante la escasez de agua, ya que garantizan el abastecimiento de este recurso, contribuyendo a mejorar la calidad de vida de las personas, la producción de alimentos, la producción agrícola e industrial. Especialmente importante es el papel que estas herramientas pueden jugar en la operación adecuada y sustentable de las instituciones educativas.

Impacto económico, social y cultural

Este proyecto ha tenido un impacto positivo en el Instituto, pues no solo lo ha convertido en un espacio 100% autosustentable en materia hídrica, al lograr obtener los tipos de agua utilizados en el ICAR, pues desde la perspectiva económica y administrativa, ha permitido generar un ahorro superior a los $170,000.00 pesos mexicanos, al no necesitar comprar agua bebible desde la implementación del sistema, para el agua desionizada utilizada en los laboratorios, el ahorro al momento es de $85,600.00 pesos y desde el punto de vista energético, el sistema de purificación utiliza equipos de bajo consumo, lo que implica que este impacto resulta mínimo y positivo en comparación con el gasto que se erogaría para adquirir el vital líquido de un tercero. Con el paso del tiempo, además de constituir un referente en materia de sustentabilidad, el sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua del ICAR ha logrado generar un impacto económico por el ahorro que supone, así como el hecho de que el agua desionizada se distribuye en diferentes espacios universitarios para laboratorios de investigación y docencia, mientras que el agua bebible se da a conocer y se distribuye en eventos universitarios, todo ello en una lógica de economía circular y economía social, puesto que a la fecha no se cuenta con las condiciones para vender estos productos pero si son suceptibles de ser intercambiados por otros bienes, servicios o insumos de mantenimiento al interior de la propia comunidad universitaria.

En el ámbito cultural y social este proyecto ha sido un referente dentro de la Universidad en la captación, purificación y reutilización del agua de lluvia, estimulando que, actualmente, la UAEMEX ha implementado 15 sistemas de captación de agua de lluvia en diferentes espacios universitarios, donde el agua es utilizada para riego y en algunos casos para servicios, contribuyendo con esto a lograr una universidad verde y sustentable. De la misma manera este sistema ha sido ampliamente difundido por la prensa local y nacional en diversas notas periodísticas y programas televisivos.

Este sistema de purificación de agua de lluvia ha servido como un marco de referencia para diversas instituciones externas a la UAEMéx, las cuales frecuentemente se acercan al ICAR con el propósito de conocer el funcionamiento del sistema, para solicitar asesoría en sistemas propios; también es visitado de forma periódica por diferentes espacios académicos de la propia Universidad como apoyo en algunas Unidades de Aprendizaje, así como por entidades gubernamentales interesadas en replicar estas prácticas. Lo anterior, se refleja en la atención que se ha dado a más de un centenar de visitas de diversa naturaleza. Con lo anterior, es posible afirmar que el sistema de agua de lluvia del ICAR se enmarca también dentro de los modelos de divulgación y acceso universal al conocimiento (Esquivel, Escudero y Peña, 2024).

Este proyecto es una alternativa real que puede contribuir en el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (Agua y Saneamiento) toda vez que promueve la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y del saneamiento para toda la comunidad del ICAR.

Lo anterior, pese a la aportación relativamente sencilla de nuestro sistema no es una cuestión menor, máxime si pensamos en que, sin agua, no hay vida en la tierra. Evidentemente, existen varias propuestas de purificación de agua de lluvia, sin embargo, la particularidad del sistema del ICAR es su aplicabilidad en el corto y mediano plazo, así como el resultado contundente de su efectividad en una escala institucional específica. En el Instituto estamos conscientes de que, si no contribuimos con el ODS 6, corremos el riesgo de no alcanzar muchos de los otros Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), incluidos los que están relacionados con la alimentación, la nutrición, la salud humana, el crecimiento económico, las ciudades sostenibles y el medio ambiente (Gleason, 2020). Por otra parte, la reciente experiencia devastadora que nos dejó la pandemia por COVID-19 nos recuerda la importancia del acceso a instalaciones de agua, saneamiento e higiene, y que muchas personas en el mundo aún no lo tienen (ONU, 2022).

LLUVIA ICAR

Como un valor agregado a este trabajo, en noviembre 2020 se logró el registro de la marca “LLUVIA ICAR” ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual IMPI (Ver figura 6). Esta marca cubre el agua de lluvia purificada y envasada en nuestro instituto en botellas de cristal de 500 ml. El registro de esta marca atiende el compromiso que se tiene como Institución con el medio ambiente y el interés por seguir siendo una universidad verde y susten-

table, logrando la marca propia con identidad universitaria en el producto, el cual es completamente reciclable, incluídas las tapas, en una lógica de economía circular.



Figura 6. Botella 500ml. de “Lluvia ICAR”. Elaboración propia.

Control de calidad

Si bien es cierto que la reutilización de agua de lluvia fue algo nuevo para nosotros por el desconocimiento de los contaminantes ambientales de la zona y del comportamiento del agua almacenada por tiempo indeterminado, tampoco contábamos con información sobre el funcionamiento y comportamiento del sistema, en este sentido y para conocer esta información se realizó un monitoreo a lo largo de dieciocho meses, atendiendo los siguientes aspectos:

1. Revisión de las etapas del proceso e identificación de puntos de control
2. Descripción de los puntos de control, indicando por qué son considerados puntos de control y el factor crítico que representa cada uno de ellos.
3. Matriz de variables consideradas para los puntos de control
4. Técnicas estandarizadas por los laboratorios del ICAR, para monitorear la calidad del agua mensualmente de manera interna.
5. Verificación y control externo
6. Vida de anaquel del producto
7. Programa de mantenimiento de los componentes de captación de agua de lluvia y del sistema de purificación de agua de lluvia
8. Elaboración de la documentación que da soporte al sistema de gestión de calidad bajo los parámetros que establecen las NMX-CC-9001-IMNC-2015, Sistemas de Gestión de Calidad y NMX-EC-17025 IMNC-2018. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración.

El monitoreo anual realizado a los diferentes puntos de control permitió conocer los cambios o alteraciones físicas, químicas y microbiológicas que puede presentar el agua de lluvia en las diferentes épocas del año.

Resulta necesario el seguimiento y monitoreo del sistema de purificación de agua de lluvia, así como documentar los procesos y registros. Lo anterior brinda información clave, no solo para planificar, sino también para establecer acciones de seguimiento, preventivas y correctivas, de control y mejora continua de cada proceso, así como de reducción de riesgos al consumir un producto que no cumpla con las especificaciones, físicoquímicas o microbiológicas de la normativa mexicana relacionada con el agua para consumo humano.

Hoy en día se lleva a cabo un monitoreo mensual interno del agua en los puntos de control establecidos y se realizan análisis externos en laboratorios certificados cada seis meses, con el propósito de verificar que los diferentes tipos de agua cumplen con lo que establece la norma, para el caso de agua bebible cumplir con la NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua (DOF, 2022).

Gestión financiera

La evaluación económico-financiera, a través de los indicadores planteados, permite concluir que con una inversión inicial de $257,395.00 pesos mexicanos se estima una tasa interna de retorno de (TIR) de 3.75 años. Esto quiere decir que el proyecto alcanzó un equilibrio entre lo invertido y lo ingresado en dicho lapso, con este resultado se determinó que el proyecto ha sido económicamente viable.

Hoy en día, con más de cinco años de funcionamiento, se ha logrado esta TIR y el proyecto se ha consolidado como un proyecto sustentable y que se pretende que sea sostenible en su totalidad con la venta de agua bebible y agua desionizada. Es conveniente mencionar que este proyecto ha sido financiado por UAEMéx, durante el periodo 2022

al 2024 se consiguieron apoyos significativos por $340,000.00 pesos mexicanos que han permitido dar mantenimiento al sistema, así como un incremento considerable (40%) en su capacidad de producir agua para laboratorios, de servicios y de consumo humano.

Experiencia

Este proyecto surgió de una necesidad real del ICAR, al no tener acceso a la red municipal de agua potable, por lo que la reutilización del agua de lluvia, rápidamente se concibió como una alternativa viable para el Instituto. Dicha experiencia ha dado reconocimiento al ICAR, no solo institucional y universitario por la implementación y manejo adecuado del sistema; sino que también ha sido un referente para otros espacios de la UAEMéx que han logrado replicarlo y obtener agua de servicios y para riego, así mismo, ha sido de interés para diferentes medios de comunicación, dependencias gubernamentales y representantes del sector productivo.

Pero, sin duda, la experiencia más importante ha sido desarrollar diversos conocimientos para articular un sistema de potabilización de agua de lluvia sui generis. Para lo cual es crucial el monitoreo mensual del agua de lluvia, a través de los puntos de control establecidos dentro y fuera del proceso de purificación en su comportamiento físicoquímico y microbiológico, en las diferentes épocas del año. Mediante este seguimiento se ha logrado garantizar el abasto de agua para el ICAR, en el marco de las condiciones edafoclimáticas que se presentan hasta el momento. Estamos seguros, que en el futuro se irán presentado variaciones que nos dejarán nuevos aprendizajes y frente a los cuales habrá que esgrimir estrategias adaptativas.

Otro aspecto relevante a considerar, dentro de esta experiencia institucional de aprovechamiento de agua de lluvia, es la dimensión social. Esto significa compartir colectivamente los esfuerzos para el mantenimiento del sistema, generar esquemas de comunicación y difusión que permitan la gestión y procuración de recursos para sostener la planta purificadora, así como el desarrollar una conciencia social y colectiva para el correcto aprovechamiento del agua que tanto esfuerzo con cuesta obtener.

Conclusión

La captación de agua de lluvia es una fuente alterna para obtener el vital líquido potabilizado, garantizando la disponibilidad del recurso para distintos propósitos, a un costo relativamente bajo. Después de los análisis realizados durante el seguimiento al monitoreo de la calidad del agua se puede concluir que los tres tipos de agua que se obtienen del sistema de purificación: agua de servicios, agua bebible y agua desionizada, cumplen con lo que establece la NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Limites permisibles de la calidad del agua” (DOF, 2022) y la norma de la American Society for Testing and Material para el agua desionizada (ASTM, 2018).

El lugar de captación de agua de lluvia, así como el uso que se le dará al recurso resultan de gran importancia ya que de ello dependerá la propuesta de los filtros de purificación necesarios para la remoción de contaminantes, tomando en cuenta que, la carga de contaminantes atmosféricos de una región a otra no es la misma.

La implementación de un sistema de purificación solo es la primera parte, mantenerlo en funcionamiento de forma permanente y adecuada requiere de un trabajo colectivo y monitoreo constantes y de la gestión de recursos financieros, que permitan conocer los límites de cada proceso para poder establecer medidas preventivas y/o correctivas que disminuyan riesgos sanitarios, así como mantenimientos programados que contribuyan a mantener la calidad del producto final.

Se observa que la reutilización y aprovechamiento del agua de lluvia, representa una alternativa útil para abastecer las demandas hidrícas de comunidades pequeñas, donde exista una relación positiva entre disponibilidad, accesibilidad y requerimiento. Además de las actividades de mantenimiento y prevención, es importante mencionar el papel central que juega la cultura del manejo responsable del agua, la cual en el caso del ICAR ha permeado a toda la comunidad que de el formamos parte.

Problemáticas y oportunidades

A continuación (Ver Tabla 1) se presenta una síntesis relacional sobre la problemáticas y oportunidades detectadas en el caso analizado, con lo cual pretendemos abordar la relación ambivalente que existe entre infraestructuras, políticas, recursos y capital humano en la disponibilidad de agua potable para el caso de las instituciones educativas.

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua de lluvia en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Problemáticas	Oportunidades
Falta de acceso a la red de agua potable municipal de Toluca.	Desarrollo de una alternativa, a través de un sistema de captación, almacenamiento y purificación de agua de lluvia.
Inexistencia de esquemas institucionales que permitan la comercialización del agua que el Insituto produce.	Establecimiento de esquemas de economía social y solidaria, a través del intercambio de productos y servicios entre espacios universitarios.
Escaso desarrollo de sistemas de purificación de agua de lluvia para consumo humano.	Desarrollo de un prototipo probado a lo largo del tiempo que permite establecer parámetros de disponiblidad e inocuidad del recurso.
Modelo de abasto hídrico altamente dependiente de las condiciones sociales, económicas y ambientales.	Adaptabilidad de modelos “in situ” con la finalidad de atender necesidades sociohidrológicas específicas.

Referencias bibliográficas

ASTM. (2018). Standard Specification for Reagent Water. USA. https://cdn.standards.iteh.ai/samples/99605/37d074ed08d-94150b7100a898490578e/ASTM-D1193-06-2018-.pdf

Avelar Roblero, J. U., Sánchez Bravo, J. R., Domínguez Acevedo, A., Lobato de La Cruz, C., & Mancilla Villa, O. R. (2019). Validación de un prototipo de sistema captación de agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano. Idesia (Arica), 37(1), 53-59. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019005000302

Blaser, M. (2019). On the properly political (disposition for the) Anthropocene. Anthropological Theory, 19(1): 74-94. https://doi.org/10.1177/1463499618779745

Chubaka, C. Ross, K., y Edwards, J. (2017). Rainwater for drinking water: a study of household attitudes. Water and Society, 216: 299-311. https://doi.org/10.2495/WS170291

DOF. (2022). NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. México. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0

Esquivel, M., Escudero, A., y Peña-Estrada, C. (2024). Modelos de Divulgación Científica y Acceso Universal al Conocimiento: una Revisión Sistemática. Diá-Logos, 16(29), 43–61. https://doi.org/10.61604/dl.v16i29.371

Gleason, J. (2020). International Rainwater Catchment Systems Experiences, Towards Water Security. IWA Publishing: London. https://doi.org/10.2166/9781789060584

Laurent, E., y Pochet, P. (2015). Towards a social-ecological transition- Solidarity in the age of environmental challenge. European Trade Union Institute: Belgium. https://www.etui.org/sites/default/files/Guide_socio-ecological_EN_PRINT_web.pdf

Montes, M. P. (2008). Avances en la Gestión Integral del Agua Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de “Lluviatl” en México. Revista Internancional de Sostenibilidad Tecnología y Humanismo, (3), 39-57. https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/7060/pacheco.pdf

Mejía, R. (02 de abril de 2024). Cuenta regresiva en el Sistema Cutzamala: ¿Cuánto falta para el ‘Día Cero’ desde HOY 2 de abril? Milenio. https://www.milenio.com/politica/comunidad/dia-cero-cuanto-falta-para-sistema-cutzamala-se-quede-sin-agua

ONU. (2022). Agua Naciones Unidas. The United Nations

ONU. (2023). Paz dignidad e igualdad en un planeta sano: Desafíos globales Agua. The United Nations https://www.un.org/es/global-issues/water

Trsichler, H. (2017). El Antropoceno, ¿un concepto geológico o cultural, o ambos? Desacatos, 54: 40-57. https://www.scielo.org.mx/pdf/desacatos/n54/2448-5144-desacatos-54-00040.pdf

34 Disponibilidad de agua y cambio climático: análisis y proyecciones para la Megalópolis de México.

Cristina Eduardo-Soto1, Miguel A. Gómez-Albores[1]*, Raymundo Ordoñez-Sierra[1], José Luis Expósito-Castillo[1], Carlos Alberto Mastachi-Loza[1], Alejandro Tonatiuh Romero-Contreras[1], Víctor Josué Arriaga- Núñez[1].

[1]Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua de la Universidad Autónoma del Estado de México (*autor de correspondencia: magomeza@uaemex.com);

Resumen

Las zonas metropolitanas en el mundo se encuentran más propensas a padecer la reducción de la disponibilidad de agua debido a la creciente demanda provocada por la concentración de la población (Wu et al., 2020). Aunado a esto, el cambio climático está modificando la distribución espacial y temporal de la disponibilidad de agua (Liu et al., 2024). En México se encuentra una de las megalópolis más pobladas del mundo, por lo cual es importante conocer su variabilidad actual de sus recursos hídricos y los posibles impactos del cambio climático a futuro. Esto se puede analizar a través de productos de reanálisis de variables climáticas y con modelos de circulación global (MCG) mediante el análisis de tendencia estacional con series de tiempo. De las 10 zonas metropolitanas que se encuentran en la megalópolis, las ZM de Cuernavaca, Valle de Toluca, Santiago Tianguistenco y Valle de México se consideran con menor disponibilidad de agua actual, mientras que, la ZM de Cuernavaca será la que tendrá mayor impacto por el cambio climático en la distribución y reducción de precipitación, así como en el aumento de temperatura.

Introducción

La disponibilidad de agua para el consumo humano y los ecosistemas depende principalmente de la distribución espacio-temporal de la precipitación (Konapala et al., 2020). Sin embargo, la intervención humana ha alterado la dinámica de los procesos naturales modificando el ciclo hidrológico a escala local (Sheil, 2018). Como resultado, las ciudades enfrentan problemáticas como: escasez de agua, contaminación y emisiones de gases de efecto invernadero (Heras Gutiérrez et al., 2020), debido a la demanda del recurso por el aumento en la población (Escolero et al., 2016).

Ante los cambios en el clima, el ciclo hidrológico está experimentando altos niveles de variabilidad espacial y temporal, lo que da lugar a numerosos problemas relacionados con el agua (Yang et al., 2021), por lo tanto, el objetivo de este capítulo es analizar el estado actual de la disponibilidad de agua en cada Zona Metropolitana (ZM) que se encuentra en la Megalópolis y su variabilidad climática en el contexto de cambio climático.

Disponibilidad del agua

El balance hídrico considera variables como las precipitaciones, que aportan agua periódicamente a la superficie; la evapotranspiración, como el proceso mediante el cual, el agua se transfiere de la superficie terrestre a la atmósfera; el escurrimiento, es el movimiento de agua sobre la superficie terrestre; y, por último, la infiltración, que es la penetración del agua en los suelos y contribuye recarga los acuíferos (Antón & Díaz Delgado, 2002).

La disponibilidad de agua dependerá del balance hídrico, entre el agua que entra al sistema por medio de la precipitación y la salida, que corresponde de los cuerpos de agua por la evaporación y la evapotranspiración vegetal (Secretaría de Medio Am-

biente y Recursos Naturales, [SEMARNAT], 2012). Para estimar esta disponibilidad, es importante considerar la variación temporal y espacial de las variables climáticas (Santillán Gutiérrez et al., 2013).

Metodología

La Megalópolis de México está conformada por diez Zonas Metropolitanas (ZM), como se muestra en la Fig. 1. De acuerdo con el Censo de INEGI 2020, se considera la ZM del Valle de México la más poblada, ya que tiene una densidad de población de 6,163 habitantes por km², seguida por la ZM del Valle de Toluca. Por otro lado, las ZM con menor densidad de población son Tulancingo con 398 habitantes por km² y la ZM de Puebla-Tlaxcala con 336 habitantes por km².

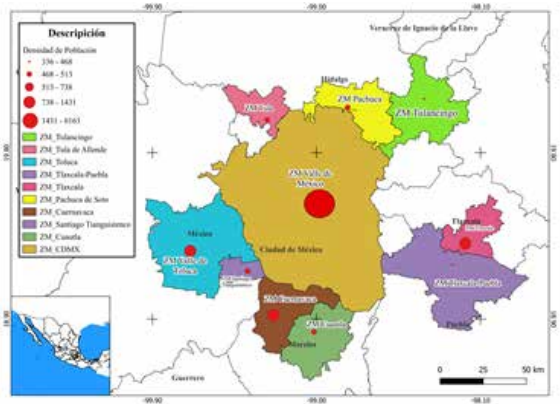


Figura 1. Mapa de la distribución por ZM de la densidad de población con datos del Censo de INEGI 2020.

Descarga de información

Para el cálculo del Balance Hídrico Climático (BHC) se utilizó el método directo de Thornthwaite y Mather de 1957, que estima la disponibilidad de agua basándose en variables climáticas, obtenidas del producto TerraClimate (https://www.climatologylab.org/terraclimate.html) sobre el balance hídrico superficial a nivel mensual para el periodo histórico de 1980 a 2023, con una resolución espacial de aproximadamente 4 km.

Esta información se genera mediante un método de interpolación utilizando los normales climatológicos del conjunto de datos de WorldClim y datos de resolución espacial más gruesa de la serie de tiempo CRU Ts4.0 (Climatic Research Unit versión 4) y el Reanálisis japonés de 55 años (JRA55) (Abatzoglou et al., 2018).

Para los periodos futuros se consideraron dos modelos de circulación global: MRI-ESM2-0 y MPI (https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html), para dos escenarios de trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP por sus siglas en inglés): SSP2-4.5 y SSP5-8.5. Los modelos se encuentran divididos en cuatro periodos, el futuro cercano (2021-2040 y 2041-2060) y futuro lejano (2061-2080 y 2081-2100). Para ello, se crearon series de tiempo por variable climática histórica y futura.

Análisis de tendencia

Se realizó el análisis de tendencias de las diferentes variables del BHC para el periodo histórico a través del método no paramétrico de Mann-Kendall con series temporales anuales, con el propósito de identificar su distribución y cambios en los últimos años como indicador del cambio climático (Pr v lie et al., 2019; Yang et al., 2021). Posteriormente se analizó la información por periodos, integrando las series climáticas futuras.

Resultados

1.1 Tendencia de las variables climáticas

La figura 2, inciso a), se ilustra la distribución espacio-temporal de la precipitación anual desde 1980 hasta 2023 en las diez ZM. En este contexto, se observa que la ZM de Cuernavaca presenta la mayor precipitación con 1119.35 mm/año en promedio, seguida por la ZM Santiago Tianguistenco con 1117.31 mm/año. En contraste, las ZM con menos cantidad de lluvia son la ZM de Pachuca de Soto con 523.10 mm/año y la ZM de Tula de Allende con 557.58 mm/año en promedio. Este patrón se encuentra influenciado por factores geográficos específicos de cada región.

Entre 1980 y 2023, los años con menor precipitación anual de manera general para las 10 ZM, son 1982, 1993, 1997, 2005 y en los últimos años de manera más frecuente 2019, 2022 y 2023. Cabe mencionar que, en los años de 1982 y 1993 ocurrió el fenómeno de El Niño, que afectó la reducción de precipitación debido al calentamiento inusual de las aguas superficiales del océano Pacífico ecuatorial, provocando cambios significativos en los patrones climáticos. Sin embargo, en los demás años secos no se encontró registro de este fenómeno.

Esta reducción tendrá un impacto significativo en la recarga de los acuíferos y cuerpos de agua superficiales, afectando la disponibilidad de agua. La lluvia que se infiltra regresa al sistema de agua superficial meses o años después de la infiltración (Chambel, 2015), y este proceso depende del espesor de las zonas vadosas y freáticas. Por ello, la variabilidad temporal en la recarga se retrasa en comparación con la variabilidad de la precipitación (Cartwright & Johnson, 2018). Ante la lentitud de recuperación de los niveles freáticos, este proceso puede ser vulnerable al cambio climático (Martínez Austria et al., 2019).

Los cambios de temperatura, observados entre 1980 y 2023, indican una tendencia al incremento, donde en la tabla 1, se muestra el incremento de cada ZM. Además, de acuerdo con un estudio en el periodo de 1980 al 2009, se registró una tendencia por encima del promedio con un aumento de 0.98°C en la ZM del Valle de Toluca (Vilchis Mata & Garrocho Rangel, 2018).

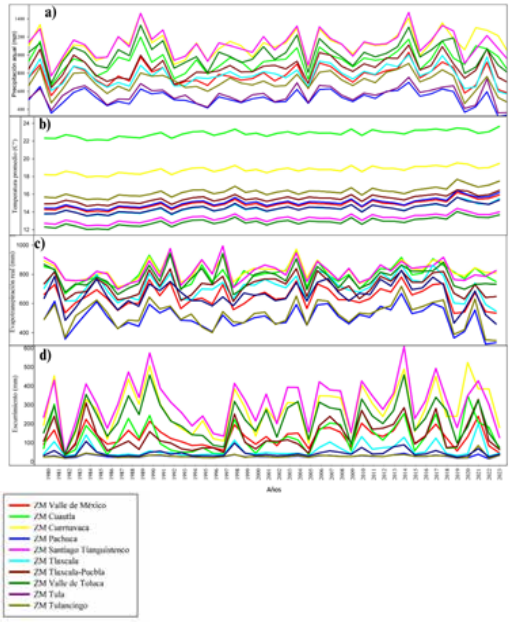


Figura 2. Variables de la Tendencia Climática a) precipitación b) temperatura promedio c) evapotranspiración real d) escurrimiento

Con el registro histórico de la tendencia al aumento de la temperatura promedio en cada una de las ZM de la Megalópolis de México, se considera que este fenómeno es causado por las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las actividades humanas (Yang et al., 2021). El calentamiento local puede impulsar cambios en los valores de evapotranspiración, principalmente debido a la variabilidad térmica (Bandoc & Prăvălie, 2015). Esto generaría una mayor transferencia de agua a la atmósfera, considerándose agua perdida (Orduz-Rodríguez & Fischer, 2007).

Por ello, se realizó un análisis de la tendencia de la evapotranspiración real del periodo de 1980 al 2023 (figura 1 inciso (b). Se identificó un incremento de la evapotranspiración, a excepción de la ZM del Valle de México y Pachuca, que presentan un ligero decremento de la evapotranspiración menor a 1 mm/año.

Se observa que, en los últimos años se registra un incremento en la evapotranspiración en la mayoría de las ZM, principalmente debido al aumento de las temperaturas. Este incremento de temperatura provoca una mayor evaporación de la humedad del suelo (Monterroso-Rivas & Gómez-Díaz, 2021). A la vez, la humedad relativa tiende a disminuir al incrementarse la capacidad de retención de humedad del aire (Orduz-Rodríguez & Fischer, 2007).

El cambio de uso de suelo en el proceso de urbanización, con la construcción de superficies impermeables, causa una disminución local en la infiltración, percolación y almacenamiento de humedad del suelo. Esto reduce la intercepción natural y aumenta la escorrentía (Brun & Band, 2000). Ante esto, la figura 1, inciso d), muestra la tendencia del escurrimiento, indicando un aumento en toda la Megalópolis de México. Relacionando esto con el texto anterior, una de las causas del incremento del escurrimiento es la expansión de superficies impermeables.

Tabla 1. Datos de tendencia de la temperatura promedio anual (T°) y la evapotranspiración real anual (ETa), escurrimiento (Q) de las ZM de la Megalópolis de México.

ZM	T (°C) ↑	ETa (mm) ↑	Q↑
Valle de México	+1.32	-1	+14.37
Cuautla	+1.04	+5.77	+59.34
Cuernavaca	+0.97	+4.16	+109.08
Pachuca	+1.32	+ 1	+1
Santiago Tianguistenco	+1.19	+2.6	+32.64
Tlaxcala	+1.31	+2.56	+11.77
Tlaxcala-Puebla	+1.1	+2.36	+60.91
Valle de Toluca	+1.24	+2.01	-3.42
Tula	+1.35	+0.87	+0.02
Tulancingo	+1.23	+4.34	+2.95

+: Incremento -: Decremento

1.2 Balance hídrico climático

Posteriormente al análisis general de la variabilidad climática, se realizó el balance hídrico climático y para obtener la variable de infiltración, se aplicó la siguiente ecuación: Infiltración: Precipitación –Evapotranspiración real-Escurrimiento.
En la tabla 1, se muestran los resultados de las variables del periodo de 1980 al 2023.

Tabla 1. Estimación del balance hídrico climático en mm/año con datos de TerraClimate 1980 al 2023 (Q: Escurrimiento, I: Infiltración).

ZM	P	ETa	Q	I
Valle de México	772.72	645.48	132.99	0
Cuautla	1119.32	824.75	281.36	13.21
Cuernavaca	940.06	801.07	134.17	4.82
Pachuca	460.42	438.11	21.89	0.42
Santiago Tianguistenco	1138.10	820.27	317.14	0.69
Tlaxcala	779.83	713.08	61.69	5.06
Tlaxcala-Puebla	861.38	723.59	138.56	0
Valle de Toluca	1002.68	776.81	229.39	0
Tula	557.59	523.49	30.21	3.89
Tulancingo	701.34	657.12	45.64	0

La disponibilidad de agua se considera en este caso como el volumen de agua registrado durante la temporada de lluvia, que se manifiesta como recurso hídrico en forma de escurrimiento e infiltración. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Disponibilidad de agua natural en hectómetros cúbicos por año (hm³/año) de cada ZM de la Megalópolis de México.

ZM	Q+I (mm)	Área (Km²)	hm³/año
Valle de México	133.0	5954	791.82
Cuautla	294.6	995.59	293.27
Cuernavaca	139.0	1189.58	165.33
Pachuca	22.3	1196.5	26.69
Santiago Tianguistenco	317.8	1196.5	380.27
Tlaxcala	66.8	3991	266.39
Tlaxcala-Puebla	138.6	3180	440.62
Valle de Toluca	229.4	2410.5	552.94
Tula	34.1	491.4	16.75
Tulancingo	45.6	1396	63.71

En la ZM de Pachuca se tiene una estimación de 26.69 hm³/año, pero en el año 2010 se registró un fuerte grado de presión sobre el recurso hídrico debido a la explotación de los mantos freáticos y a la recarga generada en los periodos de lluvia (García Benítez, 2011).

En la ZM de Tulancingo, la disponibilidad es de 63.71 hm³/año. También tiene fuentes de agua subterránea, como el acuífero del Valle de Tulancingo, que presenta un déficit de 20.21 hm³/año (Cruz Sánchez et al., 2020).

La demografía influye significativamente en la disponibilidad de los recursos hídricos (Le Blanc & Perez, 2008). Las Zonas Metropolitanas se definen como aquellas que comparten una conurbación entre dos o más localidades urbanas y cuya población en su conjunto es igual o mayor a los 100 mil habitantes (Desarrollo Territorial, CONAPO & INEGI, 2020). De acuerdo con el INEGI, la densidad de población a nivel nacional es de 64 habitantes por km². En el caso de las ZM, la densidad de población supera la media nacional, generando una mayor demanda sobre los recursos hídricos.

Para identificar qué Zona Metropolitana tiene mayor disponibilidad de agua, se calculó el total de volumen de escurrimiento e infiltración de la Megalópolis de México y se determinó el porcentaje correspondiente a cada ZM. Los resultados muestran que la ZM con mayor disponibilidad de agua es Santiago Tianguistenco, que representa el 22.2% del total, seguida por la ZM de Cuautla con el 20.6% y la ZM del Valle de Toluca con el 16.06%.

Por otro lado, las ZM con menor disponibilidad de agua son la ZM de Pachuca con 2%, seguida por Tula con 2.3% y Tulancingo con 3.1%.

En la ZM de Pachuca, además de tener una limitada disponibilidad de agua, se considera que, por el tipo de clima semicálido y cálido, la tendencia es consumir una mayor cantidad de agua de 28.67 hm³/habitante (García Benítez, 2011), generando una mayor demanda del recurso hídrico.

La ZM del Valle de México tiene una disponibilidad natural de 791.82 hm³/año, ligeramente mayor al calculado por Puyol & Naranjo (2009), se considera que este incremento es causado por el aumento de la mancha urbana. Aunque se consideraba un sistema lacustre autosuficiente, pasó a ser dependiente de cuencas externas, debido a que la magnitud de la población y el volumen de agua disponible rebasaron en los años sesenta (Luyando López & Tejeda Martínez, 2010). Actualmente, se toma de tres fuentes disponibles: acuíferos y agua superficial de la Cuenca del Valle de México, la importación de agua

subterránea de la Cuenca del Río Lerma y agua superficial de la Cuenca del Río Cutzamala (Puyol & Naranjo, 2009).

La ZM del Valle de Toluca, se estima una disponibilidad natural de 552.94hm³/ año. Cuenta con dos fuentes principales de abastecimiento de agua, además del aporte de lluvia: la extracción de 84 pozos profundos del acuífero Toluca, que se encuentra en estado de déficit, y la importación de agua del Sistema Cutzamala. Se estima que, si continúa el crecimiento de la población, habrá un mayor decremento de la oferta debido a la reducción de caudales de las fuentes de abastecimiento de agua, proyectándose para el año 2030 una reducción del 42.0% en la dotación de agua per cápita (Vilchis-Mata et al., 2018).

Estos resultados reflejan que, en las ZM no son autosuficientes respecto a su disponibilidad natural de agua, porque se recurren a fuentes externas para satisfacer el volumen de agua para la población.

1.3 Tendencia climática de precipitación y temperatura con escenarios de cambio climático

Las observaciones de la variabilidad climática a largo plazo son una base clave para la adaptación al cambio climático (Alexander, 2016). Los modelos MPI-ESM1 y el MRI-ESM2-0 representan los procesos dinámicos y físicos que ocurren en la atmósfera, simulando las condiciones globales de temperatura, precipitación y radiación incidente del sistema climático global bajo diferentes concentraciones de gases de efecto invernadero (Magaña et al., 2000; Marino Estay, 2017; Rivera & Amador, 2008).
Con el sexto reporte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climáticos (IPCC, 2021), se incorporaron las emisiones antropogénicas pasadas y futuras, conocidas como Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés).

1.3.1 Modelo MPI-ESM1 con el escenario SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Los efectos del cambio climático se manifiestan en las propiedades estadísticas de la distribución local de la temperatura y la precipitación (Fonseca & Santos, 2019). La figura 3, muestra la precipitación histórica y los periodos futuros del modelo MPI-ESM1 bajo el escenario SSP2-4.5, mientras que la figura 4, presenta el escenario más crítico, SSP5-8.5. Las Zonas Metropolitanas de la Megalópolis de México presentan una tendencia a la disminución y modificación en la distribución de la precipitación, ya que en el periodo base se presenta un solo pico de lluvia, mientras que los escenarios futuros se modifica el régimen con dos picos de lluvia, siendo más crítico en el escenario SSP5-8.5.

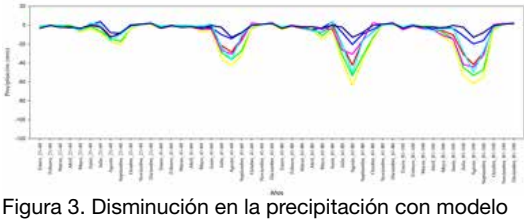


Figura 3. Disminución en la precipitación con modelo MPI-ESM1 del escenario SSP2-4.5

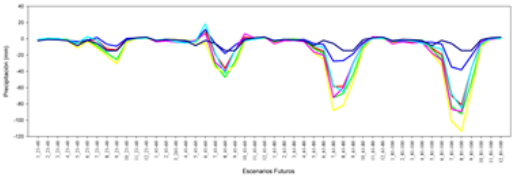


Figura 4. Disminución de la precipitación con modelo MPI-ESM1 del escenario SSP5-8.5.

En la tabla 4, se muestra la precipitación anual de cada periodo de la serie de tiempo, comparando el periodo histórico con las proyecciones futuras. Esto permite identificar cambios en la precipitación en cada ZM. Los resultados indican que la ZM de Cuernavaca experimentará la mayor reducción de precipitación, seguida por las ZM de Tlaxcala-Puebla y Cuautla, con una disminución del 5.3% al 5.8% en el primer periodo (2021-2040). Esta tendencia se intensificará, alcanzando una reducción del 18.4% al 19.1% para el periodo 2081-2100.

Tabla 4. Comparación entre la precipitación anual histórica y futura con el escenario MPI-ESM1 SSP2-4.5

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	772.7	741.5	699.7	665.8	644.2
	Δ	-31.2	-73.1	-107.0	-128.6
Cuautla	940.1	890.0	836.9	787.9	764.1
	Δ	-50.1	-103.1	-152.2	-176.0
Cuernavaca	1119.3	1054.1	989.8	931.4	904.5
	Δ	-65.2	-129.5	-187.9	-214.8
Pachuca	516.4	498.8	478.7	465.8	457.7
	Δ	-17.6	-37.7	-50.6	-58.7
Santiago Tianguistenco	1011.9	979.8	927.1	927.1	857.4
	Δ	-32.2	-84.8	-84.8	-154.5
Tlaxcala	779.8	747.0	709.5	671.2	657.6
	Δ	-32.9	-70.4	-108.6	-122.2
Tlaxcala-Puebla	861.4	814.3	769.5	725.8	657.6
	Δ	-47.1	-91.8	-135.6	-203.8
Valle de Toluca	1002.7	970.6	919.1	865.9	850.6
	Δ	-32.1	-83.6	-136.8	-152.1
Tula	557.6	536.4	512.6	496.3	474.3
	Δ	-21.2	-45.0	-61.3	-83.3
Tulancingo	701.3	669.0	643.4	628.2	626.6
	Δ	-32.4	-57.9	-73.1	-74.8

Δ: Diferencia

La tabla 5, muestra la precipitación anual según el modelo MPI-ESM1 bajo el escenario SSP5-8.5, el cual proyecta una disminución aún más drástica. La Zona Metropolitana (ZM) de Cuernavaca seguirá siendo la más afectada, seguida por las ZM de Tlaxcala-Puebla y Cuautla, con una reducción del 6% al 7% en el primer periodo (2021-2040). Esta tendencia continuará, estimándose una reducción del 36% al 40% para el periodo 2081-2100 en las ZM mencionadas.

Tabla 5. Comparación entre la precipitación anual histórica y futura con el escenario MPI-ESM1 SSP5-8.5

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	772.7	736.7	703.7	584.5	533.6
	Δ	**-36.0**	**-69.0**	**-188.2**	**-239.1**
Cuautla	940.1	874.4	831.0	712.2	657.8
	Δ	**-65.7**	**-109.0**	**-227.9**	**-282.3**
Cuernavaca	1119.3	1035.2	989.8	834.6	767.6
	Δ	**-84.2**	**-129.5**	**-284.8**	**-351.7**
Pachuca	516.4	497.5	486.0	423.1	398.7
	Δ	**-18.9**	**-30.4**	**-93.4**	**-117.7**
Santiago Tianguistenco	1011.9	962.6	928.3	797.1	732.4
	Δ	**-49.3**	**-83.6**	**-214.8**	**-279.6**
Tlaxcala	779.8	744.0	709.4	595.7	551.2
	Δ	**-35.8**	**-70.4**	**-184.1**	**-228.7**
Tlaxcala-Puebla	861.4	811.7	768.0	630.7	574.8
	Δ	**-49.7**	**-93.4**	**-230.7**	**-286.6**
Valle de Toluca	1002.7	953.8	920.6	791.7	728.2
	Δ	**-48.9**	**-82.1**	**-211.0**	**-274.5**
Tula	557.6	536.2	520.7	438.7	407.6
	Δ	**-21.4**	**-36.9**	**-118.9**	**-150.0**
Tulancingo	701.3	666.4	654.1	579.1	549.8
	Δ	**-34.9**	**-47.3**	**-122.3**	**-151.6**

En las figuras 5 y 6 se observa un incremento de la temperatura promedio anual desde el futuro cercano hasta el lejano, siendo más crítico en el escenario SSP5-8.5. Este escenario representa un futuro con altas emisiones de gases de efecto invernadero, lo que coincide con las proyecciones del IPCC. Este aumento de temperatura podría provocar una mayor evapotranspiración y cambios en los patrones y regímenes de precipitación (Fonseca & Santos, 2019).

Además, el incremento en la evaporación puede afectar la disponibilidad hídrica mensual, dependiendo del régimen de suministro de agua (Konapala et al., 2020), y puede afectar tanto a los recursos hídricos superficiales como subterráneos.

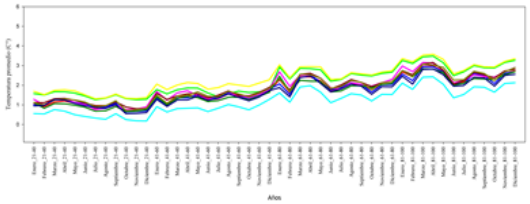


Figura 5. Temperatura promedio con el modelo MPI-ESM1 del escenario SSP2-4.5.

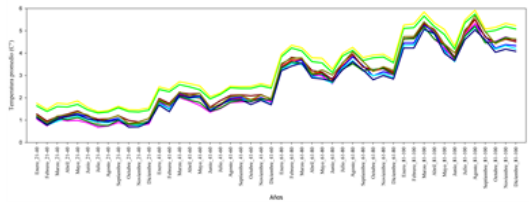


Figura 6. Temperatura promedio con el modelo MPI-ESM1 del escenario SSP5-8.5.

En este caso, de acuerdo con el modelo MPI-ESM1 y el escenario SSP2-4.5 (tabla 6), las Zonas Metropolitanas (ZM) que presentarán mayor incremento de temperatura serán:
La ZM de Cuernavaca con un aumento de 1.5°C para el periodo 2021-2040, alcanzando 3.1°C en el periodo 2080-2100. La ZM de Cuautla con un aumento inicial de 1.4°C, alcanzando 3°C en el periodo final. La ZM de Tula con un aumento de 1°C en el primer periodo, finalizando con 2.7°C en el último periodo y la de ZM de Tlaxcala-Puebla: con un aumento de 1.1°C en el primer periodo, alcanzando un aumento de 2.6°C en el último periodo.

Estos incrementos están en línea con las proyecciones globales, aunque algunas ZM como Cuernavaca y Cuautla podrían experimentar aumentos ligeramente superiores al promedio global hacia finales del siglo.

Las ZM coinciden con el impacto en la disminución de precipitación, lo que indica una relación inversa entre las variables. A medida que la temperatura aumenta, se observa una tendencia a la disminución de la precipitación.

El incremento del calentamiento global generará una mayor frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo, así como sequías agrícolas y ecológicas (IPCC, 2022), lo cual puede agravar los problemas de disponibilidad de agua y afectar negativamente a los ecosistemas y la agricultura en estas regiones.

Tabla 6. Temperatura promedio histórica vs futura con el modelo MPI-ESM1 SSP2-4.5

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	14.7	15.6	16.1	16.8	17.3
	Δ	**0.9**	**1.4**	**2.0**	**2.5**
Cuautla	22.4	23.8	24.3	24.9	25.4
	Δ	**1.4**	**1.9**	**2.6**	**3.0**
Cuernavaca	18.2	19.7	20.2	20.9	21.4
	Δ	**1.5**	**2.0**	**2.7**	**3.1**
Pachuca	14.8	15.7	16.2	16.8	17.3
	Δ	**1.0**	**1.4**	**2.0**	**2.5**
Santiago Tianguistenco	13.1	13.9	14.4	15.1	15.6
	Δ	**0.8**	**1.3**	**2.0**	**2.5**
Tlaxcala	14.2	15.1	15.5	16.1	16.6
	Δ	**0.9**	**1.3**	**2.0**	**2.4**
Tlaxcala-Puebla	15.2	16.3	16.8	17.4	17.9
	Δ	**1.1**	**1.5**	**2.2**	**2.6**
Valle de Toluca	12.8	13.6	14.1	14.8	15.2
	Δ	**0.9**	**1.3**	**2.0**	**2.5**
Tula	16.0	17.1	17.6	18.2	18.7
	Δ	**1.0**	**1.5**	**2.1**	**2.7**
Tulancingo	14.2	15.1	15.6	16.2	16.6
	Δ	**0.9**	**1.3**	**1.9**	**2.4**

Para el escenario más crítico, SSP5-8.5 del modelo MPI-ESM1 (tabla 7), sigue siendo la ZM de Cuernavaca la que presenta el mayor incremento de temperatura, con un aumento de hasta 5.3°C. Le sigue la ZM de Cuautla, que puede llegar a una temperatura de 5.1°C en el periodo 2080-2100. La ZM de Tula de Allende se estima que pueda aumentar hasta 4.8°C en el mismo periodo, y la ZM de Tlaxcala-Puebla con un incremento de 4.7°C.

Tabla 7. Temperatura promedio histórica vs futura con el modelo MPI-ESM1 SSP5-8.5

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	14.7	15.7	16.6	18.1	19.4
	Δ	**1.0**	**1.9**	**3.3**	**4.7**
Cuautla	22.4	23.9	24.7	26.2	27.5
	Δ	**1.5**	**2.4**	**3.8**	**5.1**
Cuernavaca	18.2	19.8	20.7	22.1	23.5
	Δ	**1.6**	**2.5**	**3.9**	**5.3**
Pachuca de Soto	14.8	15.8	16.6	18.0	19.3
	Δ	**1.0**	**1.9**	**3.3**	**4.6**
Santiago Tianguistenco	13.1	14.0	14.9	16.4	17.7
	Δ	**0.9**	**1.8**	**3.2**	**4.6**
Tlaxcala	14.2	15.1	16.0	17.3	18.6
	Δ	**1.0**	**1.8**	**3.2**	**4.5**
Tlaxcala-Puebla	15.2	16.4	17.2	18.6	20.0
	Δ	**1.1**	**2.0**	**3.4**	**4.7**
Valle de Toluca	12.8	13.7	14.6	16.0	17.4
	Δ	**0.9**	**1.8**	**3.2**	**4.6**
Tula de Allende	16.0	17.1	18.0	19.5	20.8
	Δ	**1.1**	**2.0**	**3.5**	**4.8**
Tulancingo	14.2	15.2	16.0	17.4	18.6
	Δ	**1.0**	**1.8**	**3.1**	**4.4**

1.3.2 Modelo MRI-ESM2-0 con el escenario SSP2-4.5 y SSP5-8.5.

Por otro lado, se realizó el mismo análisis utilizando el modelo MRI-ESM2-0 para los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5. En cuanto a la variable de precipitación, los resultados también indican una reducción en la cantidad total de lluvia, además de un cambio en su distribución. En lugar de un único pico de precipitación, ahora se observan dos picos, siendo el segundo de menor intensidad, como se observa en las figuras 7 y 8, y siendo más crítico en el escenario SSP5-8.5.

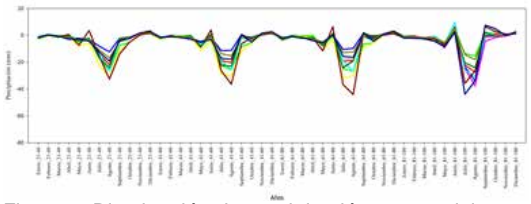


Figura 7. Disminución de precipitación con modelo MRI-ESM2-0 del escenario SSP2-4.5

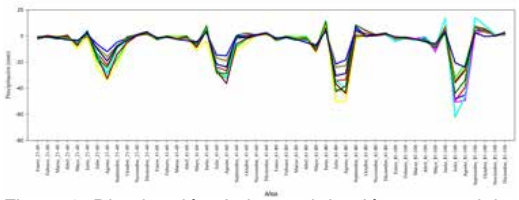


Figura 8. Disminución de la precipitación con modelo MRI-ESM2-0 del escenario SSP5-8.5

En la tabla 8, se identifica que el modelo MRI-ESM2-0 con el escenario SSP2-4.5 estima una reducción de precipitación mayor que el modelo MPI-ESM1. Sin embargo, el impacto sigue siendo considerable en las mismas ZM que en el análisis anterior. Es decir, la ZM de Cuernavaca, la ZM de Cuautla y la ZM de Tlaxcala-Puebla pueden experimentar una reducción de precipitación en el último periodo, que oscila entre el 7.9% y el 9%.

Tabla 8. Precipitación anual histórica y futura con el escenario MRI-ESM2-0 SSP2-4.5

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	772.7	726.8	721.3	723.4	719.9
	Δ	**-45.9**	**-51.4**	**-49.3**	**-52.8**
Cuautla	940.1	875.7	867.9	867.2	865.5
	Δ	**-64.4**	**-72.2**	**-72.9**	**-74.6**
Cuernavaca	1119.3	1034.2	1025.6	1025.4	1023.2
	Δ	**-85.2**	**-93.7**	**-94.0**	**-96.1**
Pachuca de Soto	516.4	487.0	483.0	486.6	484.2
	Δ	**-29.4**	**-33.5**	**-29.8**	**-32.2**
Santiago Tianguistenco	1011.9	962.4	956.7	959.5	957.7
	Δ	**-49.6**	**-55.2**	**-52.4**	**-54.2**
Tlaxcala	779.8	731.7	719.3	720.6	714.3
	Δ	**-48.2**	**-60.5**	**-59.2**	**-65.6**
Tlaxcala-Puebla	861.4	801.6	789.6	788.2	783.6
	Δ	**-59.8**	**-71.8**	**-73.2**	**-77.7**
Valle de Toluca	1002.7	953.0	947.5	950.5	948.7
	Δ	**-49.7**	**-55.2**	**-52.2**	**-54.0**
Tula de Allende	557.6	516.4	515.4	519.5	516.5
	Δ	**-41.2**	**-42.2**	**-38.1**	**-41.1**
Tulancingo	701.3	656.9	651.1	656.3	651.0
	Δ	**-44.5**	**-50.3**	**-45.0**	**-50.3**

De acuerdo con el modelo MPI-ESM1, con el escenario más crítico SSP5-8.5 (tabla 9), el impacto en el último periodo será mayor que con el escenario menos crítico SSP2-4.5. En este caso, se estima que las ZM de Cuernavaca, Cuautla y Tlaxcala-Puebla experimentarán una reducción de precipitación entre el 11.4% y el 13.5%.

Tabla 9. Precipitación anual histórica y futura con el escenario MRI-ESM2-0 SSP5-8.5

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	772.7	722.9	717.8	705.0	690.5
	Δ	**-49.8**	**-54.9**	**-67.8**	**-82.3**
Cuautla	940.1	865.0	865.7	853.7	837.4
	Δ	**-75.0**	**-74.4**	**-86.4**	**-102.7**
Cuernavaca	1119.3	1021.9	1025.6	1006.5	988.5
	Δ	**-97.4**	**-93.7**	**-112.8**	**-130.9**
Pachuca de Soto	516.4	487.7	482.2	473.2	460.9
	Δ	**-28.7**	**-34.2**	**-43.2**	**-55.5**
Santiago Tianguistenco	1011.9	955.8	954.9	939.2	923.5
	Δ	**-56.1**	**-57.1**	**-72.7**	**-88.4**
Tlaxcala	779.8	723.9	714.3	700.5	682.5
	Δ	**-56.0**	**-65.6**	**-79.4**	**-97.4**
Tlaxcala-Puebla	861.4	791.5	783.2	771.1	754.8
	Δ	**-69.9**	**-78.2**	**-90.3**	**-106.6**
Valle de Toluca	1002.7	946.8	945.9	930.5	915.0
	Δ	**-55.9**	**-56.8**	**-72.2**	**-87.7**
Tula de Allende	557.6	517.4	514.4	517.4	497.2
	Δ	**-40.2**	**-43.2**	**-40.2**	**-60.4**
Tulancingo	701.3	658.0	648.1	638.5	620.0
	Δ	**-43.3**	**-53.3**	**-62.9**	**-81.3**

La temperatura del modelo MRI-ESM2-0 con el escenario SSP2-4.5, como se muestra en la figura 9, estima una tendencia al incremento en todas las Zonas Metropolitanas (ZM). De manera similar, en el escenario SSP5-8.5, se observa un incremento aún más pronunciado. Sin embargo, como se puede ver en la figura 10, el incremento de la temperatura es más crítico en el escenario SSP5-8.5.

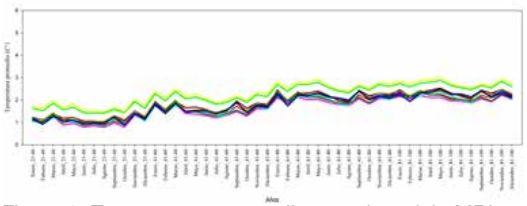


Figura 9. Temperatura promedio con el modelo MRI-ESM2-0 del escenario SSP2-4.5.

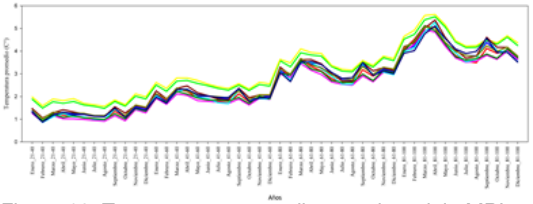


Figura 10. Temperatura promedio con el modelo MRI-ESM2-0 del escenario SSP5-8.5.

Las ZM más críticas relacionadas al aumento de temperatura, según el modelo MPI-ESM1, son la ZM de Cuernavaca con un incremento en el último periodo de 2.8°C, la ZM de Cuautla con 2.7°C y la ZM de Tlaxcala-Puebla con un incremento para el último periodo de 2.3°C (tabla 10).

Tabla 10. Temperatura promedio histórica vs futura con el modelo MRI-ESM2-0 del escenario SSP2-4.5.

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	14.7	15.8	16.3	16.8	16.9
	Δ	**1.1**	**1.6**	**2.1**	**2.2**
Cuautla	22.4	24.0	24.4	24.9	25.0
	Δ	**1.6**	**2.1**	**2.6**	**2.7**
Cuernavaca	18.2	19.9	20.4	20.9	21.0
	Δ	**1.7**	**2.2**	**2.7**	**2.8**
Pachuca de Soto	14.8	15.8	16.4	16.9	17.0
	Δ	**1.1**	**1.6**	**2.1**	**2.2**
Santiago Tianguistenco	13.1	14.1	14.5	15.0	15.1
	Δ	**0.9**	**1.4**	**1.9**	**2.0**
Tlaxcala	14.2	15.2	15.7	16.2	16.3
	Δ	**1.0**	**1.5**	**2.0**	**2.1**
Tlaxcala-Puebla	15.2	16.4	16.9	17.4	17.6
	Δ	**1.2**	**1.7**	**2.2**	**2.3**
Valle de Toluca	12.8	13.8	14.3	14.8	14.9
	Δ	**1.1**	**1.5**	**2.1**	**2.1**
Tula de Allende	16.1	17.2	17.7	18.3	18.4
	Δ	**1.2**	**1.7**	**2.2**	**2.3**
Tulancingo	14.2	15.3	15.8	16.4	16.5
	Δ	**1.1**	**1.6**	**2.1**	**2.2**

Para el escenario más crítico con el modelo MRI-ESM2-0 (tabla 11), se estima un mayor incremento de temperaturas en todas las ZM de la Megalópolis de México, afectando principalmente a la ZM de Cuernavaca en el periodo 2080-2100 con 4.7°C, a la ZM de Cuautla con 4.6°C y a la ZM de Tlaxcala-Puebla.

Tabla 11. Temperatura promedio histórica vs futura con el modelo MRI-ESM2-0 del escenario SSP5-8.5.

ZM	1980-2023	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
Valle de México	14.7	15.9	16.7	17.7	18.8
	Δ	**1.2**	**2.0**	**3.0**	**4.1**
Cuautla	22.4	24.1	24.8	25.9	27.0
	Δ	**1.7**	**2.5**	**3.5**	**4.6**
Cuernavaca	18.2	20.1	20.8	21.9	23.0
	Δ	**1.8**	**2.6**	**3.6**	**4.7**
Pachuca de Soto	14.8	16.0	16.8	17.9	18.9
	Δ	**1.2**	**2.0**	**3.1**	**4.2**
Santiago Tianguistenco	13.1	14.2	14.9	16.0	17.1
	Δ	**1.0**	**1.8**	**2.9**	**4.0**
Tlaxcala	14.2	15.3	16.1	17.2	18.3
	Δ	**1.2**	**1.9**	**3.0**	**4.1**
Tlaxcala-Puebla	15.2	16.6	17.3	18.4	19.5
	Δ	**1.4**	**2.1**	**3.2**	**4.3**
Valle de Toluca	12.8	13.9	14.7	15.7	16.9
	Δ	**1.2**	**1.9**	**3.0**	**4.1**
Tula de Allende	16.1	17.4	18.1	19.2	20.3
	Δ	**1.3**	**2.1**	**3.2**	**4.2**
Tulancingo	14.2	15.5	16.3	17.3	18.4
	Δ	**1.2**	**2.0**	**3.1**	**4.2**

Conclusiones

En conclusión, al hacer el análisis de la tendencia histórica del periodo 1980 al 2023, los resultados indican una tendencia ligera al decremento de la precipitación en gran parte de la Megalópolis de México, por otro lado, la temperatura máxima como la mínima muestran una tendencia al incremento, este comportamiento se sustenta en lo enmarcado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, que menciona el aumento del calentamiento global entre 1.5°C a 2°C durante el siglo XXI (IPCC, 2021).

Los escenarios de cambio climático indican que ambos modelos estiman una reducción de precipitación para todas las ZM de la Megalópolis de México. Sin embargo, el modelo MPI-ESM1 proyecta una reducción más drástica tanto en el escenario SSP2-4.5 como en el SSP5-8.5.

En cuanto a la disponibilidad de agua, se tiene registro de una extracción masiva de agua subterránea en las ZM de la Megalópolis. Además, cuentan con otras fuentes de agua para su abastecimiento. Se considera que las ZM de Tula y Pachuca son las regiones con menor disponibilidad de agua natural, al igual que la ZM del Valle de México, que es dependiente de cuencas externas, y la ZM de Pachuca, que desde 2010 registra un estrés hídrico. Los datos muestran una gran preocupación sobre la disponibilidad de agua per cápita, ya que un volumen tan bajo por habitante indica que la gestión y conservación del agua son críticos para asegurar el suministro adecuado.

Además, la ZM de Cuernavaca es una de las más afectadas en términos de precipitación, con una reducción estimada para el futuro lejano de hasta un 19.1% en el escenario SSP2-4.5 del modelo MPI-ESM1 y hasta un 36.9% en el escenario más crítico SSP5-8.5.

Además de la baja disponibilidad de agua y la reducción de la precipitación, la ZM de Cuernavaca también enfrentará un aumento significativo de la temperatura. Según el modelo MPI-ESM1, se espera un incremento de 3.1°C en el escenario SSP2-4.5 y de 5.3°C en el escenario más crítico SSP5-8.5 para el futuro lejano.

Se considera entonces que el balance hídrico puede presentar un déficit debido a la disminución de precipitación y al aumento de temperatura, lo que a su vez incrementa la evapotranspiración. Por lo tanto, además de la presión sobre los ecosistemas terrestres por la escasez de agua, el sistema antropogénico también se encontrará entre los componentes más vulnerables al déficit hídrico climático (Bandoc & Prăvălie, 2015).

Problemáticas y oportunidades

Tabla 13. Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Existe un estrés hídrico en la ZM de CDMX y en la ZM de Pachuca. En las demás ZM de la Megalópolis, se cuenta con poca información relacionada con la disponibilidad de agua.	Implementar sistemas de monitoreo continuo del agua en todas las Zonas Metropolitanas (ZM) para obtener datos precisos y actualizados sobre la disponibilidad de agua.
El aumento de la temperatura, debido al incremento de los gases de efecto invernadero de origen antropogénico repercutirán en el sistema climático.	Incentivar el uso de energías renovables, como la solar, para disminuir la dependencia de combustibles fósiles.
Los impactos del cambio climático se reflejan en la disminución y modificación de la distribución de la lluvia en todas las Zonas Metropolitanas de la Megalópolis	Invertir en infraestructura para la captación y almacenamiento de agua de lluvia y establecer políticas que regulen la extracción de agua subterránea para evitar la sobreexplotación de acuíferos.
Otro impacto del cambio climático es la tendencia al aumento de la temperatura en todas las ZM de la Megalópolis	Promover la participación de la comunidad para la creación de infraestructura verde, como parques y jardines urbanos, que ayuden a reducir la temperatura ambiente y pueda absorber el agua de lluvia y reducir la escorrentía.

Referencias bibliográficas

Abatzoglou, J. T., Dobrowski, S. Z., Parks, S. A., & Hegewisch, K. C. (2018). TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. Scientific data, 5(1), 1–12.

Alexander, L. V. (2016). Global observed long-term changes in temperature and precipitation extremes: A review of progress and limitations in IPCC assessments and beyond. Weather and Climate Extremes, 11, 4–16.

Antón, D., & Díaz Delgado, C. (2002). Sequía en un mundo de agua.

Bandoc, G., & P**răvălie**, R. (2015). Climatic water balance dynamics over the last five decades in Romania's most arid region, Dobrogea. Journal of Geographical Sciences, 25, 1307–1327.

Brun, S., & Band, L. (2000). Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed. Computers, environment and urban systems, 24(1), 5–22.

Desarrollo Territorial, Consejo Nacional de Población & Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2020). Delimitación de las Zonas Metropolitanas de México.

Cartwright, J., & Johnson, H. M. (2018). Springs as hydrologic refugia in a changing climate? A remo**te**□sensing approach. Ecosphere, 9(3), e02155.

Comisión Nacional del Agua. (2024). Estatus del Niño - Oscilación del Sur (ENOS). Recuperado de https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/diagnostico-climatico/estatus-del-nino1.

Chambel, A. (2015). The role of groundwater in the management of water resources in the World. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, 366, 107–108.

Esteller, M., Expósito, J., Díaz-Delgado, C., Paredes, J., & Fonseca, C. (2015). Explotación intensiva del acuífero del Valle de Toluca: Análisis de algunos efectos económicos-ambientales. Fall, C.(coordinador). Avances en Ciencias del Agua. México: Universidad Autónoma del Estado de México, 15–31.

Fonseca, A., & Santos, J. (2019). Predicting hydrologic flows under climate change: The Tâmega Basin as an analog for the Mediterranean region. Science of the total environment, 668, 1013–1024.

García Benítez, M. (2011). Crecimiento de la población urbana y su impacto socioambiental en la zona metropolitana de Pachuca.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. INEGI. https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896

Konapala, G., Mishra, A. K., Wada, Y., & Mann, M. E. (2020). Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. Nature communications, 11(1), 3044.

Le Blanc, D., & Perez, R. (2008). The relationship between rainfall and human density and its implications for future water stress in Sub-Saharan Africa. Ecological Economics, 66(2–3), 319–336.

Lin, Y., Liu, A., Ma, E., Li, X., & Shi, Q. (2013). Impacts of future urban expansion on regional climate in the Northeast Megalopolis, USA. Advances in Meteorology, 2013(1), 362925.

Liu, Z., Ying, J., He, C., Guan, D., Pan, X., Dai, Y., Gong, B., He, K., Lv, C., & Wang, X. (2024). Scarcity and quality risks for future global urban water supply. Landscape Ecology, 39(2), 10.

Luyando López, E., & Tejeda Martínez, A. (2010). Escenarios de bioclima humano en la megalópolis del centro de México ante cambio climático.
Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O., & Gay, C. (2000). Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. México.
Marino Estay, G. A. (2017). Impacto del proceso de escalamiento de forzantes meteorológicas de modelos de circulación general en la estimación de recurso hídricos en la cuenca de Andalién en la Región del Bío-Bío, Chile.
Martínez Austria, P. F., Díaz-Delgado, C., & Moeller-Chavez, G. (2019). Seguridad hídrica en México: Diagnóstico general y desafíos principales. Ingeniería del agua, 23(2), 107–121.
Monterroso-Rivas, A. I., & Gómez-Díaz, J. D. (2021). Impacto del cambio climático en la evapotranspiración potencial y periodo de crecimiento en México. Terra Latinoamericana, 39.
Orduz-Rodríguez, J. O., & Fischer, G. (2007). Balance hídrico e influencia del estrés hídrico en la inducción y desarrollo floral de la mandarina'Arrayana'en el piedemonte llanero de Colombia. Agronomía Colombiana, 25(2), 255–263.
P**răvălie, R., Piticar, A., Roșca, B., Sfîcă, L.,** Bandoc, G., Tiscovschi, A., & Patriche, C. (2019). Spatio-temporal changes of the climatic water balance in Romania as a response to precipitation and reference evapotranspiration trends during 1961–2013. Catena, 172, 295–312.
Puyol, A. F. B., & Naranjo, J. A. B. (2009). Problemática del recurso agua en grandes ciudades: Zona metropolitana del valle de México. Contactos. Revista de educación en ciencias e ingeniería. (México), 74, 10–18.
Rivera, E. R., & Amador, J. A. (2008). Predicción Estacional del Clima en Centroamérica mediante la reducción de escala dinámica. Parte I: Evaluación de los Modelos de Circulación General CCM3. 6 y ECHAM4. 5. Revista de matemática: teoría y aplicaciones, 15(2), 131–173.
Santillán Gutiérrez, E., Davila-Vazquez, G., Sánchez, J. de A., & Díaz Torres, J. de J. (2013). Estimación del balance hídrico mediante variables climáticas, en la cuenca del río Cazones, Veracruz, México. Revista Ambiente & Água, 8, 104–117.
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). Disponibilidad de Agua
Sheil, D. (2018). Forests, atmospheric water and an uncertain future: The new biology of the global water cycle. Forest Ecosystems, 5(1), 1–22.
Vilchis Mata, I., & Garrocho Rangel, C. F. (2018). Comportamiento termopluviométrico en la zona metropolitana de Toluca: El deterioro ambiental de las ciudades. Sociedad y ambiente, 18, 145–173.
Vilchis-Mata, I., Garrocho-Rangel, C. F., & Díaz-Delgado, C. (2018). Modelo dinámico adaptativo para la toma de decisiones sostenibles en el ciclo hidrosocial urbano en México 1. Revista de Geografía Norte Grande, 71, 59–90.
Wu, W.-Y., Lo, M.-H., Wada, Y., Famiglietti, J. S., Reager, J. T., Yeh, P. J.-F., Ducharne, A., & Yang, Z.-L. (2020). Divergent effects of climate change on future groundwater availability in key mid-latitude aquifers. Nature communications, 11(1), 3710.
Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. Geography and Sustainability, 2(2), 115–122.

35 Una mujer de la Megalópolis y el agua

Gie Bele Gilbert Sandoval[1]*

[1]Sociedad Civil (*autora de correspondencia: giebele@live.com).

Resumen

Este ensayo explora la relación cotidiana de una mujer habitante de la Megalópolis del Valle de México con el agua, un recurso esencial en riesgo. A través de un diario dividido en tres momentos distintos —julio, octubre y noviembre de 2024— la autora reflexiona sobre el uso, consumo y preservación del agua, describiendo los retos diarios y las acciones de conservación en su hogar ante un contexto de escasez. Asimismo, plantea preguntas sobre el futuro del recurso y destaca la necesidad de un cambio cultural en la manera de relacionarnos con el agua, sugiriendo que este recurso debería ser considerado con derechos propios, en armonía con la visión de San Francisco de Asís sobre la "hermana agua".

Introducción

San Francisco de Asís, en su "Cántico de las Criaturas", celebra al agua como "útil, humilde, preciosa y casta". Hoy en día, en la Megalópolis del Valle de México, esta percepción parece lejana, ya que colectiva y particularmente necesitamos replantearnos qué significación tiene el agua para nosotros y cuál es nuestra relación con ella, así como nuestras responsabilidades hacia ella. En este contexto, las mujeres desempeñan un papel crucial al gestionar el uso de este recurso en sus hogares. Este ensayo surge de una experiencia personal, contada en dos momentos (julio y octubre de 2024) a través de un ejercicio de journaling. La reflexión que aquí se desarrolla examina tanto los usos domésticos del agua como las responsabilidades individuales y colectivas hacia ella, proponiendo un cambio en la forma en que la sociedad valora y protege este recurso vital.

Julio 2024

El Santo de Asís se refiere a ella como útil, humilde, preciosa y casta. La hermana agua, como la llamó él, tiene una conexión especial con nosotras, las mujeres. Desde hace meses, en el conjunto habitacional donde vive mi familia, enfrentamos un problema de suministro de agua que ha transformado mi perspectiva sobre su valor. Soy mujer, tengo 40 años, soy madre y ama de casa. Vivo en un complejo de 360 departamentos distribuidos en nueve torres, en la Megalópolis del Valle de México.

En nuestra torre, se requieren diariamente 20,000 litros de agua transportados en pipas. ¡Veinte mil litros! Si divido esa cantidad entre los 36 departamentos que conforman cada torre, resulta que a cada unidad habitacional le corresponderían aproximadamente 555.5 litros por día. Este cálculo me lleva a una pregunta fundamental: ¿en qué utiliza mi familia esa cantidad de agua diariamente?

Al principio, empezamos recuperando el agua de la regadera para utilizarla en las descargas del baño. Luego, ante el desabasto, aprendimos a apartar el agua gris de la lavadora. Sin embargo, nuestra contabilidad doméstica no ha llegado mucho más lejos. Lo que sí he logrado es tomar plena conciencia de cómo el agua, ese recurso tan esencial, se ha convertido en una preocupación constante y, al mismo tiempo, en una presencia significativa en mi vida.

Con un cálculo aproximado y algo impreciso, descubrí que las cuatro personas de mi familia consumimos alrededor de 641.8 litros de agua al día. Esta cifra supera los 555.5 litros iniciales, pero, al excluir el agua de las descargas sanitarias y del consumo de agua potable embotellada, el cálculo se ajusta a 523.8 litros. Para llegar a este promedio, he utilizado información encontrada en internet sobre el consumo estimado en actividades cotidianas, como la duración promedio de una ducha, y también he medido algunos consumos específicos, como el agua empleada al cepillarnos los dientes.

Aunque este promedio no ha sido comprobado completamente en la práctica, me ha permitido construir una visión más clara de cómo gestionamos el agua en nuestro hogar. A continuación, presento una tabla hipotética que resume el consumo diario de agua de mi familia.

Tabla 1 Tabla hipotética del consumo de agua diario de mi familia.

Actividad	Consumo por evento único	Frecuencia	Consumo total aproximado	Anotaciones
Descargas sanitarias	6 litros por descarga única	13 veces entre cuatro personas	78 litros al día	Se utiliza el agua gris de la lavadora para estas descargas
Lavado de trastes	29.6 litros	3 veces al día	88.8 litros al día	
Baño diario	100 litros	1 vez por día	400 litros día	
Lavado de manos y dientes	250 mililitros	25 veces por día entre cuatro personas	5 litros día	
Lavado de ropa	50 litros	4 veces por semana	200 litros / 28 litros diarios	En un prorrateo se consumirían 28 litros diarios
Consumo de agua para preparación de alimentos	2 litros	1 vez por día	2 litros	
Consumo de agua para beber	5.7 litros al día entre 4 personas		40 litros a la semana / 5.7 litros al día	
Consumo total de agua al día de una familia de 4 personas: 641.8 litros.				

Cuando mis hijos utilizan el agua les repito constantemente que piensen que es un recurso que compartimos con todos los demás seres humanos de la tierra, por lo que es importante evitar su desperdicio. Sin embargo, en realidad, el agua es un elemento que compartimos con todos los seres vivos del planeta.

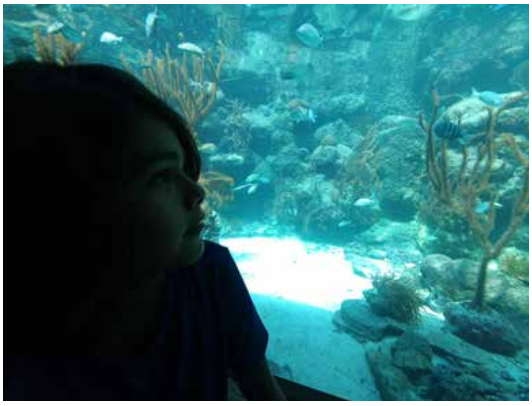


Figura 1 El agua es un recurso que compartimos con todos los seres vivos de la Tierra.

No quiero vivir la vida ignorando las consecuencias de cómo viví y cómo vivió mi familia. Porque pienso en la vida y en las familias del futuro.
Deseo con todo el corazón que las mujeres del presente y del futuro puedan sentir que con ayuda de la hermana agua pueden hacer crecer a sus hijos y verlos con salud.

Es una felicidad grande sentir cómo esa agua tan útil, humilde, preciosa y casta da bienestar a mi familia. Primeramente, nos reviste de una enorme dignidad. Cada día tenemos las ollas de los guisos y la loza limpias gracias a ella. La ropa de los niños, gracias también a ella, queda limpia del sudor de los juegos y de la tierra del patio. Ayuda en la preparación de alimentos. Calma la sed. Nos permite tener una vida saludable e higiénica.

Cómo no estar agradecida con el agua si le da tanto a mi familia cada día. También soy consciente del

agua que usamos indirectamente a través de nuestro consumo de alimentos. El agua ayuda a crecer los alimentos que comemos y se utiliza en la fabricación de la tela de nuestras vestimentas.

Con todo esto ha sido revelador mirar el agua gris de la lavadora desde que comenzamos a apartarla, porque el agua que llega prístina a mi casa yo la devuelvo turbia y oscura afuera de ella. No puedo seguir el cauce del agua que se va por las tuberías, no puedo ver más el agua de las descargas del sanitario, ni el agua de la regadera, ni del lavabo, ni del fregadero, ni del lavadero. Pero sé que el agua que yo devuelvo no es la misma.

¿A dónde va? ¿A dónde llega? Y, sobre todo, ¿qué provoca allí a donde llega?
Hace casi 20 años supe de la presa Endhó en el Estado de Hidalgo. Represa que recibe las aguas residuales de la Ciudad de México. Recuerdo de una nota periodística que hablaba de la pesadilla que resultaba para los lugareños vivir cerca de lo que *llaman la cloaca más grande del mundo.* También desde niña sabía de la contaminación en el río Lerma Santiago. Ahora adulta veo las noticias del mundo. Y miro de lejos la vida alrededor de los cuerpos de agua en ciudades de manufactura, particularmente la textil, como en China, Bangladesh o India. Las familias y las poblaciones a las orillas de los ríos en estos sitios quedan despojadas de las condiciones mínimas necesarias para llevar una vida digna.

Con tantas noticias de crisis hídrica en México y el Mundo me ha sorprendido también cuando he tenido la oportunidad de ver ciudades con ríos caudalosos y vivos. Alguna vez pude ver el Río Danubio, el Río Sena, el Río Támesis, el Río de la Plata, los Lagos de Washington, los canales de Países Bajos. Y al mirarlos me preguntaba, ¿cómo lo hacen aquí? En estos lugares parece haber agua en abundancia y el agua parece sana no como en Río Blanco Veracruz donde está llena de espuma, no como en el Lerma Santiago, no como la presa Endhó, no como en los litorales de México y sus ríos que si no están secos están con un daño que parece irreparable.

Hay tantos contrastes en torno al agua. Durante un año de mi vida practiqué natación en aguas abiertas en el estado de Quintana Roo. Lugar donde nadé tanto en el agua preciosa y cristalina de los cenotes como en el litoral de la Riviera Maya. Muchas veces el agua olía a cloaca. Otras tenían aceite y combustibles, cuando no cantidades enormes de sargazo y/o desperdicios humanos: remos, ganchos de pesca, latas, plásticos…

Igualmente, en este lugar conocí el poder del agua en la tormenta y amé sus cambios de color dependiendo de la profundidad del mar. Sobre todo, amé la vida que tiene lugar dentro del agua. Rayas, cardúmenes, medusas, corales, morenas, tortugas, manatíes, en fin, vida abundante, valiosa, con derechos y digna.

¡Agua preciosa, útil, humilde y casta! ¿De qué manera podremos aprender a vivir de manera inteligente de forma tal que te procuremos como uno de los bienes más preciados y amados de esta Tierra?

Nací en una zona urbana a finales del siglo XX. ¿Cómo la fuerza de una mujer puede para sí misma y su circunstancia virar hacia nuevos hábitos y formas de vida, cuando existe la contra fuerza de una cultura y un tiempo en el que nació? Un tiempo de plástico, consumo, enorme avaricia, productos desechables y una situación de emergencia ambiental.

Cuando niña oía campañas y eslóganes sobre el cuidado del agua. En los 90's se escuchaba: *"Cuídala, gota a gota se agota"*. Sin embargo, hasta el día de hoy no he percibido información clara acerca de las acciones que la sociedad civil puede hacer para, en efecto, cuidarla de verdad. He escuchado a la gente mayor preguntárselo también. Es sabido que hay que cuidarla, pero ¿a través de qué acciones concretas se logra su protección de manera efectiva, más allá que el tomar duchas de menos de 5 minutos?

Mis hijos han tenido la oportunidad de asistir a escuelas donde se compostan los excrementos, la orina y otros residuos orgánicos. La experiencia sin duda, a mí como adulta, me parece muy valiosa, pero no logro imaginar cómo hacer esos esfuerzos escalables y reproducirlos en nuestra cotidianidad. Así se siente vivir en un edificio de apartamentos o en un sistema urbano sin tierras que enriquecer y trabajar.

Pienso, que después de todo, lo que podría ayudarnos es hacer puentes cada más palpables y eficientes entre los lugares de investigación y desarrollo

de tecnologías ambientales y la sociedad civil. No sólo están los estudiantes, estamos en casas millares de madres y cuidadoras/es que podemos ser una fuerza para la transformación de hábitos y costumbres. También en nosotras/os está la capacidad de educar y formar a nuestras/os hijos/as, nietas/os, sobrinas/os en acciones para la sustentabilidad.

Los núcleos de las familias podemos ser lugar de revoluciones, cambios y transformaciones. Lo que necesitamos son vías multidireccionales de comunicación e información. Treinta y dos millones de personas habitamos esta megalópolis. Y no lo hacemos solos. Lo hacemos en núcleos, en familias. Y por familias me refiero no a únicamente las sanguíneas, sino a los grupos que viven bajo un mismo techo. Somos muchas generaciones y muchas familias en una gran diversidad de condiciones. Lo importante es mirar que tenemos circunstancias y problemas comunes y así como afrontamos problemáticas similares, también contamos con la capacidad de solucionarlas de forma conjunta.

Que el agua sea una causa común para cada persona en este territorio, para cada casa, para cada espacio que albergue seres humanos.

Que sepamos que no sólo el ser humano tiene derecho al agua, necesitamos verla a ella también como un sujeto con derechos. Los derechos de la hermana agua. Imaginar tan sólo la sensibilidad del Santo de Asís. Hagamos primero del agua una hermana nuestra. Amada porque es la alegría de los niños que se bañan y juegan en ella. Amada por las madres porque ayuda en todas las faenas de casa, porque hace crecer los alimentos y porque es vida para nuestras familias. Amada porque es una promesa de futuro. Amada porque nos reviste de dignidad.



Figura 2 El agua sostiene nuestras vidas y su protección incide en la vida de las generaciones por venir.

Entre julio y octubre de 2024, el contexto hídrico de la ciudad cambió. A mediados del año, la escasez marcó las rutinas de muchas familias, obligándolas a pensar en métodos de reutilización y conservación del agua. Sin embargo, para octubre, las lluvias y los eventos climáticos recientes (como los sistemas Milton y John) reabastecieron los niveles de almacenamiento en el sistema Cutzamala. La sensación de escasez temporalmente disminuyó, y con ella la urgencia de las prácticas de conservación. Esta sección de octubre explora cómo las rutinas y la percepción de la necesidad del agua se modifican cuando la escasez se atenúa.

Octubre 2024

Han sucedido Milton y John. El sistema Cutzamala está a más del 60% de su capacidad. Los cerros, camellones y áreas verdes de la Megalópolis están tapizados de verde y llenos de abundantes mariposas y flores. Hace tres meses que no se han requerido más pipas en el conjunto de edificios donde vivo. Dejé de colectar el agua gris de la lavadora. En el apartamento, ésta comenzaba a oler mal rápidamente en el bote que le había designado. Y todo continúa más o menos igual. Ahora que hay agua sin restricciones, pienso un poco menos en ella porque no hay escasez. Continúo fregando platos, metiendo cargas de ropa, usando el agua para cocinar y para todos los demás menesteres para los que es necesaria. Asisto a centros comerciales y reflexiono sobre el agua utilizada en la industria y el comercio. Y pienso: al agua la utilizamos como instrumento. Ayuda a producir. Ayuda a que haya generación económica. Y es en esta instrumentalidad que se vuelve invisible. En mi afán cotidiano también se vuelve como “algo” garantizado. En una inercia vital, todo lo que hago que la involucra se trata de un quehacer donde el agua es una cosa certera y la dejo de percibir como maravillosa. Lavo mis manos, lavo los vegetales, lavo mi rostro, lavo calcetas, enjuago mi boca, lavo la licuadora, jalo la palanca del inodoro. Y todas esas acciones rutinarias y mecánicas involucran agua que utilizo y desecho como si se tratase de cualquier cosa. El agua nos permite una vida muy cómoda. Y en el sopor de esa comodidad pudiera ser que mi actuar, nuestro actuar, conlleve a un punto sin retorno en el futuro al que caminamos con ceguera, sin conciencia.

¿Qué escenarios futuros deben imaginarse para que nos interesemos por el agua hoy? ¿Qué rea-

lidades debemos desvelar para que nos importe lo que hacemos con el agua? Me puedo sentir con mucho derecho a ella, pero ¿por qué?

Existe una declaración universal de los derechos de los animales. En su artículo segundo se manifiesta:

- Todo animal tiene derecho al respeto.
- El hombre, como especie animal, no puede atribuirse el derecho de exterminar a los otros animales o de explotarlos, violando ese derecho. Tiene la obligación de poner sus conocimientos al servicio de los animales.
- Todos los animales tienen derecho a la atención, a los cuidados y a la protección del hombre.

Por qué no, de la misma manera, que al agua también le corresponda tener como primer derecho el ser respetada y protegida por los seres humanos. El ser humano, así mismo, no tendría derecho a explotarla ni a degradarla. Y nuestra obligación sería poner nuestros conocimientos al servicio del agua. Ya hay antecedentes de ríos como sujetos de derecho como los ríos Atrato y Quindío en Colombia. ¿Qué hace falta para hacer de todo cuerpo de agua un sujeto de derecho? Como mujer en este contexto urbano y en esta temporalidad elijo por mí misma reconocer los derechos del agua. El agua tiene derecho a mi protección y cuidado. Tengo la decisión de informarme sobre las acciones que coadyuven a su conservación. Tengo la decisión de mirarla como extraordinaria cada día y a ayudar en su revalorización.

Tengo la responsabilidad, asimismo, de prestarle mi voz y las palabras que sean necesarias para que no sea ignorada ya más.



Figura 3 Mastuerzos de la temporada de lluvia en la Megalópolis.

Noviembre 2024

¿Por qué participar con un texto en un libro sobre el agua en la Megalópolis de México? ¿Y por qué hacerlo a través de un ensayo? Este escrito nace de un flujo de conciencia y refleja mi perspectiva personal sobre la relación que tengo, como individuo, con el agua. Mi propuesta es que este enfoque pueda servir como punto de partida para abordar la problemática del agua en la Megalópolis: que cada persona haga consciente su relación cotidiana con este elemento vital, identificando los significados que el agua tiene para sí misma.
El objetivo es propiciar un diálogo comunitario, donde podamos compartir puntos de coincidencia o divergencia y, desde allí, construir acciones que impulsen su protección mediante la implicación de todas y todos. Mi invitación es narrar nuestra experiencia personal, ese vínculo único que cada quien forja con el agua. El propósito final: visibilizarla más allá de su utilidad práctica, abordándola desde el conocimiento íntimo y en primera persona.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 2 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este ensayo.

Problemáticas	Oportunidades
La cuestión del agua es un tema visible aparentemente sólo cuando escasea.	Hacer campañas permanentes de comunicación que fomenten la reflexión, el análisis y el diálogo acerca del uso del agua y nuestra relación con ella.
La sociedad civil no tiene voz sobre la cuestión del agua más allá de los escenarios de afectaciones por inundación o escasez.	Se necesitan espacios de comunicación para tener diálogos frecuentes entre instituciones y población en torno a la cuestión del agua.
La sociedad civil desconoce de qué manera puede proteger efectivamente el agua.	Más allá de las calculadoras del agua, debemos conocer cómo contribuir a la valorización y aprovechamiento justo del agua. Se requieren foros de intercambio de ideas sobre su cuidado.

Referencias bibliográficas

Revista El Mueble (El Mueble, 2019). Lavar los platos a mano o con lavavajillas, ¿qué es mejor? https://www.elmueble.com/ideas/funciona/lavar-platos-a-mano-o-lavavajillas-que-es-mejor_42135

AQUAE Fundación (La Fundación del Agua, 2024). Cuidar el gasto de agua frente al impacto ambiental https://www.fundacionaquae.org/cuanta-agua-consume-la-ducha-minuto/

Samsung (Samsung, 2024) Ensuring optimal water usage in your Samsung washer https://www.samsung.com/ca/support/home-appliances/optimal-water-usage-in-your-samsung-washer

Revista Hechos y Derechos (Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM 2022) Los ríos como sujetos de derechos en México. https://revistas.juridicas.unam.mx/index.php/hechos-y-derechos/article/view/17393/17788

Redacción. (2024, octubre 9). El 'milagro' del Cutzamala: ¿Cuántos millones de litros recuperó y en qué porcentaje están sus presas? El Financiero. https://www.elfinanciero.com.mx/cdmx/2024/10/09/el-milagro-del-cutzamala-cuantos-millones-de-litros-recupero-y-en-que-porcentaje-estan-sus-presas/

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2019, octubre 15). Proclamación de la Declaración Universal de los Derechos de los Animales. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conanp/articulos/proclamacion-de-la-declaracion-universal-de-los-derechos-de-los-animales-223028

36 Al rescate del Río Salado: historia de resiliencia para la rehabilitación de un humedal de tratamiento en Tlapanaloya, Tequixquiac

Selene Escorza Estrada [1] , Cynthia Nicolás Sánchez [1*] , Emanuel Ramírez Reyes [1] y Eliseo Cantellano de Rosas [2]

[1]Colectivo Al Rescate del Río (*autor de correspondencia: cynthianicolasbio@gmail.com);
[2]Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM

Resumen

La trayectoria socioambiental en la zona norte de la Cuenca del Valle de México abarca grandes obras de infraestructura, realizadas desde inicios del siglo pasado, para el desalojo de aguas residuales y pluviales. Esto ha afectado particularmente a los municipios del Estado de México destacando la contaminación y transformación la microcuenca del río Salado en el municipio de Tequixquiac. En la microcuenca existen algunos sitios con fuentes naturales de agua, sin embargo, su cauce presenta diversos niveles de contaminación debido a las descargas de agua residual (agropecuaria, municipal y familiar). Ante ello, se ha desarrollado una experiencia comunitaria alrededor de la organización del colectivo "Al Rescate del Río" que fomenta el conocimiento y valoración de sus aspectos históricos y socioambientales; así como la participación comunitaria en la rehabilitación hidroecológica de un humedal de tratamiento de las descargas del poblado Hueypoxtla. Este proyecto no solo busca la restauración de un ecosistema, sino también la consolidación social y la continuidad práctica, buscando ser un ejemplo de resiliencia socioecológica que contribuya a proyectos de saneamiento sostenible de ríos contaminados.

Antecedente regional

Después de varias inundaciones graves en la Ciudad de México y desde principios del siglo pasado, la zona norte de la Cuenca del Valle de México ha sido escenario de obras de desalojo de aguas pluviales y residuales, además de la transformación del paisaje hacia la industrialización y la agricultura de riego. Se construyeron el Tajo de Nochistongo, el Gran Canal del Desagüe, los túneles de Tequixquiac y varios túneles Emisor (Oriente, Central y Poniente). Con estas obras se modificó el parteaguas norte uniendo la Cuenca del Valle de México con el Valle del Mezquital, precisamente en la zona del Río Salado, enlazando antropológicamente el Valle de Tequixquiac con el Lago Xaltocan, propiciando el uso de aguas residuales con fines agropecuarios. Esto posibilitó el establecimiento de 11 unidades de riego y la obtención de altos rendimientos agrícolas, primero de hortalizas y actualmente de alfalfa (Hernández-Espinosa et al., 20204). Sin embargo, esta actividad ha venido provocando la degradación ambiental, acumulación de sales, metales y erosión de los suelos (Tellez, 2016; Morehart, 2018), además de riegos en la salud pública, contaminación de mantos freáticos y pérdida de la biodiversidad.

Contaminación del río, alternativa ecotecnológica y organización comunitaria

En la microcuenca del río Salado se presentan diversos niveles de contaminación, si bien existen sitios de filtración natural cuya agua posee buena transparencia y sin contaminación bacteriana, presentan valores elevados de Demanda Química de Oxígeno (DQO). Por otro lado, a lo largo del cauce son frecuentes los sitios con bajos niveles de oxígeno disuelto (de entre 3 y 5 mg/L) y valores de DQO cercanos a los 800 mg/L, con presencia de millones de unidades formadoras de colonias de bacterias coliformes fecales por 100 mL.

Ante dicha degradación del río y particularmente por las descargas provenientes de la cabecera del municipio aledaño de Hueypoxtla, hace más de 30 años el municipio de Tequixquiac construyó un humedal artificial en el poblado de Tlapanaloya, para el tratamiento de las aguas residuales. Como es sabido (Kamilya et al. 2022), este tipo de sistemas de tratamiento tienen diversas ventajas pues representan una opción descentralizada, relativamente menos compleja que los sistemas convencionales y más económicos, particularmente en su operación. Sin embargo, debido a problemas técnicos, presupuestales e institucionales dicha instalación fue abandonada. El humedal artificial consta de seis celdas con una superficie total aproximada de 1, 200 m2 además de dos tanques de sedimentación

de 125 m3 y un desarenador en forma de serpentín (Figura 1). Al momento de iniciar el involucramiento del Colectivo, la primera parte del tratamiento estaba totalmente tapada con diversos materiales como lodo y basura. Mientras que era evidente la inoperancia del sustrato que se había colocado, por lo que evidentemente no había flujo y nula presencia de vegetación.



Figura 1. Humedal de tratamiento Tlapanaloya. Municipio Tequixquiac. Fuente Google Earth (septiembre 2024).

Ante tal situación de abandono, a partir del año 2018, un grupo de vecinos de la región se integraron en un Colectivo denominado “Al Rescate del Río” cuyo objetivo era principalmente la visibilización del problema de contaminación del agua en la región, la búsqueda y la divulgación de alternativas basadas en la naturaleza para el saneamiento. El Colectivo es un ejemplo del impacto positivo que se genera cuando se trabaja involucrando a la comunidad, visibilizando temas tan importantes como lo son el derecho humano al agua y al saneamiento, el cuidado del medio ambiente. Se ha fortalecido la participación ciudadana logrando incidir en la educación ambiental de la región a través de diversas actividades prácticas, utilizando un lenguaje y comunicación visual entretenido y acorde con el contexto actual. Se organizatron faenas de limpieza y otras actividades comunitarias, tanto para conocer la condición del río como promover el conocimiento y la valoración de los aspectos biofísicos, históricos y socioambientales inherentes a la región (Figura 2).

A finales del 2021 el Colectivo. en conjunto con autoridades del Ejido de Tlapanaloya, realizaron un acercamiento con la Sociedad Cooperativa “La Coralilla” localizada en Ixmiquilpan, Estado de Hidalgo, quienes han desarrollado un proyecto exitoso de tratamiento y reutilización productiva de aguas residuales (Belmont et al. 2018). Consiste en un humedal con 30 años de operación y que fue la base para el diseño del humedal de Tlapanaloya, lo que permitió el entendimiento del sistema y comenzar el desarrollo técnico para su rehabilitación.

Después de varios meses de búsqueda de atención en los diferentes niveles de gobierno, se logró el apoyo del Ayuntamiento y diversos actores sociales, económicos y académicos. De esta manera se estableció una sinergia en el Colectivo, con instituciones educativas como el CBT “Dr Alfonso Leon de Garay” y la Carrera de Biología de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM. A partir de ello, el Colectivo ha desarrollado una experiencia de trabajo comunitario para rediseñar el sistema de tratamiento, preparar el terreno y adecuar la obra civil, acompañando con jornadas para la concientización e involucramiento de la comunidad tanto proveniente del municipio de Tequixquiac como de los aledaños. Destaca el trabajo en faenas y aportaciones de la sociedad civil para contar, experimentar y establecer el componente vegetal, pues debido a las condiciones climáticas se presentaron dificultades para lograr la sobrevivencia de las plantas, tanto al inicio del flujo de agua residual como en la temporada climáticamente más adversa (Figura 2). Destaca el apoyo de la organización “Acento, Acción Local”, un fondo que busca fortalecer el trabajo de grupos, organizaciones y redes que trabajan localmente, a fin de respaldar la acción ciudadana en favor de la justicia social y los derechos humanos en México, quienes han realizado aportaciones económicas durante tres años.



Figura 2. Faenas de saneamiento y rehabilitación de humedal de tratamiento.

Actualmente se ha logrado el restablecimiento del flujo de agua en 3 L/s promedio, con pleno funcionamiento de la etapa del pre-tratamiento y sedimentadores, además del poblamiento del 80% de la cubierta de las celdas de humedales con presencia de especies como platanillo (Canna indica), alcatraz (Zantedeschia aethiopica), carrizo (Phragmites australis), tule (Typha latifolia) y papiro (Cyperus papyrus) (Figura 3)



Figura 3. Especies contenidas en la primera celda del humedal de Tlapanaloya.

Debido a que el Colectivo se ha encargado de todo el proceso, tanto de evaluación, como de rediseño, trabajos de rehabilitación y operación de mantenimiento del humedal, se ha generado una experiencia colectiva de resiliencia y aprendizaje. Esto ha implicado la integración y consolidación del Colectivo, tanto en su reconocimiento social en las poblaciones aledañas como de la organización comunitaria, destacando diversas actividades como la organización de recorridos de interpretación ambiental y un “Trail del Humedal” (Figura 4).

Áreas de oportunidad

Si bien el Colectivo ha mostrado su capacidad de resiliencia en una perspectiva histórica que reconoce el contexto socioambiental de la región, rescatando el trabajo comunitario y demostrando la viabilidad sociotecnológica de los humedales artificiales como opción viable para estos casos, todavía se tienen retos para lograr un mayor impacto positivo a lo largo de todo el cauce del río Salado y de esta manera poder avanzar hacia su plena restauración socioecosistémica. A continuación se señalan los principales retos y oportunidades.

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para el saneamiento del río Salado en Tequixquiac, Estado de México.

Problemáticas	Oportunidades
Nivel organizativo del Colectivo incipiente, tanto en procedimientos administrativos como involucramiento de los miembros permanentes.	Al escalar hacia la figura de Asociación Civil se tendrán mejores oportunidades de crecimiento e impacto cualitativo y cuantitativo.
Mínimo involucramiento de las comunidades aledañas al río, particularmente las que descargan directamente aguas residuales.	El logro de mayor número de sistemas de tratamiento (familiar y comunitario) permitirá un mayor impacto positivo al saneamiento del cauce.
Normalización de la relación de los habitantes con las aguas residuales debido al uso para riego.	Una estrategia donde, se trabaja con las infancias y los adultos mayores en donde se busca visibilizar los impactos negativos que han dejado las aguas residuales en la región.
Conocimiento e inversión limitados por parte de las autoridades municipales para responder a las necesidades que el humedal presenta y desarrollar nuevos sistemas.	Se trabaja de la mano con las áreas encargadas para que se sensibilicen en los impactos positivos que tienen los humedales en la región.
La resonancia social se ha quedado solo en lo local, por lo que muchos habitantes de comunidades aledañas no conocen los beneficios potenciales.	Se trabaja en actividades deportivas como (carreras a campo traviesa, rodadas y caminatas recreativas) y culturales para que la resonancia crezca a medida que más personas conozcan el sitio.



Figura 4. Segundo Trail del Humedal 29 de septiembre 2024.

Referencias bibliográficas

Kamilya, T., Majumder, A., Yadav, M. K., Ayoob, S., Tripathy, S., & Gupta, A. K. (2022). Nutrient pollution and its remediation using constructed wetlands: Insights into removal and recovery mechanisms, modifications and sustainable aspects. Journal of Environmental Chemical Engineering, 10(3): 107444.

Hernández-Espinosa, A. K., Otazo-Sánchez, E. M., Román-Gutiérrez, A. D., & Romo-Gómez, C. (2024). Estimación de los volúmenes históricos de las aguas residuales exportados por la megaciudad de México al Valle del Mezquital de 1985 a 2020. Tecnología y ciencias del agua, 15(5):452-502.

Belmont, M. A., Cantellano, E., & Ramirez-Mendoza, N. (2018). Ornamental flowers and fish in indigenous communities in Mexico: an incentive model for pollution abatement using constructed wetlands. En Nagabhatla, N. y Metcalfe, C.D. (Eds.). Multifunctional Wetlands: Pollution Abatement and Other Ecological Services from Natural and Constructed Wetlands, 241-252. Springer.

Morehart, C. T. (2018). Inherited legacies of ecological imperialism in central Mexico. Journal of Anthropological Archaeology 52:103-112.

Tellez, G. M. (2016). Abastecimiento de aguas residuales para riego de cultivo en la comunidad de San Gregorio, Tequixquiac, Estado de México. Tesis de licenciatura en Ingeniería Mecánica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, IPN. 121 pp.

37 Hacia la gestión integral del agua en la Megalópolis de México. Estrategias de sostenibilidad en la gestión integral del agua

Jaen G. Peralta[1], Emilio Torres Pérez[2]

[1]Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Contaduría y Administración, Unidad de Posgrado, jaengperalta@gmail.com); [2]Centro Agroecológi-co y Permacultura Mehidó, mehydo@hotmail.com
[1]Docente de la Facultad de Arquitectura y Diseño, Universidad Autónoma del Estado de México (magonzaleza@uaemex.mx);[2]Profesor-Investigador de tiempo completo de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Introducción

El presente texto hace énfasis en la gestión integral del agua en la megalópolis de la Ciudad de Méxi-co, quién enfrenta enormes desafíos, pero al mis-mo tiempo ofrece oportunidades para implementar estrategias sostenibles que aseguren la disponi-bilidad en calidad y cantidad del recurso hídrico. Como señalan Hernández y Martínez (2021), la im-plementación de tecnologías alternativas y ecotec-nias de eficiencia hídrica en la infraestructura rural y urbana, así como la promoción de prácticas de conservación entre la población, entre otras, son esenciales para fomentar una cultura del agua que priorice su uso responsable. Asimismo, es funda-mental fortalecer la colaboración entre los diferen-tes niveles de gobierno, la comunidad, sociedad civil y el sector privado para desarrollar políticas in-tegrales que aborden la gestión del agua de manera holística. Estas estrategias no solo contribuirán a la sostenibilidad del recurso hídrico, sino que también mejorarán la resiliencia de la gran ciudad y sus al-rededores frente a los efectos de la crisis climática y garantizarán el acceso equitativo al agua para to-dos sus habitantes.

La Megalópolis de México, que comprende la Ciu-dad de México y municipios conurbados, enfrenta una de las crisis hídricas más graves de América Latina. Con una población superior a los 22 millo-nes de habitantes, la demanda de agua sobrepasa la oferta natural, exacerbada por la sobreexplota-ción de acuíferos, el crecimiento urbano descontro-lado y los efectos del cambio climático. La gestión integral del agua se vuelve, entonces, un reto cru-cial para asegurar el abastecimiento, preservar los ecosistemas acuáticos y garantizar la salud pública.



Imagen 1. Problemática de contaminación por basura en los cuerpos de agua del Valle de Toluca.

Así también, se debe resaltar que las reservas de agua representan una garantía de conservación, no solo para sistemas acuáticos, sino también para los terrestres y la biodiversidad en su conjunto, coad-yuvando a la adaptación al cambio climático (CO-NAGUA,2024).

Problemáticas y oportunidades

La Megalópolis de México enfrenta graves desafíos en la gestión del agua, entre los cuales destacan la sobreexplotación de acuíferos, la contaminación y la desigualdad en el acceso al recurso. Sin embar-go, existen múltiples oportunidades para mejorar la gestión del agua a través de la modernización de infraestructuras, la adopción de tecnologías de tra-tamiento y reciclaje, y la participación activa de la sociedad civil.

Para alcanzar una solución sostenible y equitativa, es fundamental que se implementen políticas integrales que consideren tanto las necesidades humanas como la preservación de los ecosistemas acuáticos.

En escencia, se deben proponer estrategias de sostenibilidad que aborden las problemáticas clave del sistema hídrico, como la sobreexplotación, el acceso desigual, la contaminación y las pérdidas por fugas y que a continuación se describen como prioritarias.

1. Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia
La Ciudad de México cuenta con un régimen de lluvias que podría aprovecharse mejor para aliviar la presión sobre los acuíferos. Sistemas de captación de agua de lluvia a nivel doméstico, institucional y urbano, implementados a gran escala, ayudarían a reducir la dependencia de fuentes subterráneas.

- **Implementación de sistemas de captación en viviendas y edificios públicos:** Estos sistemas pueden almacenar agua para uso no potable (limpieza, riego, descarga de sanitarios). La adopción de políticas que incentiven la instalación de estos sistemas, especialmente en áreas donde el suministro de agua es más irregular, es clave (IMTA, 2019).



Imagen 2. Captación de agua de lluvia mediante un sistema de almacenamiento. UDG 2024.

2. Recarga Artificial de Acuíferos
Debido a la sobreexplotación de los acuíferos, la recarga artificial puede ser una solución clave para restaurar los niveles de agua subterránea. Esta técnica consiste en infiltrar agua tratada o agua de lluvia filtrada en los acuíferos mediante pozos de inyección o a través de estructuras de recarga en áreas naturales.

- **Restauración de los acuíferos sobreexplotados:** La implementación de proyectos de recarga artificial en las zonas de mayor extracción de agua subterránea, como el Valle de México, puede contrarrestar los efectos negativos, como los hundimientos y la pérdida de calidad del suelo (Foster, 2006).



Imagen 3. Limpieza, mantenimiento y monitoreo de las Ciénegas del Lerma. Emilio Torres, Jaen G. Peralta.

3. Uso de Tecnologías de Tratamiento y Reutilización de Aguas Residuales

El tratamiento y reutilización de aguas residuales es una estrategia crítica para reducir la demanda sobre las fuentes de agua dulce (Hernández, et.al. 2023). Esta agua tratada puede utilizarse en la industria, el riego de parques y jardines o incluso en procesos de potabilización bajo estrictos controles de calidad.

- **Implementación de plantas de tratamiento a nivel municipal:** Estas plantas permitirán reutilizar aguas residuales para fines no potables, lo que aceleraría la presión sobre las fuentes de agua potable (Jiménez, 2008).



Imagen 4. Mantenimiento del sistema Cutzamala. Emilio Torres, Jaen G. Peralta.

4. Reducción de Pérdidas en la Red de Distribución

Las fugas de agua son un problema estructural importante en la Megalópolis. Modernizar y mantener la infraestructura de distribución, combinada con el uso de tecnologías de detección de fugas, es una estrategia necesaria para evitar la pérdida de grandes volúmenes de agua.

- **Inversión en tecnologías inteligentes para detectar fugas:** La instalación de sensores y tecnologías de telemetría puede identificar rápidamente fugas en la red y facilitar reparaciones rápidas, lo que reduciría las pérdidas (CONAGUA, 2021).



Imagen 5. Bosque de agua como captador de agua natural ecosistémica, Emilio Torres.

5. Educación y Conciencia Pública

La participación comunitaria y la concientización sobre el uso eficiente del agua son estrategias clave para promover una cultura de conservación. Campañas de educación ambiental enfocadas en el uso responsable del agua pueden generar cambios de hábitos a largo plazo en la población.

- **Programas de educación y campañas de sensibilización:** Los programas comunitarios de sensibilización sobre la importancia del ahorro de agua y el manejo responsable de este recurso pueden contribuir a una disminución en el consumo per cápita (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, 2018).



Imagen 6. Campaña de limpieza y conservación de los cuerpos de agua en el EDOMEX que abastecen agua a la CDMX. Jaen G. Peralta, Emilio Torres.

En el foro internacional del agua 2022, del Tec de Monterrey, se desarrollaron 11 puntos para fomentar desde la participación ciudadana, en los cuales los mas destacados para el cuidado del agua ante la escasez del vital líquido fueron:

- Informar a las personas de su consumo despertando conciencia sobre la cantidad de agua que gastan las personas, incentivando a ahorrar en mayor medida la cantidad de gasto del líquido.
- Gestionar la presión de gua en las ciudades mediante la disminución de distribución nocturna de agua para evitar el desperdicio y controlar las fugas no visibles.
- Investigar los riesgos hídricos de la ciudad mediante el análisis de datos obtenidos por instituciones públicas en temas hídricos para priorizar el abastecimiento y control de agua en sectores estratégicos sociales.
- Reducir el desperdicio de agua mediante medidas estratégicas de reparación de fugas de agua y de tomas clandestinas sin estar reguladas y notificadas ante autoridades públicas.
- Tener diferentes fuentes de agua. Aunque en la actualidad, el abastecimiento de agua de la ciudad de México proviene de diferentes fuentes como pozos, presas y otros cuerpos proveedores de agua, es importante mantener el mínimo de explotación de estos para garantizar el acceso .
- Utilizar las crisis para crear resiliencia mediante el efecto shock de crisis hídrica para crear

conciencia sobre los procesos de almacenaje, distribución y recolección.

6. Protección y Restauración de Ecosistemas Acuáticos

La preservación de los cuerpos de agua naturales, como lagos, ríos y humedales, es crucial para la sostenibilidad hídrica. Estos ecosistemas juegan un papel fundamental en la regulación del ciclo hidrológico y la recarga de acuíferos.

- **Conservación de humedales y áreas de recarga:** Implementar programas de restauración ecológica y protección de zonas de recarga natural, como el Lago de Texcoco y Xochimilco, puede mejorar la capacidad de almacenamiento natural de agua (Secretariat, 2016).



Imagen 7. Almoloya del Río, nacimiento del río Lerma. Jaen G. Peralta.

7. Uso de Incentivos Económicos y Políticas Públicas

Implementar políticas que promuevan el uso eficiente del agua mediante incentivos económicos, como subsidios para tecnologías ahorradoras de agua, tarifas diferenciadas y la regulación de concesiones, puede fomentar el uso responsable del recurso.

- **Política de tarifas progresivas:** Establecer tarifas de agua diferenciadas según el nivel de consumo, penalizando el uso excesivo y promoviendo el ahorro. Los subsidios para la adopción de tecnologías eficientes (captadores de agua de lluvia, inodoros de bajo consumo y baños secos), también deben incentivarse (OECD, 2012).



Imagen 8. Implementación de políticas de protección al agua e incentivos colectivos para el ahorro del líquido. Jaen G. Peralta, Emilio Torres.

8. Alianzas Público-Privadas

El sector privado puede jugar un papel importante en la innovación y en el financiamiento de proyectos de gestión del agua. Las alianzas público-privadas (APP) pueden facilitar la modernización de infraestructuras, el desarrollo de nuevas tecnologías y la gestión eficiente de los recursos.

- **Fomento a las APP para proyectos de infraestructura hídrica:** Atraer inversión privada para la construcción y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales y sistemas de distribución más eficientes (Bank, 2015).



Imagen 9. Empresa privada de siembra de maíz, Emilio Torres, et. al.

La gestión integral del agua en la Megalópolis de la Ciudad de México requiere de una visión sostenible que aborde los problemas de sobreexplotación, contaminación y acceso desigual. Según Rodríguez y Delgado (2020), estas problemáticas no solo afectan a la calidad de vida de la población, sino que también incrementan las tensiones sociales y económicas en la región, evidenciando la necesidad urgente de un enfoque de manejo integral y sustentable del recurso.

Implementar estrategias que contribuyan a la resiliencia de escasez hídrico como la captación de

agua de lluvia, recarga de acuíferos, tratamiento de aguas residuales, modernización de infraestructuras, y la participación comunitaria pueden sentar las bases para un manejo más responsable y eficiente de este recurso vital. Dichas acciones deben ser respaldadas por políticas públicas sólidas e inversiones conjuntas entre los sectores público y privado.

Entre las medidas más efectivas y urgentes se encuentra la captación de agua de lluvia, que permite aprovechar un recurso natural abundante durante la temporada de lluvias, que a veces se extiende por más de cinco meses en la región centro del país, reduciendo la dependencia de fuentes subterráneas y superficiales; que muchas veces resultan costosas desde el punto de vista económico y social. Además, el reciclaje y la reutilización de aguas residuales tratadas representan una solución innovadora para mitigar la escasez, al proporcionar una fuente alternativa para usos no potables, como el riego de áreas verdes y la industria.

Actualmente se realizan diversas acciones para la gestión del agua, como el restablecimiento de un caudal ecológico en el río Grande, la restricción de tomas de agua, construcción de pozos para riego agrícola y la creación de una zona reglamentada de uso de agua subterránea (CONAGUA 2024).

En la presente administración se han planteado medidas para sanear ríos donde se descarga el agua de diferentes sectores como el doméstico, industrial y de depósito por lo que se construirán subcolectores y colectores de aguas negras en 10 localidades de la zona, así como humedales marginales y 22 presas de gaviones, con el fin de evitar la descarga de aguas negras en los cuerpos de agua y controlar el azolve, con lo cual se mejora su calidad y conserva el atractivo natural de la región, caracterizado por su potencial turístico (CONAGUA, 2024).

En conclusión, las acciones para fortalecer la resiliencia al uso del agua, su protección y mantenimiento en la Ciudad de México, requiere de medidas estratégicas que involucren a los sectores social, económico y político, siendo el medio ambiente el actor principal para atender prioritariamente por ser el entorno crucial en donde se desarrolla la vida y los ciclos naturales se lleven a cabo. Si bien las medidas que hoy en día se están llevando a cabo amortizan la escasez de agua y extienden las posibilidades de acceso a la misma, deben establecerse también medidas no sólo preventivas, sino permanentes de restauración de ecosistemas que proveen la estabilidad que necesita el ambiente para atraer la lluvia de forma natural.

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Sobreexplotación de los acuíferos en más del 40% del agua que se extrae proviene de fuentes subterráneas.	Existen experiencias exitosas a nivel internacional que pueden ser replicadas en la Megalópolis, utilizando el agua de lluvia o agua residual tratada para recuperar los niveles de los acuíferos.
Ineficiencia en la distribución y fuga de agua en donde aproximadamente el 35-40% del agua potable distribuida en la Megalópolis se pierde debido a fugas en las redes de distribución	Una de las principales oportunidades para mejorar la gestión del agua es invertir en la modernización de la infraestructura de distribución.
El agua superficial y subterránea de la región enfrenta altos niveles de contaminación, tanto por descargas industriales como por aguas residuales no tratadas	El reciclaje de aguas residuales tratadas para su reutilización en riego, industria o incluso consumo humano puede aliviar la presión sobre las fuentes de agua fresca.
La distribución del agua no es equitativa en la Megalópolis. Mientras que algunas zonas tienen un suministro constante, otras áreas, especialmente en la periferia, carecen de acceso regular y dependen de pipas, lo que encarece el servicio.	La conservación de los cuerpos de agua naturales, como lagos, ríos y manantiales, es fundamental para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. Asi mismo, darle un enfoque de gobernanza participativa, donde las comunidades tengan un rol activo en la gestión del agua, puede mejorar su manejo.

Referencias bibliográficas

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2021). Informe de diagnóstico de las redes de agua en la Zona Metropolitana del Valle de México

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). Informe Anual del Estado de los Recursos Hídricos en México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2024). Acciones para proteger el agua. Programa de Saneamiento de agua. 29 abril de 2024.

Foster, S., & Loucks, D. P. (2006). Non-renewable groundwater resources: A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers. UNESCO.

Hernández, E., & Martínez, J. (2021). La Gestión Integral del Agua en la Ciudad de México: Retos y Oportunidades. Revista Mexicana de Estudios Urbanos.

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). (2019). La captación de agua de lluvia en México: Tecnologías y experiencias para su implementación.

Jiménez, B., & Asano, T. (2008). Water Reuse: An International Survey of Current Practice, Issues and Needs. IWA Publishing.

OECD. (2012). Water Governance in Latin America and the Caribbean: A Multi-level Approach.

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2018). Educación para el desarrollo sostenible: Guía para la acción.

Ramsar Convention Secretariat. (2016). An Introduction to the Convention on Wetlands. Ramsar, Irán, 1971.

Rodríguez, L., & Delgado, C. (2020). La problemática del agua en la Megalópolis de México: Impactos y soluciones desde una perspectiva sustentable. Environmental Science Journal.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2022). Estrategias de Conservación de Ecosistemas Acuáticos en México.

World Bank. (2015). Public-Private Partnerships in Water Supply and Sanitation.

38 El agua ante la tradición y la modernidad.

Julio César Mondragón García

Pasante del Colegio de Estudios Latinoamericanos de la Universidad Nacional Autónoma de México:
julcesdmga@gmail.com

Resumen

Este ensayo busca proponer el conflicto existente entre la tradición y la modernidad como una de las razones de fondo que impide llegar a una correcta implementación en los diversos intentos para establecer mecanismos eficaces en la gestión el agua en la zona de la megalópolis de México.

Al tratar este tema primero habré de abordar desde la filosofía y sociología los conceptos de identidad y cultura, posteriormente he de hablar de ideología y hegemonía, esto con la intención de segmentar la base de la cual parte la propuesta del presente escrito, logrando así exponer de manera más eficaz lo que interpreto como tradición y modernidad al igual que su relación en la dificultad para gestionar de manera efectiva el agua en la zona de la megalópolis de México.

Por ultimo daré algunas de las posibles maneras de mediar en el conflicto y alcanzar avances en las políticas públicas con respecto a dicha gestión.

Palabras clave: Cultura, identidad, ideología, hegemonía, burguesía, modernidad, tradición.

Introducción.

No es un secreto para nadie que existe una severa problemática en la gestión del agua en la zona de la megalópolis de México, irónicamente este problema es uno que se presenta con una contradicción puesto que existe un desabasto generalizado de agua potable para una gran cantidad de comunidades, problema que se ha agravado ante la baja recuperación del sistema Cutzamala que es el principal proveedor de agua potable a causa de periodos de estiaje más largos y severos, lo que afecta a toda la región pero principalmente a zonas históricamente marginales cómo lo son Iztapalapa al poniente de la Ciudad de México.

Por el otro lado tenemos que en el periodo de lluvias, no solo hay inundaciones en las que el sistema de drenaje se ve colapsado, sino que podemos ver como ríos (usualmente contaminados) se desbordan y arrastran toneladas de basura e incluso vehículos, dañando edificios llegando a dejar incomunicadas colonias completas, algunas incluso durante semanas como lo fue el caso de Chalco, un municipio ubicado al oriente del Estado de México que duró más de 30 días anegado por inundaciones iniciadas con las lluvias del 15 de Agosto de 2024.

Es claro que hay un problema en cómo es gestionada el agua en la megalópolis, pese a ello y a que desde hace muchos años se han realizado obras e implementado políticas que pretenden darle solución, simplemente parece que hay algo detrás que no permite la eficacia de ninguna de ellas.

Sin pretender “encontrar el hilo negro” sobre este tema, espero que este ensayo brinde una explicación plausible sobre la pregunta ¿Por qué no se puede gestionar bien el agua de la megalópolis?

Para ofrecer una de las posibles respuestas planteo que el antagonismo entre la modernidad y la tradición es fundamental a la hora de pensar y aplicar las posibles maneras de resolver este conflicto sobre y con el agua.

Abordar este tema sin más es algo complicado ya que es necesario tener una base de la cual apoyarse para entender cómo es que dicha dicotomía existe y por qué, por ello pretendo establecer de la manera más sencilla y resumida posible para fines prácticos del presente ensayo, los conceptos de identidad, cultura, ideología y hegemonía.

Una vez desglosados estos conceptos procederé a definir la tradición y la modernidad como corrientes de pensamiento, aunado al porqué de su conflicto así como el lugar que la concepción del agua ocupa en ellos.

Habiendo establecido lo anterior entonces será mucho más fácil entender la “disputa” que existe y como está impacta de manera casi imperceptible

pero completamente fundamental en los diversos proyectos, acciones, políticas etc. Que buscan dar una solución al problema de la gestión del agua.

Identidad: Soy, pertenezco, me siento.

Cada uno de nosotros como seres humanos estamos atados a una forma de ver el mundo, de significarlo. Esta "atadura" se da desde el parto mismo ya que nos es heredada por nuestros padres, se nos otorga un nombre, apellido, un lugar de nacimiento y una nacionalidad; todo lo que nos rodea, desde el medio físico, el material, el simbólico y natural determinan la manera en que podemos interpretar el mundo y los diversos fenómenos que en el existen. La manera de hacerlo será transmitida de la misma forma en que nuestros padres y el grupo al que pertenecen lo hace. Sin embargo, este proceso no es igual para cada ser humano ya que pese a compartir esta forma de "traducir" el mundo, cada uno de nosotros siendo individuos enfrentamos procesos internos y externos que determinarán por último nuestra personalidad así como nuestra identidad.

La identidad se define en su forma más sencilla como: "Conjunto de rasgos propios de un individuo o de una colectividad que los caracterizan frente a los demás." (Diccionario de la lengua española, 2024), esta definición si bien resulta ser suficiente en muchos casos para darnos una idea de lo que interpretamos como cultura, deja varios puntos sin abordar.

La personalidad e identidad no son sinónimos, la primera se crea al reconocerse como un individuo único, esto se logra mediante los sentidos: tacto, oído, olfato, vista y gusto ya que son experiencias personales. Dichas experiencias son entonces nombradas al ser compartidas con los otros, de este modo sabemos que la sensación en nuestra al probar un limón se llama "amargo" o que esa sensación en nuestro cuerpo que nos obliga a buscar el fuego o abrigo se llama "frio". Cómo individuos poco a poco nos vamos identificando con el grupo al que pertenecemos, yendo de lo pequeño a lo grande, por ejemplo la familia, ya que está compuesta por dos o más individuos que se unen a partir de un lazo común que es compartir normalmente la misma madre, pues esta es quien amamanta a sus hijos, la figura paterna puede o no estar y ser parte del grupo familiar, hay una mayor variedad de relaciones sociales originarias, que competen a adentrarnos más en la antropología, sin embargo para el caso que aquí nos compete, el ejemplo familiar es el más práctico.

Todo grupo entendido como un conjunto de individuos tiene un objetivo. En las primeras sociedades el objetivo principal de la conformación de este era la supervivencia. En algún momento de nuestra historia la experiencia nos mostró que reunirnos en grupo aseguraba nuestra el éxito, para el cual es indispensable cubrir con las necesidades de alimento, seguridad y refugio. Por lo tanto, el grupo nace de una necesidad que trascienda un evento concreto, nace de una necesidad constante o permanente como la ya mencionada sobrevivencia (Van Dijk, 2006).

Se da entonces un fenómeno interesante, el grupo crea una identidad como un conjunto de individuos afines. Con el paso del tiempo la conformación del grupo ya no sólo es un medio pragmático de sobrevivencia sino que se convierte en un espacio seguro, es un ámbito en el cual los individuos se sienten protegidos, y acompañados, las emociones toman parte importante en este proceso. Es así que, la identidad en su complejidad social nace junto a los sentimientos de pertenencia de los individuos.

Ahora bien, que un individuo pertenezca a un grupo no significa que no lo haga a otros más, un ejemplo es la familia, Una pareja con hijos es un grupo unido por la consanguineidad que a su vez es parte de un grupo más grande como lo es la comunidad en la que habita. Cada miembro de la familia por su parte tendrá un grupo de amigos con los que compartirá otro tipo de experiencias e intereses; los grupos sociales con los que un individuo puede relacionarse son muchos, gracias a la complejidad de la sociedad humana. (Geertz, C. 1992)

Explicado lo anterior podemos entender de manera general como se crea la identidad de los individuos y de los grupos, producto de un proceso que podríamos llamar "natural" a la hora de la conformación de una sociedad. Entonces, el individuo puede asegurar que se siente parte de un grupo, al identificarse con él por la razón que sea.

Identidad: El otro que no soy yo.

Antes se mencionaba cómo el individuo creaba su identidad y personalidad gracias a las experiencias, sentidos y la forma en que su medio le daba las herramientas para nombrar y expresar las mismas. Esto también propiciaba que el individuo se identificara como un ente separado de los otros; en primera instancia como alguien ajeno a la madre con quien compartió un mismo espacio durante la gestación y uno muy cercano durante el proceso de amamantado.

Una vez que este individuo asume su individualidad también reconoce la existencia del otro. Podríamos decir que en el momento en que existe el "yo" también nace el "otro" que es diferente a mí porque no es "yo"; esta existencia del "otro" es fundamental para el desarrollo de la personalidad y la identidad. Según qué tan cercano un individuo se sienta a otro tenderá a imitarle, por eso es que los hijos suelen imitar a sus padres, replicar muchas de sus conductas y acciones. Sin embargo, con el paso del tiempo, así como cuando el bebé deja de ser amamantado y comienza a asumirse como un otro, al crecer comienza a pasar menos tiempo con sus padres, se relaciona con otras personas y aprende de ellas cosas que en el seno familiar no había podido antes, así su personalidad se moldea una vez más al encontrarse con una mayor diversidad de individuos que son "otros".

Esta confrontación entre el "yo" con el "otro" u "otros" suele ser enriquecedora para el individuo, sin embargo, como en cualquier interacción humana, no siempre se da de forma pacífica, a veces el "otro" choca con el "yo" de manera violenta, ya sea por los sistemas de valores inculcados a cada uno, o por un pleno desconocimiento de su contraparte naciendo de ahí un miedo primigenio a lo desconocido.

De lo anterior lo más común es una confrontación entre individuos que pese a pertenecer a la misma comunidad, sus personalidades chocan a veces incluso son contrarias en interpretaciones fundamentales del mundo en que habitan, Un ejemplo claro es que hay personas en comunidades que ven el bosque como un medio de subsistencia que debe ser protegido y en contraparte hay quienes ven el bosque como un medio de enriquecimiento en el que el cuidado del mismo no tiene cabida.

En el segundo caso, en el que se enfrenta a un "otro" que es totalmente desconocido, se activa el instinto de supervivencia heredado desde hace siglos. Al "otro", se le ve como algo potencialmente dañino y se busca conocer más de él para asegurar que no represente un riesgo genuino, la razón busca entender este extraño fenómeno de un "otro" que no comparte con el "yo" casi ninguna similitud. Un ejemplo de ello se puede ver en la historia con la llegada de los europeos a América que, al llegar encontraron sociedades muy diferentes a la propia. Dicho encuentro provocó un choque en el cual se buscaba entender si estos "otros" humanos eran en efecto humanos.

El encuentro de lo europeo con lo americano ameritó una enorme discusión sobre lo que era ser humano, sin embargo, mientras se daba la discusión se suscitó la conquista, Las potencias europeas vieron en el continente americano un territorio de explotación, se derramó sangre y se destruyeron diversas formas de ver el mundo en pos de imponer la "manera correcta" de ser y ver el mundo, así el "Yo" europeo impuso su versión del mundo sobre el "Otro" americano. (Bolívar, E. 2000).

Cultura: El orden y el territorio.

Cuando un grupo humano ha logrado por fin crear una unidad entre sus miembros haciendo que estos se consideren a sí mismos parte del conjunto, se da una división en las labores de los sujetos que le componen. En primera instancia la división es meramente pragmática, en las sociedades primigenias se dividían entre cazadores, recolectores, quienes cuidaban el territorio etc. Sin embargo, al avanzar y complejizarse la sociedad y aumentar el número de miembros de ésta, la división comenzó a responder a cuestiones más simbólicas, una de las más importantes fue sin duda la aparición de las creencias espirituales.

Toda sociedad crea un conjunto de normas para convivir, se crean leyes que prohíben y permiten ciertas actitudes, todo en función de mantener la unidad y funcionalidad del grupo. Las normas son dictaminadas y decididas por aquellos que lideran la sociedad. Ahí se encuentran los líderes espirituales, nacidos de la necesidad humana de explicar fenómenos que nos atemorizaban, pronto los líderes espirituales se convierten en guías que dan

tranquilidad a la sociedad al darles respuestas del porqué suceden ciertos fenómenos atribuyéndolos a los dioses.

Sucede entonces que al existir un liderazgo y la creación de las normas se da una imposición de lo real, es decir desde el conjunto de líderes de una comunidad deciden según sus propias ideas lo que es o no es, lo que puede o no ser. Entonces la división dentro de la sociedad aumenta, pues están aquellos que determinan las normas, aquellos que las hacen valer, quienes castigan su infracción, quienes las deben seguir y quienes las infringen.

Nacen las relaciones de poder y jerarquías dentro de la sociedad, se establecen las formas de gobierno y se crea un espacio territorial que pertenece a la sociedad; la tierra que antaño era un espacio del que el ser humano formaba parte ahora es una posesión, la identidad de la sociedad se arraiga a ese espacio en concreto, en algunas culturas el espacio es una propiedad en otras sin embargo es parte intrínseca del ser de la sociedad.

Gracias a las "respuestas" dadas mediante la espiritualidad junto a la exploración del medio, el espacio con el que interactuar y en el que habitar se amplía. La tierra una vez agreste y desconocida se convierte en un espacio que puede ser domado y sujeto al orden de la sociedad.

Una vez que el territorio es parte de la unidad del grupo, y se crea un orden social con sus formas de gobierno y expresiones espirituales, surge una tendencia a la expansión que se da sin muchos problemas mientras el territorio sea "salvaje", sin embargo dado que no existe una sola sociedad sino varias, es cuestión de tiempo para que dos o más se encuentren y estos encuentros pueden ser pacíficos u hostiles.

Cultura: Hegemonía, ideología y "lo real".

Habiendo explicado lo anterior corresponde ahora explicar que es la hegemonía, la ideología y cómo estas se encargan de imponer a los sujetos miembros de una sociedad lo que es real y la idea de lo que "debe ser".

La hegemonía es en términos sencillos el control que ejerce un grupo en el poder sobre los gobernados a fin de mantener clara la división y el poder de los primeros. La complejidad del término viene de las herramientas con las que se sirve para poder ser efectiva, el grupo dominante busca imponer a los gobernados una forma de ver el mundo de tal modo que nunca ponga en duda la autoridad con la que el grupo gobernante les dirige (Laclau, E. y Mouffe, C. 1987).

Cuando hablaba de cómo se construye la identidad, mencionaba que es mediante las sensaciones personales que son descritas a partir de lo nos indican quienes nos rodean, como lo era el ejemplo del limón y lo amargo, ahora bien el grupo que ostenta la hegemonía se encarga de imponer la manera en que el individuo significa el mundo y como explica estas experiencias. Uno de los ejemplos que más me gustan para ejemplificar esto es la existencia del bien y el mal, la cuestión ética de lo bueno y malo está determinada por la sociedad en la que vivimos, sin embargo, cuando un grupo alcanza a gobernar e imponer su hegemonía es éste el que decide lo que es bueno y malo, así lo que alguna vez fue visto como algo natural o normal ahora es castigado (Žižek, S. 1992).

Y es precisamente del grupo hegemónico que al implantar sus ideas nace la ideología cuyo objetivo es asegurar su dominio y control, para tal efecto propaga sus ideas por toda la sociedad y busca que la sociedad por si misma las replique y defienda, pero sobre todo que no las cuestione. El mejor ejemplo lo podemos encontrar en las organizaciones religiosas por tomar un ejemplo, el caso del Catolicismo que durante sus años de mayor poder se encargó de perseguir a todos aquellos que le cuestionaran incluidos a los miembros del clero; cualquier idea que contraviniera lo establecido por la iglesia era considerado herejía, tal como pasó con Galileo y la teoría de la rotación, en la cual él aseguraba que era la tierra la que giraba alrededor del sol y no al revés como lo decía la teoría ptolemaica integrada por la iglesia, al final Galileo se salvó al negar sus previas afirmaciones, pero no todos compartieron su misma suerte.

Otro ejemplo es el del periodo del tercer Reich implantado por Adolfo Hitler, un excelente orador que convenció con sus palabras a personas importantes al punto de ser electo dirigente de Alemania. Una vez en el poder impuso la ideología de la superioridad racial aria que, miles de personas siguieron, además utilizó la propaganda en masa como

su medio de difusión, tal fue su éxito que muchos alemanes adoptaron la ideología del nacismo sin mayor cuestionamiento, su efectividad radico en la claridad de dos cuestiones, la primera en apuntar a un enemigo en común y la segunda en deshumanizar a dicho enemigo de tal modo que las atrocidades cometidas por el gobierno no fueron cuestionadas en masa. (Eagleton, T. 1997)

Ahora también como he mencionado antes, cada individuo está marcado por sus propias experiencias que conforman su identidad, muchos alemanes no compartían el pensamiento de la hegemonía, pero aquellos que se atrevían a levantar la voz en contra eran reprimidos por el brazo más violento del gobierno nazi, la Gestapo.

Con los dos ejemplos anteriores podemos ver que aunque la hegemonía intente imponer una ideología, la sociedad en su complejidad no puede ser cooptada del todo, siempre habrá pequeños grupos disidentes que cuestionarán el poder y sus acciones. Para ellos no queda de otra que establecer un grupo especializado en acciones violentas, en pos de mantener el orden establecido y con la intención de que la ideología sea impuesta a tal punto que no sea cuestionada nunca más.

Ese es el caso que podemos ver en una de las mejores obras literarias del género que se conoce como distopia, George Orwell en su libro 1984 nos muestra una sociedad que ha sido plenamente controlada y sobre la cual se ha puesto una ideología que se reprodujo al punto en el que los individuos no la cuestionan y aquellos pocos, muy pocos que lo hacen no encuentran un grupo al que sumarse, son solo individuos sin apoyo ni soporte.

Sin embargo, la distopia de Orwell es una en la que él teme por un Estado que ejerce una hegemonía absoluta mediante medios de control y restricción como lo son la policía, censura, micrófonos y espías entre otras herramientas; el ideal es que en una hegemonía total, la ideología sea lo único necesario para el sometimiento de las disidencias, en la que los mismos miembros de la sociedad “controlen” a quienes cuestionan al poder.

¿Qué es entonces la ideología? No es tan sólo un sistema de ideas impuesto por un grupo hegemónico, es también una forma en que se impone la percepción del mundo, en como traducimos los fenómenos que suceden a nuestro alrededor (Van Dijk, T. 1999). Y si bien pareciera que no puede existir algo así; un sistema de ideas, valores y percepción que llegue a todo el mundo y que condicione a conveniencia de un grupo selecto de personas nuestra forma de pensar, en realidad existe y vivimos en él.

Modernidad y capitalismo

Sé que hablar de capitalismo genera cierto escozor en muchas personas, principalmente porque pese a ser un término utilizado muchas veces tanto por sus partidarios como sus detractores es uno que no termina de ser explicado para las mayorías. Curiosamente esta falta de conocimiento general de lo que significa este término tiene que ver con lo que previamente he mencionado sobre la ideología, el concepto en sí mismo es desdibujado con la finalidad de que no pueda ser analizado, discutido y por tanto cuestionado por la mayoría de personas.

El capitalismo es en esencia un sistema económico y de gobierno que tiene por principal objetivo la generación y acumulación de dinero. Como resultado de su implantación las jerarquías sociales han cambiado; la hegemonía ha sido trasladada de reyes y gobiernos, a la burguesía, este concepto se refiere a un grupo de personas que cuentan con el dinero suficiente como para poner ese dinero a “trabajar por ellos” (Williams, R. 1988)

Esta idea de poner a trabajar el dinero viene desde la era de la revolución industrial, donde la aparición de máquinas mucho más especializadas y potentes permitía una mayor producción, con un horario de trabajo más amplio, convirtiendo al obrero en un controlador de la máquina. De esta forma no se necesitaban tantos obreros como antes, por lo que al comprar una maquinaria podía prescindirse de mano de obra y de sus salarios, esto se consideraba una inversión ya que se gastaba más de un solo momento pero al pasar el tiempo era más beneficioso para el dueño.

Y un peldaño más arriba estaba la posibilidad de que un burgués prestara dinero a otro para que comprase esta maquinaria, este préstamo llevaría intereses pactados, o la posibilidad de una asociación en la cual el que disponía de dinero solo daría eso y a cambio recibiría un beneficio periódico, sin tener que trabajar o incluso poseer industria, tan solo requería una inmensa cantidad de dinero.

Por otro lado, al nacimiento de la burguesía le acompaña el del proletariado, llamado así porque su única posesión material es el mismo y su "prole" es decir sus hijos, por ende lo único que puede darle sustento es su propio trabajo. Esté busca obtener los insumos necesarios para vivir trabajando en las grandes fábricas, generalmente como obrero manejando alguna parte de la producción de las maquinas que trabajan incesantemente, debido a que hay muchos trabajadores y pocos espacios de trabajo, el salario del que dispone es uno muy bajo, y en caso de que reclamase a la burguesía por uno mejor, esta simplemente podría despedirlo y darle su trabajo a otro.

De hecho ahora la burguesía ostenta la hegemonía e impone mediante su ideología las normas sociales que le permitan mantener y ejercer el poder, comienzan a estar cercanos a los diversos tipos de gobierno, como un aliado y pronto como parte de, lo que le permite asentar con mayor fuerza su ideología.

El capitalismo pronto logra dividir a la sociedad en dos sectores la minoría burguesa hegemónica y el resto, los gobernados, compuestos por la clase obrera, campesinos y artesanos que resisten ya sea gracias a que su disciplina no es de interés de los empresarios o a que su labor manual es apreciada por estos mismos; existe una especie de mito formado por los Estados Unidos principalmente, la existencia de una "clase media" esta clase media sería un sector que sin ser propietarios de empresas ocupan puestos dentro de las mismas como administradores, gerentes etc. También se trata de personas que son funcionarios en el gobierno y que tienen estudios que les permiten ejercer profesiones mucho mejor remuneradas que ser un obrero, esta clase media puede permitirse una casa, días de vacaciones y acceso a una serie comodidades que el campesino, artesano y obrero no.

La ideología capitalista logra implantar la idea de que con esfuerzo el individuo puede ser parte de ese sector medio. A su vez a los miembros del sector medio les impone la idea de que podrán formar parte del grupo hegemónico, de tal forma que se perpetúa en el poder bajo el discurso de que cualquiera puede ser parte de ese selecto grupo aunque esto no sea en realidad así.

Es así que tras esta implantación llega una nueva forma de capitalismo, el "neoliberalismo" en el que se busca que los estados cada vez intervengan menos en la economía, a fin de permitir que la clase hegemónica pueda no sólo perpetuar su poder (traducido en ganancias) sino a incrementarlas; la privatización de sectores anteriormente regulados por los estados, como son la educación, salud producción energética son fundamentales para tal efecto.
Ahora surge una pregunta, si siempre que hay un grupo hegemónico, por muy avanzada que sea su retórica y eficiente la implantación de su ideología, no logra absorber a todos los grupos e incluso encuentra resistencia, ¿Dónde está la resistencia contra el capitalismo? Esta se encontró en los albores del mismo, con las manifestaciones de los obreros en contra de la burguesía, la presión de estos sectores logró que los estados gobernantes establecieran leyes para proteger a los trabajadores, se trató de un movimiento mundial que permitió poner en riesgo al grupo hegemónico en ascenso pero aún no en pleno potencial por lo que para bien o mal, tuvo que ceder ante las demandas de los gobiernos y de los sectores obreros.

En los tiempos modernos del neoliberalismo el grupo hegemónico ya está asentado en el poder y las normas que protegían a los trabajadores pronto comenzaron a ser eliminadas, en la mayoría de casos poco a poco y en otros de un plumazo. Gobiernos enteros compuestos por partidarios o miembros del grupo hegemónico comenzaron este proceso con la promesa de que sería lo mejor para todos, la ideología fue impartida en escuelas, iglesias, en las calles y nació el mito de que todos podían convertirse en clase media, y cualquier clase media podría convertirse en clase alta.

Nos encontramos entonces con una ideología que Bolívar Echeverría denomina Modernidad, la cual es un proceso social en el que el llamado "progreso" impone una forma de ser, el "deber ser" este viene construido de este imaginario del antes mencionado "sueño americano" así las familias de obreros y campesinos ven en el estudio de sus hijos la posibilidad de que estos puedan ascender en la jerarquía a una mejor posición que la suya, muchas veces con la esperanza genuina una vida mejor. Lo cierto es que hasta antes de los años 2000, el estudio de licenciaturas, ingenierías y otra clase estudios profesionales ayudaron a una cierta movilidad social, el nuevo milenio trajo consigo el desencanto en aquel sueño.

El capitalismo en su voraz necesidad de mantener el poder a partir de la acumulación de dinero, pronto encontró una serie de crisis económicas nacidas de su anhelo desaforado, y en una suerte de sádico remedio, su respuesta fue la guerra; la guerra mueve millones de dólares en el mundo, la producción de armas, la destrucción y la reconstrucción de las zonas destruidas es un negocio que genera inmensas cantidades de dinero. Pero las naciones no pueden estar en guerra todo el tiempo, así que se encontró una nueva forma de superar las crisis con el desarrollo tecnológico.

Se desarrollaron tecnologías que representaron un avance y bienestar para la humanidad en general, pero también trajeron consigo el nacimiento de las "necesidades creadas" pronto la posesión de objetos tecnológicos se convirtió en una señal de estatus, poseer se convirtió en sinónimo de ser.

Ya desde la era medieval, el poseer objetos ostentosos demostraba el estatus y poder de quien los poseía, sin embargo a diferencia de aquella época, ahora un componente tecnológico como lo es un celular no te hace pertenecer a la clase social que se le asocia, tan solo hace sentir que se está más cerca, o en un caso aún más triste, se trata de estar más lejos del grupo al que genuinamente pertenece.

El mejor ejemplo lo podemos ver con los productos de la marca Apple, poseer uno de sus productos da una sensación de pertenencia a un grupo selecto de personas, este grupo no está conformado por personas afines al individuo necesariamente, pero si por personas que en principio comparten una capacidad de compra similar. El "truco" está en que se puede comprar el producto sin tener dinero de sobra, incluso endeudándose.

La modernidad nos trae una nueva forma de organización de los grupos, de la identidad y de la personalidad, es una forma sintética producto de la ideología implantada por el capitalismo. Los grupos ahora se conforman en función de su capacidad de generar y gastar dinero, el ideal al que se aspira es a pertenecer a una parte más alta en la jerarquía económico-social. Para lograr esa pertenencia se puede comprar el objeto en abonos, mensualidades o mediante préstamos, por lo que al final de forma irónica, aquellos que se endeudan adquiriendo tecnología con la intención de pertenecer a otro grupo más "favorecido" (es decir con más dinero) se encuentran con otros tantos como ellos y con seguramente muy pocos de aquellos que si cuentan con el dinero de sobra para gastar.

Es así que la modernidad como corriente ideológica nacida del neoliberalismo e implantada por la burguesía, dicta a la clase gobernada lo que debe aspirar a ser, y el cómo lograr esto a partir del dinero que está dispuesto a gastar, y en que gastarlo, una vez más quedando de manifiesto que el poder de la burguesía se encuentra en el dinero.

Agua, modernidad y tradición.

La modernidad se convierte en ideal a ser, podemos verlo en diversas situaciones, desde la forma en que se diseñan las viviendas, en cómo se planean los espacios públicos, en las artes y deportes, pero también en un nivel mucho más privado como la vida diaria, los adornos en la casa, los muebles, la ropa etc. Se nos muestra en películas, series de televisión y diversos productos audiovisuales a lo que se supone debe aspirar el individuo a ser y como una sociedad se supone debe funcionar; sin embargo no existe un titiritero malvado, una comisión de medios que se encargue de ordenar esta clase de producciones. La mayor victoria del neoliberalismo es que la implantación de su ideología ha logrado alcanzar niveles insospechados.

La modernidad se ha implantado lentamente en la sociedad y ha logrado que se reproduzca por si misma sin intervención directa del grupo hegemónico, se auto-sostiene y replica sin problema ya que la sociedad la ha adoptado como parte de sí. He ahí la gran victoria, la forma en que vemos y significamos el mundo a tal grado que la inmensa mayoría de personas nos resulta prácticamente imposible concebir un mundo distinto.

La resistencia que casi por norma suele haber en contra del grupo hegemónico se ve mermada, pero no como lo temía Orwell en su novela 1984 (Orwell, G. 2023) si no en un caso más similar al del libro Un mundo feliz. De Huxley (Huxley, A. 2011) la constante presencia de estímulos agradables, la inmensurable cantidad de "información" que está siempre a la mano y una serie de actividades "triviales" nos enajenan de la realidad y nos impiden cuestionar el sistema en que vivimos. Lo que nos lleva a seguir una rutina anhelando ser algo que se nos ha dicho que deberíamos ser sin cuestionar si

en verdad es eso lo que queremos, y nos convierte en una, especie de “esclavos de la inmediatez”.

En apariencia la victoria de la ideología de la modernidad pareciera absoluta, pero encuentra su resistencia en la tradición, está es una corriente ideológica que se puede nombrar así en función de su intención de preservar una forma distinta de ver y significar el mundo, hablando en términos generales, las comunidades como son los pueblos originarios, zonas rurales y sectores de las ciudades marginados tienden a tomar una posición de confrontación ante la vorágine de la modernidad.

Su identidad que nace de diversos procesos sociales e históricos se ve amenazada por la modernidad, y en su resistencia y lucha descubre que hay “otros” grupos que tienen el mismo adversario, entonces se identifican como compañeros, en ese momento pese a sus diferencias se asumen como un solo grupo, uno cuya identidad nace a partir de la existencia de ese “otro” que le amenaza, para reforzar dicha identidad se descubre que la gran mayoría de los grupos que se unen comparten una forma de transmitir sus respectivas identidades, en un actividad humana histórica, mediante la lengua, y la práctica de todo aquello que les provee de esa identidad como grupo. La tradición es la forma cultural de una sociedad o comunidad en que reproduce su propia identidad, sus creencias religiosas, sus actividades productivas, vestimenta, su cultura (Bolívar, E. 2000).

Los pueblos originarios son quienes de forma más evidente han mantenido sus tradiciones. Su resistencia radica en su fuerte determinación de no desaparecer, de no ceder su identidad ante la imposición ideológica del capital. Durante años se ha intentado eliminar su resistencia y sin embargo siguen existiendo. De manera similar pero menos evidente las zonas rurales y las marginadas de las urbes mantienen y sostienen sus respectivas identidades en una pugna constante donde el objetivo primario siempre fue la resistencia a la modernidad y gracias a su unión como un frente es ahora una forma alterna de ver el mundo, posee herramientas para asestar algunos golpes en la reyerta.

El agua (dulce en este caso concreto) es un tema sumamente importante para la modernidad y la tradición, cada una significándola desde su propio lente y que resulta ser uno de los campos de conflicto entre ambas más aguerrido. Para la modernidad, el agua es un bien, una mercancía que debe ser controlada administrada y vendida por la clase gobernante, la burguesía, el valor del agua se encuentra en todo el dinero que esta puede generar, no solo en su consumo, si no como parte en los diversos procesos industriales que le requieren para generar más mercancías, desde refresqueras, cerveceras, hasta la industria de la moda, automovilística, informática, y desarrollo de componentes de autos y computadoras, el agua está en cada proceso de la cadena productiva del neoliberalismo.

Pararse a pensar en ello puede poner la piel de gallina, el agua dulce es fundamental para cualquier industria, y a su vez es literalmente el líquido que sostiene la vida en nuestro planeta, es de entender entonces porque el neoliberalismo anhela tomar el control total del agua.

Sin embargo, el agua es para la tradición, la dadora de vida, no solo porque necesitamos beberla, sino que gracias a ella los cultivos que nos alimentan pueden existir. Toda la vida en este planeta depende del agua y esto se sabe desde hace miles de años, el agua fue adorada en muchas culturas, respetada por lo indomable que podía ser como tormenta pero amada por lo buena que podía ser como una necesaria lluvia al término de una sequía. Ha sido también un arma de guerra, desviarla, contaminarla, incluso liberar represas han servido para ganar batallas, históricamente el control de la misma ha servido para someter poblaciones así como para hacerlas florecer.

Sin embargo el rol más importante de la misma ha sido siempre la de dar y mantener la vida, en la tradición el agua es un derecho de cada ser vivo, es necesaria y por ende no puede ni debe ser una mera mercancía no es una posesión de un pequeño grupo, es parte de todos, esto quiere decir que el agua no solo le pertenece a cada individuo, si no que cada uno de nosotros es parte del agua porque sin ella no podemos ser.

El agua en disputa.

El avance del Neoliberalismo y de la modernidad poco a poco han ido arrebatando a la tradición territorio, identidad, cultura, pero el agua es un tema distinto, como antes dije, el agua es sinónimo de vida, arrebatarla es un acto de asesinato, gracias a

las ciencias como la biología y diversas ramas ahora sabemos que nuestro planeta es una serie de conexiones casi milagrosas y el agua como parte fundamental de ellas, requiere de suelos que absorban las aguas, de mantos acuíferos que la mantengan, de bosques que capten el agua y la filtren a la tierra, de nieves perpetuas en las montañas y de los ríos.
En su implacable avance el capitalismo ha trastocado y desestabilizado cada parte del proceso por el cual el agua sigue su ciclo, las aguas contraminadas por las diversas industrias no vuelven a formar parte de esas conexiones naturales milagrosas, la tala indiscriminada, el cambio en el uso de los suelos, la minería y la polución han afectado la cantidad de agua disponible, haciéndola aún más valiosa, y una de las formas más claras de su importancia es como se han implementado las redes de distribución de agua para las poblaciones. Las ciudades se llevan una enorme cantidad, para su consumo, llevándola principalmente para las industrias, después a las zonas ricas y así siguiendo el camino hasta las poblaciones marginadas, donde el agua escasea regularmente y sus habitantes exigen a los gobiernos solucionar su desabasto, pero son ignorados, porque son el daño colateral necesario para la acumulación del capital.

Y son muchas de estas mismas comunidades que en épocas de lluvias se ven inundadas de aguas negras y sufren el colapso de todos los servicios, en la planeación de las ciudades no se contemplan medidas adecuadas para la gestión de las aguas residuales ya que muchas veces esto genera más gastos a los gobiernos que recordemos tienen a muchos de los miembros de la burguesía en ellos, la corrupción, el desdén por los "pobres" influyen en los gastos y preocupación en la planeación urbana de los gobiernos.

Es fundamental entender que mientras no se represente una ganancia sustancial para la burguesía, las condiciones de vida del resto de la población importan muy poco, solo tienen que dar lo mínimo necesario para que todos podamos seguir trabajando para generar más dinero y gastarlo, el agua como un derecho y como parte fundamental de la vida no tiene cabida, ese lugar lo ocupa como no sería de otro modo, el dinero.

Pero las zonas rurales, las marginadas resisten y los pueblos originarios resisten, gracias al avance de las ciencias como antes mencione se sabe de la importancia de los diversos factores que integran la vida, el agua, tierra, bosques etc. se defiende cada uno de ellos, y se buscan alternativas a la demanda de agua, se cosecha agua de lluvia, se protegen mantos acuíferos para evitar la sobreexplotación y se arman cuadrillas de defensa y protección forestal. Pero también se levanta la voz en forma de manifestaciones en contra de proyectos que atentan contra la naturaleza.

Incluso en la indefensión ante los embates de la naturaleza, cuando una inundación arrasa comunidades, cuando se dan deslaves de tierra y se desbordan los ríos somos la mayoría, los no burgueses quienes en un acto de trasgresión total contra la modernidad tomamos lo poco o mucho que tengamos para ofrecerlo a aquellos que han perdido casi todo, muchos incluso teniendo solo sus manos y buena voluntad al reconocer en aquellos afectados a un "otro" que es como ellos que acuden en masa a limpiar caminos, retirar escombros llevar ayuda y dar consuelo a quienes perdieron seres queridos.
Y entonces se levantan las voces y se grita con indignación y rabia contra los gobiernos y empresas, se exige justicia y solución a los problemas, se plantea en la mesa de dialogo que el agua no es ni debe ser una mera mercancía, la posición es innegociable, el agua es y debe seguir siendo un derecho para todos.

El conflicto está destinado a estar estancado mientras ambas partes no puedan llegar a una negociación que permita a ambas partes obtener un beneficio, la dificultad radica en que son grupos antagonistas los que están en disputa, ambos mantienen firmes sus posiciones con respecto a cómo se significa el agua. Un bien que genera ganancias o un derecho inalienable, realmente es difícil que ambas puedan llegar a un acuerdo mutuo, a mi parecer es lógico que la tradición sea mucho más inflexible que la modernidad, principalmente porque es precisamente la segunda la que ha causado los problemas con el agua que sufre la primera.

Se necesita de un mediador entre ambas, para evitar que las "pasiones" de ambas partes se desborden, esta es la función que un gobierno soberano y democrático debería tomar, en principio un gobierno compuesto por representantes civiles, debería tener a miembros de ambas facciones dentro de él, legislando sobre el tema y poniendo en práctica políticas públicas que den prioridad al mazo de la po-

blación gobernada sin dejar de lado los interese de la burguesía, sin embargo como mencione previamente muchos gobiernos están compuestos casi en su mayoría por miembros de la burguesía, por lo que las acciones tomadas son en favor de este grupo, sin embargo la presión social en forma de protesta y acciones de desobediencia pueden obligar a estos gobiernos a tomar medidas pertinentes.

De igual forma una mayor participación en la política de parte de los representantes de la tradición y su inclusión en los gobiernos puede socavar la autoridad hegemónica de la burguesía, sin embargo debe ser una acción apoyada por una gran cantidad de personas y grupos que no dejen de poner atención para evitar algún revés por parte del grupo hegemónico. Por ello es necesaria la unión de diferentes sectores y que esta unión identifique claramente el problema, el enemigo en cuestión y que se unan identificándose como lo que son, una resistencia que combate la modernidad desde la tradición. Ante dos formas extremas de ver el mundo, la resistencia no puede sólo resistir, debe atacar. Como mencionaba antes, que miembros de esta alcancen lugares de decisión y poder pero que no pierdan su identidad, que se mantengan como parte del grupo que resiste y combate, trabajando en función de ello y que a su vez la sociedad que combate les apoye. Hoy vemos la proliferación de diversos grupos ambientalistas que buscan defender la naturaleza, el territorio y los derechos humanos. Es menester que todos estos se junten con los grupos indígenas y encuentren sus similitudes sobre sus diferencias, y se unan identificando a un adversario en común pero a la vez que logren adquirir de sus ideologías diversos puntos de similitud para lograr fortalecer su unidad y lograr los objetivos en común.

Hoy sabemos que nuestro mundo está interconectado y lo que pasa en una región afecta a otra. La defensa del territorio y del agua no puede ser una que se localice en un solo punto, debe ser integral de ahí la importancia de la unión, la ideología hegemónica ha intentado separar a los grupos que le resisten, sin embargo muchas veces ha tenido el efecto contrario, logrando una mayor cohesión entre ellos en su resistencia y lucha.

Lo cierto es que para llegar a una solución es necesario resignificar nuestra relación con el agua, como sociedad se debe atender el problema no desde la perspectiva hegemónica materialista, sino desde una más integral que congregue diversos factores y conocimientos de diversos grupos. Se necesita pensar en el bien común una vez más, en el bien de las mayorías, necesitamos volver a unirnos en un grupo en pos de la sobrevivencia y nuestro bienestar como se hace cuando nos enfrentamos a un riesgo, los individuos debemos elegir formar un grupo que tenga en mente un objetivo claro: El agua no es un bien explotable, es un derecho de cada ser vivo.

Y en su defensa, también proteger todos los intrincados sistemas que tienen su relación con el agua como los bosques, humedales y pastizales, por ello también debemos unirnos y resignificar una vez más el territorio no como un bien que genera dinero, sino como el medio en que habitamos y del que somos parte, se debe generar una identidad conjunta en la que el bien de todos debe primar sobre la ganancia del grupo hegemónico.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
La modernidad ha impuesto una serie de ideas que desvincula a la sociedad de su relación con la tierra e impone la noción de que ésta es un bien explotable.	Existe en la tradición una resistencia a esta imposición pudiendo crear una nueva relación con la tierra y el agua como elementos integrales de la vida.
Hay diversos grupos que defienden el agua y la tierra dispersos que no logran concretar un frente unido debido a las diferencias ideológicas.	El dialogo entre estos grupos puede otorgar nuevas formas de ver el mundo que se integren a modo de formar un frente unido a partir de la similitud ideológica.
La existencia de un grupo hegemónico que busca imponer una ideología centrada en el consumo y producción perpetua sin considerar que los recursos son finitos.	Una participación activa de los núcleos que resisten en la política a fin de socavar la hegemonía en los gobiernos de la burguesía.

La creación de una identidad “falsa” impuesta por el grupo hegemónico basada en el ser a partir de poseer.	Mediante la tradición recuperar formas distintas del desarrollo de una identidad, basada en el ser a partir de su relación con el medio y los otros.
La idea de individuos o grupos de ellos indignos dentro de la sociedad moderna.	Resignificar los roles, los trabajos y oficios para recuperar la dignidad y el orgullo de realizar ciertas acciones necesarias para la sociedad
La creencia de que el “trabajo” y esfuerzo duros serán recompensados con un ascenso en la jerarquía social para cualquiera	Reconocer que esta movilidad social es un mito y que más importante que ello es nuestra relación con nuestro medio que habitamos

Referencias bibliográficas.

Bolívar, E. (2000). La modernidad de lo barroco. Era.
Diccionario de la lengua española, 2024)
Eagleton, T. (1997). Ideología, Una Introducción. Paidós.
Geertz, C. (1992). La interpretación de las culturas. Gedisa.
Huxley, A. (2011). Un mundo feliz. Editorial Esfinge.
Laclau, E. y Mouffe, C. (1987). Hegemonía y estrategia socialista, Hacia una radicalización de la democracia. Siglo XXI.
Mannheim, K. (2004). Ideología y utopía. Introducción a la sociología del conocimiento. Fondo de cultura económica.
Orwell, G. (2023). 1984. Innisfree.
Van Dijk, T. (1999). Ideología, Una aproximación multidisciplinaria. Gedisa.
Williams, R. (1988). Marxismo y literatura. Península.
Žižek, S. (1992). El sublime objeto de la ideología. Siglo XXI Ediciones.

39 Agua para todos: el humedal hacia una gestión hídrica sustentable en la Megalópolis de México

Mayela Eunice Véliz-Cantú[1]* y Miguel Ángel Silva-Flores[1]

[1]El Humedal, KJAJUMU A.C. (*autor de correspondencia: humedalvinculacion@gmail.com) julcesdmga@gmail.com

Resumen

Este ensayo hace una reflexión sobre el potencial que tiene la Megalópolis de México hacer un manejo integral del agua que permita un acceso permanente a agua limpia.

Se presenta una propuesta basada en las soluciones que ofrece la naturaleza considerando que este manejo integral debe incluir captación pluvial, tratamiento de aguas residuales, uso de humedales artificiales para un primer o segundo tratamiento, y programas de sensibilización ambiental contextualizados.

Introducción. El reto hídrico en la Megalópolis de México

México es un país cargado de memoria viva en donde el agua tiene un apartado especial. En el encuentro de los mundos, Hernán Cortés llamó a la Gran Tenochtitlán la "Venecia americana" por la forma en que el diseño de la ciudad distribuía el agua por medio de acueductos; de hecho, durante la Conquista se construyeron otras obras hidráulicas que proveían agua a las personas, entre ellas: acueductos, presas, pilas, fuentes y aljibes, así como otras subterráneas como los foggaras de los que se obtenía agua de los mantos freaticos (CONAGUA, 2009).

Sin embargo, un proceso opuesto también tuvo lugar: la llamada "desecación de la cuenca". El diseño de esta ciudad se basó en el modelo urbano europeo; pero, al estar rodeada de lagos, las inundaciones se hicieron frecuentes en la recién fundada ciudad (CONAGUA, 2009). La solución más lógica en aquel tiempo fue drenar los lagos, comenzando con el desagüe de Huehuetoca que se construyó en 1607-1637 (González-Cabello, 2016); así empezó a vulnerarse la memoria del agua en la cuenca del Valle de México.

Hoy, en pleno siglo XXI, esta megalópolis sigue enfrentando las consecuencias de aquellas decisiones; a pesar de que, según CONAGUA, en la Ciudad de México durante los últimos 10 años han llovido en promedio 598.2 mm al año (CONAGUA, s.f), el agua se desperdica en su mayoría porque el entubamiento de los ríos la manda directamente al drenaje (Frías, 2018). Esto, aunado a la creciente población (aproximadamente 22 millones de personas en 2020, INEGI 2020) que hay en la Megalópolis y la mala calidad del agua superficial, provoca la distribución de agua sea desigual (Cortés-Núñez et al., 2017).

Ante esta situación, es fundamental implementar soluciones que garanticen el acceso al agua agua a toda la población. Para ello, es necesario comprender y trabajar con las dinámicas de los sistemas; de esta manera, se podrá aprovechar de manera sostenible el recurso vital, que, cuando no se maneja adecuadamente, puede ser un factor de desastre urbano.

La propuesta que presentamos parte de hacer una observación cuidadosa de las dinámicas que suceden en la naturaleza, para hacerlas propias e implementar soluciones basadas en ellas. En la medida en que internalicemos nuestro ser como forma de expresión de la naturaleza, podremos hacer de nuestra participación una más consciente y más efectiva en favor de la vida.

El concepto de Soluciones Basadas en la Naturaleza surgió del interés de gestionar los recursos y sistemas naturales de manera colaborativa con la naturaleza y no en contra suya (Sowińska-Świerkosz y García, 2022). La apuesta por este tipo de soluciones es que se puedan enfrentar los desafíos mundiales de forma que emerjan beneficios sociales, ambientales y económicos (Sowińska- Świerkosz, 2022). Este tipo de soluciones promueven la protección, restauración y manejo de ecosistemas, así como el manejo sustentable del suelo y los recursos hídricos y la creación de ecosistemas novedosos que contribuyan a un bienestar global.

En este contexto, en Valle de Bravo (Estado de México) nace un proyecto de regeneración urbana inspirado en las dinámicas que tiene la naturaleza para limpiar el agua a través de los humedales, cuerpos de agua que le dieron su nombre: El Humedal. El propósito de este proyecto desde el origen fue devolver al municipio una parte de lo que ha dado y que, con el crecimiento de su mancha urbana, se ha perdido.

El Humedal

Valle de Bravo es un municipio en el Estado de México que, durante 1930 comenzó a modificar su vocación agrícola hacia una turística gracias a la construcción de la presa Miguel Alemán que formaba parte del sistema hidroeléctrico con el mismo nombre (Sierra-López, 2012).

En los ochenta, luego de que la presa dejara de generar energía para la ciudad, se aprovechó la infraestructura para enviar agua a la Zona Metropolitana del Valle de México, que ya vivía un estrés hídrico (Sierra-López, 2012).

Sin embargo, la transformación social ya llevaba un camino recorrido, por un lado, muchas familias fueron reubicadas con la desaparición de “El Plan” en donde tenían sus tierras, y por otro, familias foráneas comenzaron a llegar, primero por su participación en la construccion de la presa y luego porque ésta se convirtió en un atractivo para quienes buscaban un lugar de descanso fuera de la ciudad: lo suficientemente cerca para hacer viajes cortos, pero lo suficientemente lejos para poderse desconectar.

En este contexto vivió su infancia el ingeniero Enrique Álvarez, siendo testigo de la transformación de un entorno boscoso en uno urbano, poco a poco fue germinando en él el deseo de devolver algo de lo que había recibido de este lugar, había que hacer un bosque.

Por algún tiempo consideró diferentes lugares en donde podía llevar a cabo su sueño; sin embargo, la fortuna puso en su camino la venta del club de tenis que durante 40 años había sido sede de entretenimiento y deporte para muchas personas. Tres canchas de tenis de arcilla fueron el pretexto para cumplir un deseo que le recordaba los mejores años de su infancia. (Figuras 1 y 2)



Figura 1. El Club de Tenis del Lago estaba ubicado en 5 de mayo 300, Santa María Ahuacatlán en Valle de Bravo. Hoy, en este mismo lugar está El Humedal.

Pero para hacer un bosque se necesita, además de árboles y plantas, suelo y agua; y en un lugar como éste era todo un reto conseguirlo. Por un lado, el suelo había estado inerte por 40 años, así que había que regenerarlo. Por otro lado, en Valle de Bravo, como en toda la Megalópolis de México, la temporada de lluvias abarca de mayo a octubre (López-Espinoza, 2022), y por la naturaleza del proyecto no había opción de tomar del municipio tanta agua.

Se tenía un cálculo muy preciso de la cantidad de agua que cada planta necesitaría: el bosque soñado mediría 1000 m2, y necesitaría 450 mil litros de agua por año. La matemática desde el principio fue muy sencilla: Valle de Bravo tenía un promedio de precipitación anual de aproximadamente 1005 mm de lluvia al año (CONAGUA, 2015), así que en 450 m2 de techo podríamos tener 450 m3 de agua: justo lo que necesitábamos.



Figura 2. En 2010 comenzó la obra para dar otra oportunidad de vida al lugar. Para la construcción se utilizaron materiales amigables con el ambiente y la arquitectura es bioclimática, inspirada en la arquitectura mazahua.

La alternativa más evidente fue tomar agua de la lluvia y almacenarla para usarla durante el estiaje, pero no sería suficiente, de los 450 m3 de agua que necesitábamos, solo pudimos almacenar 130 mil, pero nos manteníamos firmes con la convicción de no tomar lo que faltaba del municipio.

El problema se convirtió en una pregunta que se resolvió con creatividad. Extrañamente, aun sabiendo que el agua potable es un recurso limitado, la contaminamos al usarla para transportar heces fecales y la mayoría de las personas no vuelve a pensar en ella. En este caso, El Humedal encontró en ella la respuesta a su necesidad: se instaló una infraestructura que conecta el drenaje de una escuela y una clínica con nuestras instalaciones, para pasar sus aguas residuales por una planta de tratamiento de lodos activados y por un humedal artificial que le da un segundo tratamiento gracias a las islas de plantas fitorremediadoras que lo componen.
Este humedal se ubicó al centro del proyecto y, además de dar ese segundo tratamiento se convirtió en el pretexto que da nombre al lugar, pues además, nos provee de otro servicio ecosistémico invaluable para el éxito de estos proyectos: el del paisaje (Figura 3).



Figura 3. El Humedal es un espacio que aporta diferentes beneficios al ambiente: agua, suelo, salud, vida y paisaje son los más tangibles.

Con esta configuración se definió una visión que nos invita a relacionarnos con el entorno y con otras formas de vida desde un lugar respetuoso e incluso amoroso, con una clara misión, la de crear un futuro que dé paso a la vida en todas sus formas.

Para sostener esta estructura filosófica, ecológica y ambiental se cimentaron de manera natural tres pilares dirigidos por tres acciones fundamentales: suelo vivo, cultivo de agua y compartir conocimiento.

Crear suelo vivo

Para crear futuro cultivamos “suelo vivo” en beneficio de la salud, no solo de las personas sino de los sistemas vivos.

Así, desde que arrancó el proyecto en 2012 practicamos una agricultura orgánica y biointensiva, con el propósito de cultivar y producir alimento orgánico en el menor espacio posible y con insumos propios. Hoy, el suelo de nuestras camas de cultivo tiene propiedades físicas, químicas y biológicas propias de un suelo sano y fértil.

Como resultado del tratamiento del suelo, el registro histórico que tenemos de los análisis con cromatografía de Pfeiffer indica que el suelo ha tenido una evolución positiva a lo largo del tiempo.

Cultivo de agua

El agua es transporte de vida, sin embargo su disponibilidad es cada vez más limitada. El manejo integral del agua que tiene El Humedal hoy le permite capturar 250 mil litros de agua, de los cuales 130 mil se almacenan, esta es el agua que se usa para el riego del huerto, para los procesos del laboratorio y para consumo humano (en El Humedal se bebe agua de lluvia) y el resto se infiltra o libera al drenaje municipal.

En lo que se refiere al agua residual, limpiamos 4,500 litros al día mediante un proceso de tratamiento combinado (Planta de Tratamiento de Agua Residual y humedal artificial) cuya duración promedio va de los 4-6 días. El agua que sale del humedal se contiene en otro espacio al que se le conoce como Estanque profundo y de ahí comienza un camino de recirculación alrededor de la propiedad hasta reintegrarse de nuevo con el agua del humedal, en su etapa final.

Para asegurar la calidad del agua que transita en El Humedal se hacen análisis:

- Microbiológicos
- Físicoquímicos
- De macroinvertebrados (Marín Ortega, s.f.)

Los análisis microbiológicos y fisicoquímicos se hacen de diferentes puntos de agua para conocer la eficacia de cada uno de los procesos y la evolución en el tratamiento. Así, por ejemplo, como resultado de los análisis hechos en 2023, se concluyó que el sistema combinado de tratamiento de aguas residuales cumple su función eficientemente en cuanto a la reducción de Coliformes (99.90%) y E. coli (100 %), así como en la retención de contaminantes minerales.

Por su parte, el muestreo de macroinvertebrados ese mismo año arrojó un puntaje de 153 puntos, lo que atribuye a las aguas del humedal la categoría de Aguas de excelente calidad. Sumado a estos muestreos, hacemos observación y estudio a otras especies que viven en los cuerpos de agua, como los peces, las ranas y las tortugas (Figura 4).

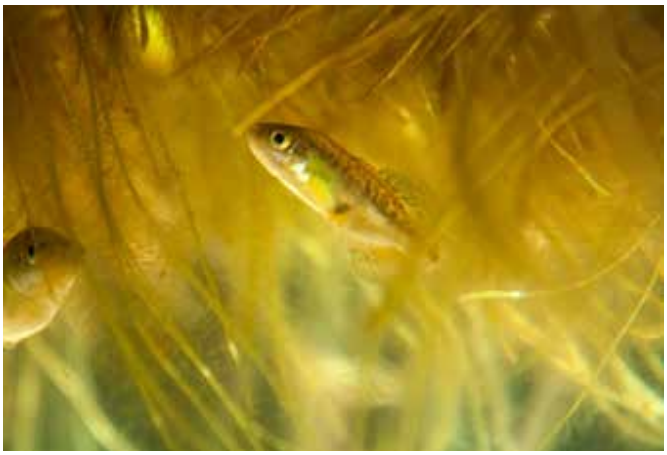


Figura 4. Además de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que hacemos, hay bioindicadores que nos informan sobre la salud de nuestro sistema. Para conocerlos hacemos muestreo de macroinvertebrados y monitoreo de los peces y tortugas que ahí viven.

Compartir conocimiento

Más que programas de educación ambiental, El Humedal apuesta por compartir conocimiento en el entendido de que las personas y los grupos sociales ya tienen un conocimiento en sí y ciertas inquietudes, que es lo que les motiva a visitar nuestras instalaciones. Por eso El Humedal no se promueve como un centro turístico de puertas abiertas, sino como uno de investigación e intercambio de saberes ambientales.

Durante todo el año compartimos este conocimiento de diferentes maneras, principalmente:

- Visitas presenciales
- Participación en foros y conferencias
- Sitio web y redes sociales
- Publicación de artículos de investigación en revistas académicas

Cultura hídrica de El Humedal

El Humedal entiende la cultura hídrica como una cualidad a partir de la cual las personas nos hacemos responsables del acceso y uso que hacemos del agua. La cultura está relacionada con el cultivo y después con la cosecha.

Así, cuando cultivamos el agua, no solamente la capturamos del cielo o la pasamos por una planta de tratamiento, sino que la reconocemos como el vínculo primordial que tenemos con el planeta al ser el transporte universal de vida.

Para que esa cultura del agua sea posible, El Humedal autogestiona su recurso hídrico y al mismo tiempo, se ha convertido en un espacio vivo de aprendizaje en donde personas de diferentes edades y con distintos intereses se han nutrido con la memoria de este lugar.

Uno de los programas más importantes que aporta a esto es el que se tiene con la Escuela Secundaria Oficial Lic. Adolfo López Mateos (Figura 5), cuyas aguas residuales son las que alimentan nuestro sistema. Este programa tiene su principio en la relación directa que tenemos con la escuela, por lo que es fundamental que toda la comunidad educativa conozca el proceso para hacer un uso adecuado de los sanitarios y utilice solamente productos de limpieza biodegradables. Como resultado, el agua que recibimos tiene la calidad que requiere la planta de tratamiento para operar correctamente.



Figura 5. Uno de los programas de educación más importantes que tenemos es el de la Secundaria Oficial Lic. Adolfo López Mateos, cuyas aguas residuales entran en nuestro sistema combinado de tratamiento de agua para regar el bosque y regresar agua limpia a Valle de Bravo.

A partir de 2023, este programa se lleva a cabo de forma colaborativa con CICEANA (Centro de Información y Comunicación de Norte América), atendiendo a un promedio de 100 estudiantes por ciclo escolar; además de éste, El Humedal tiene otros programas de vinculación con instituciones de educación superior como el Tecnológico de Valle de Bravo y la Universidad del Medio Ambiente, y en 2024 diseñó un programa de cultura hídrica que pretende adherirse al plan integral de manejo de agua en la comunidad de La Huerta de San Agustín, localidad ubicada en Valle de Bravo.

Estas actividades puntuales se suman a las que llevamos a cabo de manera permanente con la recepción de visitas escolares (de todos los niveles educativos), institucionales y gubernamentales que acuden al centro con la finalidad de conocer más sobre nuestro proceso para el manejo integral del agua y recibir asesoría para implementarlo en sus propios proyectos.

Economía del agua

Un aspecto a tener en cuenta en relación con el quehacer de El Humedal es su forma de entender y practicar la economía. En este sentido, proponemos una nueva forma de entender la economía trascendiendo las prácticas tradicionales y extractivistas. Así, nos centramos en un modelo de economía circular y regenerativa que considera al planeta como un socio vital en lugar de un recurso a explotar.

Para ser congruentes promovemos la acumulación de riqueza energética y material, asegurando que no solo se utilicen los recursos naturales sino que también se les regenere. Esto implica que reutilicemos y reintegremos lo que podría considerarse “desperdicio” para convertirlo en un recurso que pueda seguir alimentando los ciclos naturales.
La regeneración económica local debe facilitar la creación de sistemas que permitan a las comunidades ser autosuficientes y resilientes; y que, una vez afianzada esta autosuficiencia, compartan sus estrategias para el manejo de los recursos naturales, en este caso del agua. De esta forma se puede asegurar que las fuentes locales no solo se mantengan, sino que también se fortalezcan y se repliquen. Como resultado, se pueden conservar los recursos y generarse nuevas oportunidades económicas en torno a la gestión sostenible del agua, agricultura regenerativa, y otras prácticas que alinean el bienestar humano con la salud del ecosistema.

El enfoque de El Humedal desafía los paradigmas económicos tradicionales al proponer un sistema en el que el valor se mide no sólo en términos monetarios, sino en términos de vida y bienestar tanto para las personas como para el planeta. Así, es posible contribuir a una economía que prioriza la regeneración de los recursos y la vida en todas sus formas, más que el crecimiento monetario.

El Humedal en espiral

El Humedal propone a la humanidad que se reconozca como expresión de la naturaleza y que diseñe soluciones basadas en ella. Al hacerlo podremos hacernos conscientes de que estas soluciones tienen el potencial de trascender los límites de un proyecto aislado y emerger desde su centro la energía para replicarse en otros territorios con otras comunidades.

Ahora, luego de 10 años haciendo investigación sobre el suelo y sobre el agua, y de haber trabajado en colaboración con la comunidad inmediata de El Humedal a través de la escuela, la clínica y las casas que nos brindan su agua residual para limpiarla, la propuesta de El Humedal emprende un camino que le permite replicarse en otros proyectos con la comunidad extendida en Valle de Bravo, en el Estado de México; poco a poco en el país y, quizá en un futuro deseado, en el mundo (Figura 6).



Figura 6. El Humedal basa su propuesta en la observación de los sistemas vivos y sus dinámicas, considerando que para que la propuesta sea regenerativa necesita sostenerse en el tiempo y encontrar la forma de expandir su forma de expresión.

Conclusión hacia una gestión integral del agua en la Megalópolis de México

México, como gran parte del mundo, enfrenta una crisis hídrica que exige abandonar prácticas extractivistas y adoptar un enfoque regenerativo que favorezca la colaboración con los ecosistemas, implementando soluciones basadas en la naturaleza. A lo largo de este texto se ha expuesto que un manejo integral del agua con este enfoque puede ser fundamental para enfrentar la escasez hídrica y equilibrar las dinámicas socioambientales rurales y urbanas.

En este caso, El Humedal propone una gestión hídrica que considere la captación pluvial, el tratamiento combinado de aguas residuales y la apropiación de conocimiento sobre prácticas ambientales mediante programas de sensibilización ambiental.

Sin embargo, para lograr una transformación más significativa es necesario que se adopten este tipo de soluciones a mayor escala, fomentando una cultura hídrica sustentable desde la conciencia colectiva del agua como transporte de vida.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo.

Problemáticas	Oportunidades
Afectación a los sistemas hídricos naturales en la Megalópolis	Implementación de tecnologías inspiradas en sistemas de manejo hídrico prehispánico
Acceso inestable de agua en la Megalópolis	Sistema de captación pluvial, especialmente en zonas vulnerables
Contaminación de suelo y mantos freáticos por falta de manejo de aguas grises y residuales.	Ubicar espacios en donde se puedan crear humedales artificiales que contribuyan al tratamiento de aguas grises y contaminadas. Instalación de plantas de tratamiento comunitarias que den tratamiento a aguas residuales.
Inundaciones frecuentes en la Megalópolis	Reforestaciones urbanas y creación de parques de absorción que permitan la infiltración de agua en el suelo para prevenir inundaciones.

Referencias bibliográficas

CONAGUA. (2005). Sistema Cutzamala: Agua para millones de mexicanos. Consultado el 10 de octubre de 2024 en www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/sistema-cutzamala.pdf

CONAGUA (2009). Semblanza Histórica del Agua en México. Consultado el 10 de octubre de 2024 en https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-28SemblanzaHist%C3%B3ricaM%C3%A9xico.pdf

CONAGUA (2015). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Villa Victoria-Valle de Bravo (1505), Estado de México. Consultado el 29 de noviembre de 2024 en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/103136/DR_1505.pdf

CONAGUA (s.f.). "Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia." En Servicio Meteorológico Nacional. Consultado el 29 de noviembre de 2024 en https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias.

Cortés-Núñez Kenia, López-Guerra Gonzalo, Costilla-Villanueva Daniel. (2017). Abastecimiento de agua potable en "La Zona Metropolitana del Valle de México. Consultado el 10 de octubre de 2024 en www.ingenieria.unam.mx/javica1/Plan-Proyectoteca/Proy_Plan-2017-1/Abastecimiento%20Agua%20Zona%20Metropolitana%20ValledeMexico.pdf

Frías, L. (2018). Agua de lluvia, una posibilidad lejana. Gaceta UNAM. Consultado el 10 de octubre de 2024 en www.gaceta.unam.mx/crisis-agua-lluvia/

González Cabello, C. (2016). El primer desagüe colonial en los lagos de la cuenca de México. HistoriAgenda, (31). Consultado el 10 de octubre de 2024 en www.revistas.unam.mx/index.php/historiagenda/article/view/57072

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2020). Censo de Población y Vivienda 2020, México: INEGI.

López-Espinoza E.D., Herrera-Moro D.R., Gómez-Ramos O., Zavala-Hidalgo J., NoveloCasanova D.A., Fuentes-Mariles O.A. (2022) Atlas del comportamiento de la precipitación para la ZMVM: Reporte descriptivo. Consultado el 29 de noviembre de 2024 en https://atlas.atmosfera.unam.mx/docs/documents/reporte_descriptivo_Atlas.pdf

Marín Ortega, Valentín y Marivel Hernández Téllez. (s.f.) Guia de macroinvertebrados acuáticos de México: indicadores de la calidad de agua. UAEM-CIRA

Pfeiffer, E. (1984). "Chromatography applied to quality testing". Wyoming, Rhode Island: Biodynamic Literature

Sierra-López, Nancy, Romero-Contreras, Alejandro Tonatiuh, & Zizumbo-Villarreal, Lilia. (2012). Desarrollo regional, electrificación y reorganización socioespacial en Valle de Bravo, México. Revista pueblos y fronteras digital, 7(13), 243-269. Consultado el 29 de noviembre de 2024 en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-41152012000100009&lng=es&tlng=es.

Desarrollo regional, electrificación y reorganización socioespacial en Valle de Bravo, México

Sowińska- Świerkosz, B. & Joan García (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. Nature-Based Solutions, Vol. 2, pp.1-2. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100009

40 Megalópolis: desigualdad y olvido más allá de la Ciudad de México

Marian Herrera Carlos.[1]

[1]Sociedad Civil. mariahe24@gmail.com.

Resumen

Este texto muestra que la crisis hídrica de la Megalópolis se extiende más allá de la Ciudad de México y el Estado de México, afectando a los otros estados que la conforman. La crisis impacta de manera diferente a las mujeres y comunidades rurales, teniendo un valor cultural que se invisibiliza. Se presenta un análisis con un enfoque integral que considere las desigualdades, infraestructura y normativas que garantice el acceso justo para todos.

Introducción

La megalópolis se extiende más allá de los límites de la Ciudad de México y el Estado de México, a menudo los problemas hídricos se centran en la capital y medianamente el Estado de México, sin embargo, no muchos relacionan el nombre de la metrópoli con los estados de Hidalgo, Querétaro, Puebla, Morelos y Tlaxcala, claramente entre todos ellos comparten las mismas problemáticas, pero son las perspectivas, las vivencias y el valor espiritual hacen la diferencia.

La valoración del agua requiere la construcción de diferentes escalas, si tomamos en cuenta esta palabra podría ayudarnos a avanzar hacia un acceso equitativo y justa del agua (IMTA, 2021). Considerando esto se hace una realidad que las problemáticas hídricas tienen más peso cuando se trata de una zona urbana a una zona rural, ciertamente no le damos la importancia y es ahí donde nos evita empatizar con las problemáticas de los otros estados que conforman la Megalópolis.

La ONU mediante un informe sobre el derecho humano, destaca la brecha entre las estadísticas oficiales y la realidad que viven muchas personas en México en relación con el acceso al agua. En este señala que, a pesar de las cifras que indican un alto porcentaje de acceso, existen comunidades que enfrentan dificultades para obtener agua potable, especialmente en las zonas rurales e indígenas. Resaltando la importancia de considerar la desigualdad y el olvido en la gestión del agua. (Heller, 2017)

El agua es vida en la naturaleza, en la sociedad y en la cultura. La cultura hídrica conforma un proceso de producción, actualización y transformación individual y colectiva de valores, creencias, percepciones, conocimientos, tradiciones en relación con el líquido en la vida cotidiana (Secretaría del agua, s.f.) Considerando estos términos acentúa una problemática la falta de reconocimiento de la importancia cultural del agua en comunidades rurales que desencadenan otras problemáticas; por ejemplo, en Querétaro, la urbanización desmedida y la sobreexplotación de los acuíferos ponen en riego el legado cultural, como la gestión comunitaria (Universidad autónoma de Romero, 2021).

La sobreexplotación del agua en la Megalópolis no solo escasea y agota el recurso, por ejemplo, casos como el acuífero del Valle de México, de Querétaro o los acuíferos de la cuenca del Río Balsas (CONAGUA, 2021). Hay consecuencias de esta sobreexplotación, tal vez no los veamos, pero sin duda están presentes; como los hundimientos, salinización, disponibilidad del agua y conflictos por el agua.

La escasez de agua en la Megalópolis tiene un impacto desproporcionado en las mujeres, ya que a menudo son las responsables junto con las niñas de la recolección y gestión del agua en el hogar, esto limita su tiempo para dedicarse a la educación, el trabajo o el ocio (Cuéllar, 2024). Está situación prolonga la desigualdad ya existente y limita las oportunidades de desarrollo de las mujeres, las estadísticas conforme a esto es que en México el 64% de las mujeres y niñas realizan esta labor en comparación a los hombres en un 36%. En muchas comunidades rurales de la región, las mujeres deben caminar largas distancias para obtener el agua que muchas veces puede que llegue o no y las condiciones que llegue el recurso. (N+, 2024). (Figura 1) En muchas comunidades rurales e indígenas, las mujeres deben caminar largas distancias para obtener agua, lo que puede tener graves consecuencias para su salud. El acarreo de agua puede provocar problemas de salud física, como dolores de espalda y lesiones. Además, la falta de agua potable y sa-

neamiento adecuado aumenta el riesgo de enfermedades gastrointestinales, infecciones y complicaciones en el embarazo y el parto. (ONU Mujeres, 2016).

La falta de disponibilidad constante, así como el aumento de las tarifas, así como los cortes del suministro, la privatización y los mega proyectos. Las zonas rurales y urbanas presentan un suministro irregular y mala calidad del agua, las mujeres y niñas destinan mucho de su tiempo para acarrearla, hervir el agua, filtrarla y hacer las gestiones en el hogar; eso implica una ampliación de su jornada de trabajo sumada al trabajo doméstico. Por ejemplo, en la Alcaldía Iztapalapa las mujeres se levantan a las 4:00 am para ir a las Garzas a formarse y anotarse en la lista para la entrega del agua en pipas o a veces el suministro llega en las madrugadas lo que implica tener que levantarse para poder hacer sus labores domésticas. (López, s.f.).

Estas problemáticas se entrelazan con la falta de reconocimiento cultural del agua; mientras en las comunidades rurales con conexión y respeto por el agua, sufren desigualdad, sobreexplotación y contaminación de sus recursos, mientras sectores más privilegiados gozan del servicio interrumpido.

Se observa está diferencia en la Ciudad de México, mientras colonias acomodadas rara vez experimentan los cortes de agua, en las zonas periféricas o marginadas padecen de estos recortes, las afectaciones pueden poner en peligro el funcionamiento de actividades económicas que está ligado a la disponibilidad del agua (Núñez, 2024).

Aunque la Megalópolis en su conjunto enfrenta una grave crisis hídrica, existen estados dentro de esta presentan una situación aún más crítica. Un ejemplo de esto es el del estado de Hidalgo, donde la disponibilidad de agua para consumo humano es una de las más bajas del país, datos del INEGI (2020), Hidalgo tiene la menor proporción de suministro diario de agua de 0.01 litros por habitante. Además, que Pachuca tiene una de las tarifas de agua más caras del país. Como son las mujeres que gestionan el recurso, este al tener altos costos de las tarifas que obligan a dedicarles más tiempo en la recolección. (Sotelo, 2023)



Figura 1 Imagen que muestra parte de la problemática por la escasez de agua en el Estado de México.

A pesar de todas las situaciones presentadas, la megalópolis de México tiene el potencial de convertirse en un modelo de gestión hídrica sostenible en el futuro (ver Tabla 1). La colaboración entre gobiernos, instituciones académicas y la sociedad civil es esencial para desarrollar soluciones innovadoras que garanticen un suministro adecuado, equitativo de agua. Algunas de las que se proponen incluyen la incorporación de conocimientos ancestrales en la gestión del agua, la creación de consejos ciudadanos para la gestión del agua, la promoción de la participación de las mujeres en la toma de decisiones, la mejora de la infraestructura hidráulica en zonas rurales, la implementación de programas de educación ambiental, entre otras. La transformación de estos retos en oportunidades dependerá del compromiso continuo y la acción coordinada de todos los actores involucrados.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 1 Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México.

Problemáticas	Oportunidades
Existe una desvinculación entre la mayor parte de la población sobre la cultura del agua.	Incorporar la educación ambiental sobre el cuidado del agua en el sistema educativo, con énfasis en un enfoque espiritual.
Falta de coordinación entre los diferentes sectores (comunidades, población, sector privado y gobierno)	Crear un consejo ciudadano con representantes de todos los sectores, que se reúna periódicamente para discutir los problemas del agua y proponer soluciones.
Falta de participación de las mujeres en la toma de decisiones sobre la gestión del agua.	Implementación de programas de capacitación para mujeres en liderazgo y gestión del agua que sean accesibles tanto ´para las zonas rurales como urbanas.
Riesgo de violencia para las mujeres al tener que recorrer largas distancias para poder obtener el recurso.	Mejorar la infraestructura de agua en zonas rurales, incluyendo la construcción de pozos, sistemas de captación de lluvia y alumbrado público en los puntos de acceso.
Falta de políticas públicas con enfoque de género.	Implementar políticas públicas para la gestión incorporando un enfoque de género y en ellas se reconozcan las necesidades específicas de las mujeres.
Desigualdad en el acceso del agua.	Implementar un sistema de tarifas de agua progresivas y que estas consideres la capacidad de pago de las familias.
Infraestructura deficiente que limita el acceso al agua.	Priorizar zonas con mayor necesidad, así como fortalecer la infraestructura hidráulica junto a la participación ciudadana.
La demanda del agua es superior a la disponibilidad.	Promover el uso eficiente del agua en todos los sectores (agricultura, industria, doméstico) a través de programas de concientización de manera prácticos.

Referencias bibliográficas

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2021). Estadísticas del agua en México. https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM%202021.pdf

Cuéllar, Alejandra. (2024). Sequía en México: tres proyectos locales brindan soluciones. Dialogue Earth. Agua. https://dialogue.earth/es/agua/389449-sequia-en-mexico-tres-proyectos-locales-brindan-soluciones/

Chaves, López, Natalia. (2021). La valoración del agua desde la diversidad cultural. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Núm. 11. https://www.gob.mx/imta/articulos/la-valoracion-del-agua-desde-la-diversidad-cultural?idiom=es

Heller, Leo (2017). Informe del Relator Especial sobre los derechos humanos al agua potable y el saneamiento Misión a México. Naciones Unidas. Consejo de Derechos Humanos. http://ap.ohchr.org/documents/dpage_e.aspx?si=A/HRC/36/35/Add.1

López, Valdés, Néstor. Rodríguez, Herrera, Brenda. (s.f.). El derecho humano al agua y la desigualdad de género en México. Cienciorama UNAM. http://www.cienciorama.unam.mx/a/pdf/616_cienciorama.pdf

ONU Mujeres. (2016). Agua y género: Una perspectiva Latinoamérica y caribeña. https://www.google.com/url?sa=E&source=gmail&q=https://lac.unwomen.org/es/digiteca/publicaciones/2016/11/agua-y-genero&authuser=1

N+. (2024). ¿Por qué las mujeres y niñas son las mas afectadas por falta de agua? https://www.nmas.com.mx/foro-tv/programas/a-las-3/videos/porque-mujeres-ninas-son-mas-afectadas-falta-agua/

Núñez, Manuel, Juan. (2024). La CDMX vive tiempos de escasez hídrica y desigualdad en el suministro del agua. CENTRUS. https://centrus.ibero.mx/index.php/2024/01/31/la-cdmx-vive-tiempos-de-escasez-hidrica-y-desigualdad-en-el-suministro-de-agua/

Secretaría del agua. (s.f.). Cultura Hídrica: El agua es un recurso de vital importancia. https://agua.edomex.gob.mx/sites/agua.edomex.gob.mx/files/images/CulturaHidrica/Blog/CulturaHidrica-2.pdf

Sotelo, Núñez, Esthela I. (2024). Agua, desigualdad y medio ambiente en México: reflexiones desde la UAM Xochimilco sobre un problema creciente. Revista Ciencia. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/75_2/PDF/14_75_2_1618_DesdeUAM.pdf

Romero, Herrera, Claudia E. (2021). El agua en la encrucijada de lo común: Análisis del manejo político cultural del agua en la Eco zona Metropolitana de Querétaro 1. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de filosofía. https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/2820/1/RI005866.pdf

41 Educación ambiental y ecociudadania: dimensiones claves para la promoción de la cultura del agua en la ciudadanía de la megápolis

Stephanie Segura-Espinosa[1]

[1]Tlalli Colibrí: Laboratorio de Educación ambiental para la vida (tejiendoea@gmail.com)

Resumen

El ensayo trata de replantear el tema de la crisis del agua en las ciudades desde un enfoque cultural y democrático, donde se promueva la gobernanza del agua mediante la participación comunitaria y el cambio cultural hacia la equidad y justicia ambiental. Se destacan los desafíos que enfrenta la Ciudad de México (CDMX) debido a su urbanización, especialmente en la gestión del agua, donde la infraestructura obsoleta y la gestión sin involucramiento de la ciudadanía en las tomas de decisiones, afectando principalmente a las zonas más vulnerables. Se propone la educación ambiental urbana y la ecociudadanía como enfoques transformadores para abordar estos desafios. La educación ambiental fomenta la conciencia ecológica en contextos urbanos, mientras que la ecociudadanía promueve la participación activa en la toma de decisiones desde una perspectiva crítica, ética y política. Así mismo, buscan construir una ciudadanía comprometida con la sostenibilidad y una cultura del agua que integre valores sociales y ecológicos para enfrentar la crisis hídrica en megápolis, como lo es la Ciudad de México.

Introducción

El cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la contaminación ambiental y la crisis del agua son consecuencias derivadas de la actividad humana (antropogénica) dentro un modelo socioeconómico que desafía la vida del planeta. Dentro de esta crisis planetaria, las ciudades tienen un papel importante porque, aunque ocupan solo el 3% de la superficie terrestre, representan entre el 60% y 80% del consumo de energía y son generadoras del 70% de las emisiones de carbono, uno de los gases causantes del calentamiento global (CODS,2020).

Por ello, es importante reconocer a las ciudades como socioecosistemas, dado que contienen aún ricos y prósperos focos de especies y hábitats naturales urbanos que proporcionan una gama de importantes servicios ecosistémicos que son fundamentales para la sustentabilidad y la vida de las ciudades.

Con la creciente urbanización en las ciudades principales del mundo, estos socioecosistemas experimentan múltiples crisis y desafios en sus servicios ecosistémicos, especialmente en el Sur Global, como es el caso de la Ciudad de México.

La Ciudad de México (CDMX) está considerada a escala nacional e internacional, como una ciudad con un buen desempeño en el ámbito ambiental y de vida comunitaria (Dieleman, 2016), donde se desarrollan y existen diversas acciones encaminadas a enfrentar los problemas ambientales, tanto globales como locales.

Uno de los problemas ambientales que enfrenta la CDMX y sus zonas circundantes es la crisis del agua, situación que resulta paradójica pensar en un lugar donde sus orígenes fueron construidos sobre un inmenso lago y ahora presenta una realidad donde el 40% del agua de la capital se pierde en fugas debido a la antigüedad de las tuberías y falta de mantenimiento de la red de sistemas de agua, golpeando a las zonas más vulnerables de la capital, que son densamente más pobladas y sin acceso a servicios de suministro de agua, como lo es el caso de las alcaldías Iztapalapa, Iztacalco y Venustiano Carranza (Barragán, 2024).

Los retos de la gestión y suministro del agua son diferentes de acuerdo con el tamaño y formas de las ciudades (Jimenez-Cisneros, 2014). En el caso de una megápolis, como es el caso de la Ciudad de México, son espacios donde habitan más de 10 millones de personas, con una alta densidad poblacional y edificios elevados, donde no solo implica conseguir la densidad de demanda de agua sino obtener la energía para suministrarla donde se requiera, además de los impactos del agua residual que producen (Jimenez-Cisneros, 2014).

Muchas de las propuestas para atender estos retos parten desde una visión tecnológica como el uso de energías renovables para edificios, sistemas e infraestructuras para el acceso y distribución de los servicios, como es el agua, donde muchas veces estas acciones no contemplan la visión social donde se involucren a iniciativas tanto institucionales como comunitarias para promover la participación de la ciudadanía (Dieleman, 2017) hacia cambio culturales y sociales hacia el cuidado del agua y en la toma de decisiones donde se reconozcan sus contextos socioculturales, económicos y alternativas de modos de vida comunitaria en respuesta a las múltiples crisis, como es el acceso al agua en sus territorios.

Es necesario aproximarse a nuevos enfoques que nos hagan repensar las formas de hacer ciudad y formar una ciudadanía para y por la vida, como lo son la educación ambiental urbana y la ecociudadania. Ambos enfoques brindan dimensiones para la formación y promoción de la participación de una ecociudadania que fortalezca de nuevos sistemas de gobernanza colaborativa para la gestión integral del agua, donde se articule los ciclos socioculturales y naturales en la acción colaborativa por el cuidado y manejo del agua.

Educación ambiental urbana

A medida que las ciudades crecen, surge la necesidad de replantear la toma de decisiones en torno al diseño y la construcción de estas desde una perspectiva de resiliencia comunitaria y sustentabilidad urbana. La educación ambiental desempeña un papel fundamental para repensar la vida de las ciudades.

La educación ambiental urbana se puede llegar a definir como toda educación ambiental que se realice en las ciudades (Tidball y Krasny, 2010). Frank et. al. (1994) sugieren tres enfoques en la educación ambiental urbana: 1) estudios del entorno natural (inventarios de aves urbanas, árboles e insectos); 2) estudios del entorno construido (comprensión de cuestiones relacionadas con el tratamiento de aguas y residuos en ciudades); y 3) proyectos de acción y aprendizaje de servicios (investigación de problemas ambientales y acción comunitaria). Estos enfoques dan respuesta a los retos que se van transitando en la ciudades, para ir trazando otra mirada a lo que se refiere ciudad. Un lugar social por excelencia, mercado de intercambios, foros de discusión de ideas, fábrica de innovación cultural, caldo de cultivo de alternativas, ámbito de convivencia diversa y plural, en continua transformación comunitaria (Franquesa, 1997).

La educación ambiental debe tener siempre presente el contexto local e incorporar conocimientos científicos y tecnológicos avanzados de la ecología social urbana para marcar una diferencia significativa, alentando a los residentes a preocuparse por su ambiente y brindándoles los conocimientos y alternativas sobre cómo actuar. (Maddox et. al., 2016). También se requiere cultivar una educación ambiental más inclusiva y afectiva para generar transformaciones que apunten hacia un nuevo paradigma. Este paradigma, encaminado a la transformación socioecológica, presupone una gran cantidad de retos, ya que se requiere el desarrollo de habilidades bajo ciertas características y contextos que permitan impulsar la creatividad social para resolver los grandes problemas a los que nos enfrentamos como humanidad (Capra, 2007; Cundill, 2010).

Aunque la educación ambiental urbana es un campo poco explorado, existen algunos proyectos de educación ambiental que reconocen estos retos y desafíos, y están en la búsqueda de caminos sobre los cuales basar su devenir educativo. La generación de caminos, desde una postura crítica y transformadora, conduce en muchos casos, al desapego de la enseñanza institucionalizada y va de la mano con la creación de nuevas dinámicas de aprendizaje (Gonzáles- Hernández et. al., 2015), colaboración y transformación desde la vida comunitaria en las ciudades.

Así mismo, explorar alternativas en la formación de ciudadanas y ciudadanos activos para no solo superar la situación socioecológica actual, sino también establecer modos de vida motivados por transformaciones que vinculen lo común y lo diverso con pautas de cuidados y afectos hacia la construcción de una democracia (Limón-Domínguez et al., 2019). Estas transformaciones deberían favorecer los principios e identidades de un vivir juntos donde se reconozca la naturaleza como un sujeto de derecho (Sauvé, 2017).

La ecociudania y sus dimensiones

En el marco actual marcado por la agitación de los múltiples movimientos sociales en respuesta a las problemáticas socioecológicas, como la cirsis del agua, el papel de la educación en la formación de las ciudadanas y los ciudadanos adquiere una importancia crucial. En este escenario, es imperativo que la ciudadanía observe, aprenda y fomente los saberes que surgen dentro de estas dinámicas sociales activas. Esto contribuirá al desarrollo de una inteligencia colectiva capaz de comprender y abordar la resolución de las problemáticas en los territorios, basándose en los principios de una democracia participativa (Sauvé, 2014).

La ecociudadanía es un proyecto social que trasciende la resolución de problemas y la gestión ambiental, orientándose hacia la formación de ciudadanas y ciudadanos arraigados en el territorio (Sauvé, 2017) con el propósito de participar activamente en la toma de decisiones dentro de los espacios y comunidades a los que se pertenece (Sauvé, 2014).

En otras palabras, Sauvé (2017) define a la ecociudadanía como una ciudadanía consciente de las relaciones íntimas entre la sociedad y la naturaleza: se trata de una ciudadanía crítica, creativa y comprometida, con la capacidad y el deseo de participar en debates públicos y contribuir a la transformación de las políticas y prácticas ecosociales.

Para desarrollar la ecociudadanía, la Educación ambiental apunta a enriquecer el ser-en-el-mundo, como identidad y compromiso político en la construcción de un "vivir juntas y juntos AQUÍ" (Sauvé, 2014) a través de tres dimensiones principales (Sauvé, 2017) (Ver figura 1):

1. Crítica: Facilita la desconstrucción de las realidades y discursos socioecológicos mediante la capacidad de análisis y el reconocimiento de la incertidumbre, así como la diversidad de visiones y argumentos posibles sobre un fenómeno o situación (Sauvé, 2014).

La pregunta crítica por excelencia es "¿por qué?" En la crítica social se suman "¿quién decide qué?" y "¿en nombre de quién?", con el propósito de abordar las relaciones de poder en los asuntos socioecológicos para contrarrestar la alienación y la opresión y orientándose hacia la emancipación, la equidad y la justicia social y ambiental (Sauvé, 2014). El cuestionamiento es igual de reflexivo acerca de las formas de vivir juntos aquí, ya que no solo es suficiente el saber actuar, sino que también es necesario desarrollar y apropiarse de un deseo y la capacidad de actuar frente a situaciones que requieren un cambio. La idea de lo "crítico" evoca la de un cambio importante en la emancipación personal y colectiva (Sauvé, 2014).

2. Ética: Corresponde a la capacidad de identificar los valores subyacentes a los discursos y a las prácticas dominantes dentro de un sistema de valores que permita contrarrestarlos con otras opciones posibles (Sauvé, 2014). Aprender a reflexionar, discernir, escoger, afirmar y comprometerse en una acción coherente por nuestros propios valores individuales y colectivos.

La dimensión ética permite las preguntas ¿por qué? Y ¿para qué? Que ayudan a reconocer y comprender las formas de respuesta en la toma de decisiones y motivan a la acción colectiva en cuestiones socioecológicas, así como en la construcción coherente de nuestra postura ética. Esta faceta de la ecociudadanía nos invita a reflexionar profundamente sobre nuestra postura como ciudadanas y ciudadanos en nuestro contexto y territorio.

3. Política: Contribuye a identificar, analizar y reinterpretar las dinámicas de poder que están presentes en las realidades socioecológicas de las ciudadanas y ciudadanos de un territorio. Este proceso se lleva a cabo tanto en la acción colectiva como en las actividades cotidianas, con el propósito de reconstruir una identidad socioecológica que ayude a posicionar nuestro "ser-en-el-mundo". Busca fomentar el sentido de pertenencia al medio de vida que anhelamos y cultivar el compromiso político en la acción colectiva para lograr un "vivir juntas y juntos AQUÍ" (Sauvé, 2014).

Las preguntas que nos acercan a los saberes de la dimensión política pueden ser: ¿qué aprendemos?, ¿qué tipos de saberes construimos?, ¿cómo aprendemos? Y ¿por qué aprendemos? (López et al., 2017).

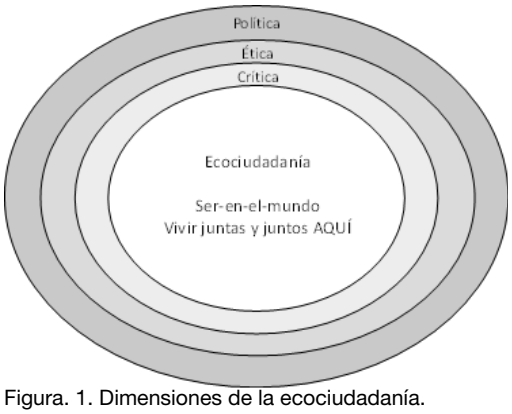


Figura. 1. Dimensiones de la ecociudadanía.
(Elaboración propia)

La praxis de la educación ambiental entrelaza las tres dimensiones, estimulando y sosteniendo los saberes, aprendizajes y acciones colectivas para inspirar a nuevas creatividades sociales, que a su vez enriquezcan la teoría y práctica de la corriente de la ecociudadanía.

En este contexto, se busca formar ciudadanas y ciudadanos con una mayor responsabilidad ambiental, mediante el estímulo de plataformas educativas que fomenten la participación, el diálogo y la incidencia política sobre las decisiones que afectan a sus territorios (Cárdenas, 2017).

La ecociudadania en la cultura del agua en la megápolis

La crisis del agua es una crisis de la vida, donde si no hay cambios culturales no puede darse en la gestión del agua (Vargas, 2006). La gobernanza del agua es la respuesta a la búsqueda de la descentralización del poder del Estado, donde se pretende un mayor empoderamiento de la sociedad en la toma de decisiones asociadas a los recursos hídricos mediante la generación de espacios de participación activa y autorregulación del tiene sus desafios, y se promueven nuevos patrones de legitimidad de la acción pública revalorizando la participación de actores no estatales (Sánchez et al. , 2018). Partiendo del entendimiento que los procesos ciudadanos casi siempre vienen desde abajo, desde los espacios comunitarios y populares, así como las sensibilidades y emocionalidad del significado y apropiación simbólica del agua en su cotidianidad, llevándonos hacia una cultura del agua (Gómez, 2012).

Todos los pueblos y comunidades humanas han tenido y tienen una cultura del agua intrínseca, que es todo lo que se hace con el agua, en el agua y por el agua. En lo cultural, se reconoce que todo lo sienten, piensan, dicen y hacen las personas e instituciones es cultura (Vargas, 2006).

Las dimensiones de la ecociudadania ofrecen saberes y acciones (ver Tabla 1) para que se fomente participación, el diálogo y la incidencia política de los diversos actores (Cárdenas, 2017) hacia una cultura democrática del agua como un movimiento social donde la toma de decisiones sobre el agua lleven a cambios culturales, éticos y políticos para y por la vida en las ciudades .

Tabla 1. Saberes y acciones de las dimensiones de la ecociudadania (Elaboración propia, 2023; Tomado de Sauvé, 2014)

Dimensiones	Saberes	Acciones
ÉTICA	Saber- ser Saber- hacer	Análisis éticos de discursos y posturas Respeto a lo diverso Disfrute de las manifestaciones de la vida Autenticidad y apertura a otros valores del " bien común" Crear ambientes participativos y solidarios
CRÍTICA	Saber- actuar Poder actuar	Análisis de situaciones Acercamiento a la información significativa Capacidad de curiosidad, coherencia y cuestionarse Construir marcos de demandas sólidos y válidos de una demanda, presentación y denuncia
POLÍTICA		Proponer alternativas Implementar acciones Sentido de pertenencia Sentido al poder hacer Recuperar la voz de la denuncia Actuar de manera coherente con su propia postura ética-política Poder resistir y crear

A modo de cierre

La crisis del agua requiere una transformación profunda en la forma en que concebimos y gestionamos las ciudades. En este contexto, la Ciudad de México representa un caso emblemático, enfrentando desafíos significativos en su gestión hídrica debido a su infraestructura obsoleta, alta densidad poblacional y desigualdad social.

Superar estos retos demanda un cambio cultural que integre enfoques innovadores como la educación ambiental urbana y la ecociudadanía. Ambos plantean la necesidad de formar ciudadanos críticos, éticos y comprometidos, capaces de participar activamente en la toma de decisiones desde una perspectiva colaborativa y democrática. Solo mediante la integración de valores socioecológicos, acciones comunitarias y gobernanza participativa será posible construir ciudades sostenibles y resilientes que reconozcan la naturaleza como un sujeto de derechos.

La dimensiones de la ecociudadania (critica, ética y política) proporcionan un marco esencial para reinventar las prácticas comunitarias, orientándolas hacia una identidad socioecológica y un compromiso ético-político hacia una cultura democrática del agua.

Es importante empezar a sistematizar las experiencias de las iniciativas colectivas urbanas tomando en cuenta su historia, sus actividades, retos y logros para retroalimentar los procesos y los nuevos horizontes de la gobernanza del agua y educación ambiental urbana más esperanzadora en los estilos de vida y las ecociudadanías de las urbes.

Problemáticas y oportunidades

Tabla 2. Problemáticas y oportunidades para la gestión integral del agua en la Megalópolis de México de acuerdo a lo presentado en este capítulo

Problemáticas	Oportunidades
Falta de formación de una ciudadanía activa y comprometida con sus realidades socioecológicas	Formación de la ecociudadania a partir de sus dimensiones para el impulso y fortalecimiento de su participación, incidencia política y creación de alternativas

Referencias bibliográficas

Barragán, A. (2024). La crisis del agua lleva al límite a Ciudad de México. El País. https://elpais.com/mexico/2024-06-16/la-crisis-del-agua-lleva-al-limite-a-ciudad-de-mexico.html#:~:text=%E2%80%9CCiudad%20de%20M%C3%A9xico%20pierde%20cada,de%20mantenimiento%20de%20la%20red.

Capra, F. (2007). Social learning: towards a sustainableworld. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Netherlands.

Cárdenas, R. (2017). Rescatar la educación ambiental para construir ecociudadanías: Escenarios del contexto costarricense en la educación pública en secundaria. Polisemia, 13(24), 73-86. https://doi.org/10.26620/uniminuto.polisemia.13.24.2017.73-86

Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible para América Latina. (2020). Ciudades sostenibles: un requisito necesario para enfrentar la crisis ambiental. Enlace: https://cods.uniandes.edu.co/catedra-nuestro-futuro-ciudades-sostenibles-manuel-rodriguez-becerra/#entry-content

Cundill, G.(2010). Monitoring social learning processes in adaptive comanagement: three case studies from South Africa. Ecology and Society 15(3): 28.

Dilema, H y Martinez, M. (2017). Las iniciativas ciudadanas sustentables en la Ciudad de México: fuerzas, debilidades y potencial para el largo plazo. Instituciones, Gobierno y Sociedad, Hermosillo, Sonora, México.

Dieleman, H. (2016). Agricultura urbana en la Ciudad de México; Equilibrio entrevalor ecológico, económico, social y simbólico. Diario de Limpiador Producción.http://dx.doi.org/10.10 16 / j.jclepro.2016.01 .082

Frank, J., M. Zamm, G. Benenson, C. Fialkowski, and K. Hollweg. (1994). Urban Environmental Education. The Environmental Education Toolbox, University of MI, Ann Arbor, MI, USA. 59 pp.

Franquesa, T. (1997). La ciudad, para mal y para bien. Retos y oportunidades en Educación Ambiental Urbana. Revista Ciclos, (2). pp. 3 -6.

Gómez, A. (2012). La Nueva Cultura del Agua y la Participación Social. Comisión Estatal del Agua de Jalisco. Colegio de Jalisco, México.

Gonzáles - Hernández, E., Stork, A., Escalante, I. y Mercon, J. (2015). Aprendizajes para la transformación socioecológica desde el huerto escolar. Educación Ambiental desde la Innovación, la Transdisciplinariedad e Interculturalidad, Tópicos Selectos de Educación Ambiental. pp. 127 – 137.

Jiménez- Cisneros (2014). Agua, ciudades y futuro. Ciudades Sustentables. Revista Ciencia. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/65_4/PDF/Agua.pdf

Limón-Domínguez, D., Ruiz-Morales, J. y Torres, C. (2019). Una ciudadanía activa para conseguir el desarrollo sostenible. En Dolores, Limón-Domínguez (dir.), Ecociudadanía. Retos de la educación ambiental ante los objetivos de desarrollo sostenible. OCTAEDRO, S.L. España.

López, L., Olaya, J. y Piñeros, I. (2017). Hacia una ecociudadania: identificación de lineamientos curriculares para la formación de la dimensión política de los estudiantes de primaria del colegio Policarpa Salavarrieta IED. Estudio de caso. [Tesis de maestría en Educación, Pontifica Universidad Javeriana]. Repositorio Institucional Javeriano. Colombia. https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/36154

Maddox, D. Nagendra, H. Elmqvist, T and Russ, A. (2016). "Environmental Education and Advancing Urbanization". The Nature of Cities Festival. https://www.thenatureofcities.com/2016/05/01/advancing-urbanization/

Sánchez, L, Boso, A., Montalba, R. y Vallejos-Romero, A. (2018). Gobernanza del agua y desafíos emergentes para estructuras normativas…e institucionales rígidas: un análisis desde el caso chileno. Revista del CLAD Reforma y Democracia, 70, 199-234.

Sauvé L. (2013). Saberes por construir y competencias por desarrollar en la dinámica de los debates socioecológicos. Revista Integra Educativa, 6(3), 65-87. Bolivia. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1997-40432013000300004

Sauvé, L. (2014). Educación ambiental y ecociudadanía. Dimensiones claves de un proyecto político-pedagógico. Revista Científica, 18(1), 12-23. Colombia. https://doi.org/10.14483/23448350.5558

Sauvé, L. (2017). Educación Ambiental y Ecociudadanía: un proyecto ontogénico y político. REMA – Revista Electrónica Do Mestrado Em Educação Ambiental, 261–278. Brasil. https://periodicos.furg.br/remea/article/view/7306

Tidball, Keith G. and Krasny, Marianne E. (2011). "Urban Environmental Education From a Social-Ecological Perspective: Conceptual Framework for Civic Ecology Education," Cities and the Environment (CATE). Volume 3: Iss. 1, Article 11. https://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol3/iss1/11

Vargas, R. (2006). Cultura y Democracia del Agua. Revista Polis. http://journals.openedition.org/polis/5140

El agua en la Megalópolis del centro de México se convierte, en su abundancia y escasez, en un crisol de problemas y oportunidades. Desde su surgimiento en los antiguos canales de Tenochtitlán hasta la transformación del espejo de los lagos en un continuo de concreto y asfalto alimentado por las redes de distribución modernas, la historia de esta gran urbe ha estado marcada por su relación con el agua. Hoy, la región enfrenta uno de los desafíos más apremiantes del siglo XXI: la gestión del agua, en una región que depende de recursos hídricos cada vez más limitados y cuya infraestructura hidráulica se ve sometida a presiones por el crecimiento urbano y los efectos del cambio climático.

Este libro nace de la necesidad de reflexionar y analizar cómo esta gran urbe, con su enorme complejidad socioeconómica y ambiental, maneja uno de sus recursos más vitales. En este contexto, la obra ofrece una reflexión crítica sobre los modelos actuales de distribución y uso del agua, identificando retos apremiantes y áreas de oportunidad para solucionar las demandas y problemas de una región que resguarda gran biodiversidad y conocimiento, y provee sustento para más de 35 millones de personas, la cuarta parte de la población mexicana. A lo largo de sus páginas, se profundiza en los sistemas de abastecimiento, distribución y consumo de agua en la Zona Metropolitana del Centro de México, un territorio vasto que, por su propia naturaleza, enfrenta complejas tensiones entre el crecimiento urbano y la conservación del entorno natural.

Una de las estrategias propuestas para atender el apremiante desafío de hacer efectiva la conservación de las funciones del sistema que naturalmente provee de agua, es el reconocimiento de la región como un Gran Bosque de Agua, que incluye las montañas boscosas desde la Sierra Nevada, hacia la Sierra del Chichinautzin, la Sierra de las Cruces, las Ciénegas del alto Lerma y el Nevado de Toluca, y continua hasta la Reserva de la Biósfera de la Mariposa Monarca. Así delimitada, esta región comprende ecosistemas fundamentales no sólo para la captación, filtración y suministro de agua, sino para el mantenimiento de muchos otros beneficios ambientales que hacen posible la existencia de una gran biodiversidad y, en última instancia, de la enorme megalópolis en la que actualmente se produce un 30% del producto interno bruto del país.

Los análisis y propuestas que aquí se presentan no sólo abordan las necesidades inmediatas de la metrópoli, sino que también invitan a pensar en un futuro sostenible, donde el acceso equitativo al agua, la conservación de los ecosistemas hídricos y el manejo responsable de este recurso fundamental sean la base de una ciudad más justa y resiliente. Porque el acceso al agua de buena calidad y en cantidad suficiente, un derecho humano esencial, implica que toda persona debería poder disponer de agua suficiente, salubre, aceptable y asequible, tanto en el acceso físico como el económico. Es por esto que a través de la investigación y el análisis, se busca promover un cambio de paradigma, donde el agua no sea solo un recurso a ser explotado, sino un patrimonio que debemos cuidar para el presente y el futuro.

Este libro es una invitación a toda persona que use el agua: ciudadanía, academia, tomadores de decisiones, población rural y urbana, a comprometerse con la causa del agua, a comprender la magnitud de este desafío y a contribuir, desde su ámbito de acción, a un uso más responsable y a su cuidado consciente. Sólo con la participación de todas y todos, con visión de largo plazo y políticas integrales, podremos garantizar que la relación con el agua en esta urbe se reconstruya en una cultura que reconozca y respete su valor. Bienvenidas y bienvenidos a este viaje de reflexión y acción por el Agua en la Megalópolis de México.