

# Agua para la vida



**UAEH**<sup>®</sup>  
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo



CONSEJO  
EDITORIAL

ISBN: 978-607-482-726-2



9 786074 827262

# Agua para la vida

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo  
División de Extensión de la Cultura



# Agua para la vida



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DEL ESTADO DE HIDALGO

Pachuca de Soto, Hidalgo, México  
2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Octavio Castillo Acosta

*Rector*

Julio César Leines Medécigo

*Secretario General*

Marco Antonio Alfaro Morales

*Coordinador de la División de Extensión de la Cultura*

*Presidente de la Feria Universitaria del Libro*

**Fondo Editorial**

Asael Ortiz Lazcano

*Director de Ediciones y Publicaciones*

Joselito Medina Marín

*Subdirector de Ediciones y Publicaciones*

Primera edición electrónica: 2023

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Abasolo 600, Col. Centro, Pachuca de Soto, Hidalgo, México, C.P. 42000

Dirección electrónica: editor@uaeh.edu.mx

El contenido y el tratamiento de los trabajos que componen este libro son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

ISBN: 978-607-482-748-4

Esta obra está autorizada bajo la licencia internacional Creative Commons Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada (by-nc-nd) No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para ver una copia de la licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.

Hecho en México/*Printed in Mexico*



**Este libro fue dictaminado por pares académicos.**

Se agradecen los comentarios y sugerencias del Cuerpo de Asesores ya que permitieron darle un mejor rumbo a esta publicación. De igual forma se agradece profundamente a los dictaminadores del proceso evaluador, que con sus observaciones y comentarios enriquecieron esta obra.

# Índice

<b>Presentación</b>	8
Dr. Octavio Castillo Acosta Rector	
<b>Bienvenida</b>	10
Mtro. Marco Antonio Alfaro Morales Presidente de la Feria Universitaria del Libro	
<b>Agua sinónimo de vida</b>	11
Dr. Otilio Acevedo Sandoval	
<b>Los retos del Agua en el siglo XXI: un análisis en perspectiva</b>	13
Danae Duana Ávila Tirso Javier Hernández Gracia Ma. Del Rosario García Velázquez	
<b>Agua segura y salud ambiental</b>	26
Araceli Ortiz Polo	
<b>El arbolado urbano en la gestión del agua pluvial</b>	37
Alfonso Suárez-Islands José Justo Mateo-Sánchez	
<b>El servicio de agua potable en México: ¿Qué explica su nivel de satisfacción por parte del usuario?</b>	52
Bernabé Lugo Neria Israel Cruz Badillo	

<b>Comercialización de agua virtual y seguridad alimentaria en México en el marco de los ODS</b>	67
Yolanda Sánchez Torres Aníbal Terrones Cordero Mario Cruz Cruz	
<b>La privatización del agua avanza en detrimento de la sociedad</b>	85
Roberto Morales Estrella	
<b>La importancia de los ríos pequeños: el caso del río Nexapa</b>	96
Amado Enrique Navarro Frómeta Juan Ricardo Cruz Aviña	
<b>Medición del estrés hídrico mediante modelos matemáticos en la Zona Metropolitana de Pachuca, Hidalgo, México</b>	116
Juan Bacilio Guerrero Escamilla Sócrates López Pérez	
<b>Representaciones tradicionales y contemporáneas del agua en la danza</b>	138
Cynthia Jeannette Pérez Antúnez Beatriz Julieta Galindo Zavala Ricardo Campos Castro	



# Presentación

*Dr. Octavio Castillo Acosta*  
Rector

El agua es un recurso fundamental para la supervivencia. Es uno de los principios necesarios para la vida, es decir, uno de los elementos que configuran las condiciones para la existencia de seres vivos en el planeta. Esto no puede ser abordado con ligereza, por ninguna de las dimensiones sociales, económicas o políticas que involucran su administración en la actualidad.

El siglo XXI mantiene una serie inconmensurable de desafíos derivados del transcurso histórico de las economías a nivel internacional, el modo de interrelación del mundo, así como las políticas y leyes a través de las cuales se regulan las dinámicas sociales, bajo una forma globalizada de organización. Esto, por supuesto, ha dejado ver un sinnúmero de consecuencias que ponen en riesgo a diversas realidades, tanto de la población como de la biósfera. Sin embargo, en las últimas décadas, los estudios y métodos de investigación han avanzado de manera contundente hacia una comprensión integral de la vida, en todos sus aspectos y en un mayor grado de complejidad. Hoy en día es posible comprender las maneras en que la administración y uso del agua incide en diversas aristas de la realidad; somos capaces de analizar de manera multidisciplinaria los retos a los que nos enfrentamos y las posibles soluciones para atender la urgente situación del líquido vital.

El presente libro se entrega a las y los lectores como una aportación universitaria a esta discusión. Se conforma por diversas indagaciones académicas, opiniones e ideas, desarrolladas por personas que han dedicado su vocación al estudio del agua y las implicaciones de su uso a lo largo de la historia, así como en el contexto actual.

Es importante subrayar que el documento se enmarca en las celebraciones de la Feria Universitaria del Libro, un evento que se ha convertido en uno de los momentos culturales más importantes en el estado de Hidalgo. Durante los días en que se desarrolla la FUL, nuestra universidad recibe a un número considerable de artistas, escritoras, escritores, profesionistas y personas dedicadas a la investigación, que comparten sus hallazgos, su obra, con el público que año con año nos visita. Es un evento de gran impacto en la vida universitaria, porque representa un encuentro con el mundo de la palabra escrita desde diferentes puntos de vista y experiencias. “Agua para la vida” es el eje temático elegido para la 35ª edición de la FUL, a razón del cual se fomentó la colaboración desde diversas ramas del conocimiento, a fin de enarbolar un diálogo abierto y hacer consciencia respecto a las problemáticas ambientales y sociales que atañen al agua, el líquido esencial para la supervivencia de los seres vivos que habitamos el planeta.

La publicación de este texto obedece al objetivo de que las actividades universitarias en la autónoma de Hidalgo redunden en la aplicación del conocimiento y la contribución al saber. Confiamos plenamente

en el trabajo de las y los investigadores que se disponen plenamente, con absoluta dedicación, a la búsqueda de nuevas posibilidades de entender y comprender la realidad. La Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo es una institución insistente en contribuir, a través del trabajo disciplinar riguroso y fundamentado, al amplio acervo de los saberes que demanda nuestro tiempo. Sirva este libro como una muestra de dicha convicción.

“Amor, orden y progreso”

# Bienvenida

*Mtro. Marco Antonio Alfaro Morales*  
Presidente de la Feria Universitaria del Libro

La Feria Universitaria del Libro se refrenda como el encuentro más importante en el Estado de Hidalgo, para promover el fomento a la lectura, la circulación de las ideas y por supuesto la comercialización del Libro.

Pero son también las ferias del libro inigualables plataformas de exposición del Libro como bien cultural.

Toda Feria del Libro debe ser un espacio educativo y propicio para la creación y la formación del hábito de la lectura y debe permanentemente promover el conocimiento en su expresión más amplia a través de su programación.

Así entonces, reconocer el invaluable trabajo de los investigadores requiere de espacios y plataformas permanentes.

La Feria Universitaria del Libro, agradece a las y los investigadores y académicos de nuestra Universidad y de otras Instituciones de Educación Superior, tanto Nacionales y Extranjeras por su colaboración.

En el Coloquio “Agua para la Vida”, desarrollado en el marco de la 35 edición de la Feria Universitaria del Libro. Excelente posibilidad de transmitir el conocimiento a través de los libros en este caso digital, lo que nos da la visión de quienes somos y a donde queremos llegar.

Por esta misma razón reiteramos nuestro agradecimiento a todas las instancias que hicieron posible este libro digital y los invitamos para que en las siguientes actividades culturales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, continúen aportando su espléndido conocimiento.

Los esperamos con los libros abiertos.

# Agua sinónimo de vida

*Dr. Otilio Acevedo Sandoval*  
Profesor Investigador de la UAEH

¿Qué importancia tiene el agua?

Pregunta que debemos hacerla a diario si se desea garantizar la subsistencia de todas las especies vegetales y animales, así como de los seres humanos que habitan nuestro planeta. Debemos reconocer que las alarmantes imágenes de destrucción medioambiental son síntomas de un problema de fondo mas amplio y grave que nunca; el planeta Tierra está empezando a sufrir variaciones de incalculables consecuencias.

En 2010 la asamblea General de las Naciones Unidas reconoció la importancia del agua, “el derecho al agua potable y al saneamiento como un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos”. A nivel mundial la importancia del agua radica en que juega un papel importante en la producción de alimentos ya que se emplea para la agricultura en un 70 %, en un 15 % en la industria y el otro 15 % es para uso doméstico.

El artículo 34 de la Constitución Política de los estados unidos mexicanos indica que toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. La ley del agua indica textualmente “Se prohíbe toda forma de privatización del agua, por su trascendencia para la vida, la economía y el ambiente; por lo mismo esta no puede ser objeto de ningún acuerdo comercial, con gobierno, entidad multilateral o empresa privada nacional o extranjera. Su gestión será exclusivamente pública o comunitaria”.

Las diferentes actividades que desarrolla a diario la humanidad han provocado la contaminación del aire, agua, suelo, así como cambios en los ecosistemas y desaparición de flora y fauna; estas acciones del ser humano están modificando las condiciones climáticas del planeta Tierra de manera cada vez más evidente; entre ellas el ciclo del agua, aunque la cantidad de agua en el planeta es relativamente constante, lo que ha cambiado es la calidad de esta y su disponibilidad.

Entre las funciones que tiene el agua, destaca ser un autentico regulador natural del clima, permite el correcto funcionamiento de los procesos biológicos de los ecosistemas, garantiza la subsistencia de todas las especies animales y vegetales que habitan el planeta Tierra, entre otras.

El futuro del agua en el mundo es incierto y depende de varios factores, como el cambio climático, el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y la gestión del agua. Sin embargo, el cambio climático y la degradación del medioambiente pueden disminuir la disponibilidad de agua dulce en algunas regiones, que traerá como consecuencia un aumento del hambre al afectar directamente a la agricultura y a la ganadería.

El mayor reto de la humanidad y de todos los seres vivos de la Tierra es la seguridad hídrica. La escasez del agua son ya visible en muchas partes del planeta, si bien el agua es un derecho fundamental y vital para los humanos, a nivel mundial hay millones de personas que no cuentan con este recurso. Para abordar estos desafíos, se necesita una gestión sostenible del agua que considere la conservación y la protección de los recursos hídricos, la inversión en infraestructura para la gestión del agua, la promoción de prácticas agrícolas sostenibles y la educación sobre la importancia del uso responsable del agua.

A través del presente libro, un grupo de expertos abordan diferentes tópicos sobre el tema del agua, como son: retos del agua en el siglo XXI; agua segura y salud ambiental, la importancia del arbolado urbano en la gestión del agua, servicios, comercialización, privatización, retos y alternativas ante el cambio climático, el agua simbolismo en la danza, entre otros, que tienen como fin promover su cuidado y concientizar sobre la importancia de este vital recurso natural, por lo que le invitamos a leer cada uno de los temas con el objeto de interiorizar la importancia del agua en nuestra vida y cuidarla para que podamos disfrutar de este bien tanpreciado el mayor tiempo posible.

Únicamente me resta hacer la siguiente reflexión: el futuro del agua en el mundo está en cada uno de nosotros, es un desafío importante en el que se deben hacer esfuerzos y compromisos a nivel global para garantizar que siga siendo un recurso sostenible para todos.



## Los retos del agua en el siglo XXI: un análisis en perspectiva

*Danae Duana Ávila*  
*Tirso Javier Hernández Gracia*  
*Ma. Del Rosario García Velázquez*

### **Resumen**

Las sequías y escasez del agua son temas que se les asocia a fenómenos históricos, un problema que, en la última década, se ha intensificado y que se ha trasladado a un contexto internacional. El presente documento muestra la situación por la que atraviesa un líquido necesario para la supervivencia de los seres vivos, cuáles son los daños que trae la escasez de agua a nivel municipal estatal y nacional, que acciones se han implementado y el papel que juegan los gobiernos en la toma de decisiones, el papel que juega el cambio climático, se analizan temas relacionados con el uso del agua, disponibilidad y fuentes alternas, calidad del agua, contaminación y salud. Por último, se concluye mencionando cuales son los retos a los que se enfrenta.

## **Introducción**

Si bien la Tierra está compuesta por agua el 98% es salada y se encuentra principalmente concentrada en los océanos, solo el 2% aproximadamente (40,000 km<sup>3</sup>) es dulce, mientras que 27,760 km<sup>3</sup>, el 68.9% de agua dulce se encuentra disponible y congelada en la tierra ubicada en forma de nieve y glaciares en los polos; 12,112 km<sup>3</sup> (30.8%) es agua subterránea y sólo 128 km<sup>3</sup> (0.3%) se ubica en la superficie y corresponde al agua localizada en lagos, lagunas, ríos y humedales, las personas tienen la percepción de que el agua es un recurso renovable imperecedero, sin embargo esta idea es contradictoria y alarmante.

Actualmente es importante hacer conciencia y reconocer que estamos en una crisis ambiental difícil que cada día genera escasez. A mediados del siglo XVIII se daban los primeros cifras sobre las implicaciones, así como el impacto ecológico que tenía el crecimiento demográfico y urbano y los principales problemas que se estaban generando, así como un consumo basado en recursos naturales en aumento. Sumado a esto el cambio climático originado la expulsión al medio ambiente de gases de efecto invernadero modificaba la composición química de la atmósfera, sus impactos en los climas del planeta han traído externalidades negativas, económicas, sociales, legales y éticas de esta problemática, tanto a escala global, se debido a que no se pueden procesar creando una situación mucho preocupante a nivel regional, estatal y nacional, la cual requiere de una atención coordinada a nivel mundial.

El agua es fundamental para realizar nuestras actividades cotidianas que realizamos todos los días e inclusive es necesaria para la sobrevivencia sin ella los seres vivos no podrían vivir, necesitar parcial o totalmente agua coloca a la población y a los seres vivos en una situación de vulnerabilidad. A nivel nacional existe una sólida y amplia red de investigadores que abordan temas hídricos, entre los que destacan investigadores de la UAEH los cuales trabajan problemas relacionados con la cantidad y calidad del agua.

La importancia que tiene el tema a nivel estatal ha permitido generar informes y diagnósticos de gran utilidad para las instancias correspondientes, alternativas de política económica orientadas a un manejo sostenible y sustentable del recurso, la conservación y la rehabilitación de los diferentes ecosistemas en el país. Podemos mencionar problemas como: la contaminación y la forma desigual que existe en la distribución del agua son problemas que están presentes cuando se habla de escasez de agua en el territorio nacional siendo la afectada la población.

## **Antecedentes**

Con la llegada de los españoles a inicio en el siglo XVII, la disponibilidad y abastecimiento del agua era el principal problema para realizar actividades, los viajeros argumentaban que la falta de agua era la causa de los retrasos en las llegadas a los destinos y el principal problema para llevar a cabo determinadas actividades, el agua para el consumo de las personas podía llevarse consigo, pero el alimento y el agua para los caballos, mulas tenía que encontrarse a lo largo del camino. El sistema de riego estaba construido y diseñado para llevar agua al campo, pero propósito era demasiado ambicioso para el agricultor. El riego era fundamental y llegó a dominar el sector agrícola. Los animales traídos por los españoles generaron un aumento en la demanda del agua. En 1910 se tenía una disponibilidad que superan los 31 mil metros cúbicos por habitante año; en 1950 apenas se rebasaban los 18 mil metros cúbicos por habitante anualmente, en 2022 se tienen apenas en promedio arriba de los 3 mil 600 metros cúbicos por habitante de manera anual (Delgado 2005). Por otro lado, se ha visto un crecimiento de las poblaciones urbanas y rurales las cuales están emigrando, esto aumenta la demanda y el estrés hídrico.



El agua es fundamental para la sobrevivencia y el bienestar de las sociedades a nivel municipal estatal, nacional e internacional, sin embargo, se encuentra amenazado: 28 países en 1998 experimentaron escasez de agua la proyección indica que para 2025 serán 56. En el 2025 817 millón de personas que viven en países sin suficiente agua situación que aumenta cada año (Delgado 2005). El agua ha contribuido al cambio estructural y de los valores ya que un impacto directo en tres actividades básicas de la sociedad: la agricultura, la minería y el comercio.

### **Situación actual de las aguas mexicanas: siglo XXI**

El 14 por ciento del agua potable que hay en nuestro país es potable, se estima que el 72% del agua regresa a la atmósfera, 22% se regresa a los ríos, 6% se reinyecta a los acuíferos. El agua ha sido vital para el desarrollo de la civilización mexicana, los centros urbanos históricamente surgieron y desarrollaron en zonas cercanas a ríos, lagos o costas porque garantizaba la producción de alimentos.

Sin embargo, el aumento demográfico y el crecimiento socioeconómico, así como la falta de planeación han llevado a su escasez. En México el desarrollo y crecimiento de las actividades económicas, así como el crecimiento de la población, la disponibilidad promedio es de 469 millones 199 mil <sup>3</sup>. Cantidad que se redujo en 2000 y 2005 al pasar de en un 5.5% la disponibilidad per cápita de 4,841 a 4,573 <sup>3</sup>/hab/año. La zona norte centro y noroeste registran una disponibilidad media de agua de 32%, agrupan el 77% de la población nacional, con una aportación igual del 77% PIB. La zona sureste tiene una disponibilidad de agua del 68%, concentra el 23% de la población con una aportación del 15% PIB. De 11 mil <sup>3</sup> de líquido que antes disfrutaba cada habitante a nivel nacional, ahora cuenta con 4 mil 446 <sup>3</sup>/hab/año, categoría promedio de acuerdo a los parámetros internacionales (Delgado 2005).

Para el 2030 en todo el país el agua por persona será “baja” con 113 <sup>3</sup> al año, en algunas regiones pueden ser menor la disponibilidad. El problema de la escasez o falta del agua se ve agravado con el surgimiento de la industrialización del país. Las grandes concentraciones urbanas y económicas. CDMX, Puebla, Guadalajara, Toluca Monterrey. La comisión del Agua define la zona metropolitana: La agrupación territorial de todos los municipios donde se encuentran asentadas las localidades urbanas. Consiste en la fusión urbanística de un conjunto de localidades de 2500 o más habitantes, las cuales al menos alguna de ellas tiene 50 mil o más habitantes.

Delgado en su libro “Agua y Seguridad Nacional”: Menciona que existen 1.4 billardos de <sup>3</sup> (un millardo equivale a mil millones) de agua el 2.5% corresponde a reserva dulce, 37 millones de <sup>3</sup>, del total de agua en el planeta sirve para satisfacer necesidades humanas (Delgado 2005). La población enfrenta a una escasez de agua dulce y lo explica a través de dos paradigmas: Paradigma del mercado la escasez del agua es el resultado de no comercializar el recurso ya que si se pudiera vender en los mercados internacionales se podría distribuir en regiones que presentan escasez. El agua es necesaria para realizar nuestras actividades cotidianas e inclusive es vital para sobrevivencia de los seres vivo, por esta razón carecer parcial o totalmente del agua colocara a la población en una situación de vulnerabilidad. Paradigma ecológico los supuestos del mercado son ajenos a los límites naturales que fija el ciclo del agua. El ecosistema recibe el líquido en forma de lluvia o nieve la cual abastece o reabastece ríos y acuíferos.

## Los acuíferos sobreexplotados y sus principales impactos

La cantidad de agua subterránea y calidad, la existencia de regiones en situaciones críticas, así como escaso avance en ciencia y tecnología muestran que de 32 acuíferos sobreexplotados en 1975 en 2006 ya eran 104, es decir, en tres décadas aumentó más de tres veces. La relevancia de los acuíferos es porque suministran en promedio el 80% del volumen total del líquido se extrae del subsuelo menos del 20% del total de 653 acuíferos del país (Chávez et al., 2006).

CONAGUA, a través del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), registró 115 acuíferos sobreexplotados 2018, 32 en 1972 mientras que en 1985 la cifra aumentó a 80 para el periodo 2001-2015 ya eran 100 acuíferos sobre explotados (Conagua, 2016; Díaz, Bravo, Alatorre & Sánchez, 2013; Hatch & Carrillo, 2017).

Podemos decir que de los 115 acuíferos considerados puede aumentar la sobre explotación de los 100 acuíferos que se tienen registrados con un grado de explotación en promedio de 75% y 99% (Arreguín, López, Escolero & Gutiérrez, 2017). Por otro lado los acuíferos presentan otros problemas además de sobreexplotación, como es el de la salinización y/o contaminación (López, 2017; Nava, 2018).

La explotación se da cuando se extrae agua del subsuelo a un ritmo superior al del reabastecimiento, recarga natural o infiltración lo cual provoca un consumo continuo del agua que se encontraban almacenada, por otro lado las aguas subterráneas pueden verse afectadas por contaminación de origen humano básicamente por la introducción de nitratos y otros abonos solubles que se usan por lo regular en la agricultura, los caos extremos se ubican en los estados del centro y norte del país, en específico el río Lerma (Guanajuato y Querétaro), en la región de la Laguna (Coahuila-Durango), en la península de Baja California, y en Aguascalientes, Chihuahua y Sonora. En promedio se estima han perdido entre 20% y 25% de su capacidad de reserva, lo cual ha generado un minado es de 5,400 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) por año (lo que representa casi el 50% del volumen de agua utilizado para abastecimiento público en la República Mexicana). En la República Mexicana se debe considerar que las actividades industriales cada año demandan grandes cantidades de agua.

Se estima que en las últimas 4 décadas la reserva de agua nacional subterránea fue reducida por sobre explotación en promedio 60,000 Mm<sup>3</sup> por año. Sin embargo la recarga natural anual de los acuíferos se estima en unos 77,000 Mm<sup>3</sup>, la situación es crítica ya que el balance global no refleja por lo que atraviesan las regiones áridas las cuales muestran un balance negativo del recurso hídrico, en contraste se pierden grandes cantidades de agua en las cuencas lluviosas que podrían aprovecharse.

En la Península de Baja California la calidad del líquido que se encuentra en forma subterránea, en la región de la costa de Sonora y Sinaloa, la explotación cerca del mar en forma intensa ha provocado la entrada sal. Los casos extremos se pueden analizar en los 18 acuíferos del noroeste que fueron invadidos, lo que provocó una gran cantidad de pozos y extensiones de terrenos destinados al cultivo, tengan un incremento de salinidad del agua subterránea dichas concentraciones no son aptas para las actividades básicas o para usos comunes.

El agua subterránea es importante porque dos millones de hectáreas es decir una tercera parte del líquido sostiene el riego; abastece en promedio el 70% del volumen que requieren las zonas urbanas las cuales las cuales concentran 60 millones de habitantes, así como a la industria y casi el total de las demandas de la población rural.

El conocimiento en términos científicos sobre los acuíferos es por la profundidad de estudios hidrogeológicos casi del 60% del país en regiones planas de las cuencas más importantes y en zonas montañosas localizadas cerca. El resto 40% corresponde a la sierra de la República Mexicana su importancia radica en la captación, recarga y transmisión del agua que se filtra a los acuíferos

Otro fenómeno climático es la sequía problema al que se enfrenta el agua subterránea y se define como *“una desviación temporal dentro de la variabilidad normal como un evento de ausencia o disminución de lluvia en periodos húmedo de acuerdo a su comportamiento histórico”* (Zakhem & Kattaa, 2017:23) se destaca la sequía hidrológica, sus condiciones son complejas a las que presentaría una meteorológica la cual se da por una disminución de agua en ríos, lagos y zonas de descarga natural, se monitorea por el flujo de las corrientes durante un periodo de tiempo largo, la agricultura se ve afectada directamente por la sequía agrícola, básicamente por condiciones insuficientes de humedad en zonas no saturadas, trayendo consigo producciones bajas en los cultivos, además la mayor parte de las zonas destinadas a las actividades agrícolas son de temporal principalmente, si consideramos que la temporada de sequía tiene una duración media, provoca impactos importantes en términos sociales y económicos que afectan a los cultivos de las regiones (Zakhem & Kattaa, 2017).

## **El crecimiento urbano y la escasez de agua**

En la actualidad la población vive en zonas metropolitanas o en las principales ciudades, a nivel mundial se estima que dentro de dos décadas en promedio el 60% de población se localizará en zonas urbanas. El crecimiento urbano se está dando a un ritmo acelerado, presentándose en ciudades con habitantes de 5 millones. se estima que entre 2000 y 2030 la población que se localiza en zonas urbana se duplicará (África y Asia). Las ciudades muestran un crecimiento producto del crecimiento el cual se obtiene de la sustracción entre los nacimientos y las de defunciones (50%), el cambio de zonas rurales a zonas urbanas (25%), además de la migración que se da de ellos pueblos a las ciudades en las últimas dos décadas registra aumentos.

El aumento de la población urbana genera nuevos retos, siendo los más importantes el abastecimiento de agua y saneamiento como los primordiales ya que sus impactos en la sociedad son los más perceptibles, la escasez de agua potable y saneamiento generan enfermedades entre las más comunes en la población sobre salen: enfermedades fecal-orales, diarrea, brotes de malaria y cólera entre los principales, a nivel mundial se estima que 141 millones de habitantes no tiene infraestructura adecuada de agua potable, en promedio uno de cada cuatro habitantes viven en ciudades que tienen este problema “794” millones viven sin acceso a instalaciones adecuadas para el abastecimiento de agua, por otro lado quienes se ven afectados por estos problemas son los habitantes que presentan algún tipo de pobreza, la población en esta condición se ubica principalmente en zonas conocidas como “barrios” o asentamientos informales provocados por el acelerado crecimiento de las regiones urbanas presentando problemas en los servicios básicos como: escasez y falta de agua potable, infraestructura adecuada y viviendas duraderas.

Se estima que en promedio la población de los primeros deciles de ingreso paga en promedio más por un litro de agua que sus vecinos ubicados en los primeros deciles de ingreso, por lo general son habitantes que no tienen acceso al sistema de abastecimiento de agua quienes tienen que comprar el líquido a vendedores privados. Se estima que a nivel mundial el 62% de la población de África y Asia viven en lo que se conoce como “tugurios”. Otro ejemplo en Ghana, población con un nivel de pobreza que paga hasta 12 veces más por un litro de agua que la población con niveles de ingreso alto, lo que genera una dependencia con los vendedores privados.

En el 2013 el 77% de la población en México se concentraba en zonas urbanas localidades con 2500 habitantes o más con una disponibilidad de agua del 95.4%, el 22.7 % habitaba en zonas rurales con 2499 habitantes y una cobertura de agua de 81.6% registrando una cobertura promedio de agua del 92.3%. Otro factor que disminuye el problema de las sequías en las ciudades y zonas metropolitanas es la gestión del agua y la cual consiste básicamente en el manejo de los servicios del agua, alcantarillado y saneamiento, la forma en que se trabajan los servicios hídricos tiene una repercusión importante en el nivel, así como en la demanda de agua.

La principal característica que tiene la gestión urbana del agua es su descentralización, donde intervienen diversos autores, la diferencia entre la construcción y manejo de la infraestructura, se por diferentes instituciones que son Organismos Operadores de agua (OOAPAS). Dichos organismos, por regla tienen que ser entidades públicas descentralizadas de los gobiernos estatales o municipales con autonomía legal que deben operar como: empresas autosuficientes y autónomas.

En ciudades como Aguascalientes, Cancún y Saltillo, empresas privadas tienen la concesión de la operación del servicio, el resto de los municipios la administración depende directamente de los gobiernos municipales o estatales bajo leyes estatales y no federales. Por lo que cada estado del país tiene su propia ley de aguas en la cual se definen los criterios de operación de los organismos, así como una diversidad de situaciones y circunstancias, por otro lado, el personal directivo y técnico presentan problemas de rotación, así como un bajo nivel de profesionalización, así como algunas externalidades negativas en la planeación. Estas condiciones se deben básicamente a que en cada proceso gubernamental hay cambios en las estructuras directivas lo que significa nuevos retos para las administraciones que llegan

En las acciones encaminadas a la gestión urbana del agua, la información que se necesita para la toma de decisiones es diferente al de infraestructura. Los organismos de agua calculan sus mediciones y recaban la información que necesitan por lo que en algunos casos omiten mediciones, así como sus registros respectivos.

Además, los organismos cuentan con periodos cortos que pueden ser de tres o seis años, dependiendo si es municipal o estatal por lo que la planeación así como la previsión pasan a un segundo plano debido a la temporalidad de los plazos, una desventaja a la hora de generar la información ya que esta es algunas ocasiones pobre o nula, esto se debe principalmente a que las mediciones implican gasto en medidores y mano de obra, por lo que en algunos casos no se realiza con frecuencia y lo que se realiza son estimaciones tomadas con información propia existe un sistema totalmente descentralizado en el cual no hay uniformidad en criterios y parámetros los cuales deberían ser tomados en cuenta, esto puede generar que el indicador signifique cosas diferentes dependiendo de quien lo revise o entre municipios o estados o entre periodos por lo que daría como resultados estimaciones poco confiables o información incompleta

A diferencia del rubro de atención a la infraestructura, la cual se orienta al aumento en la oferta y la gestión esta direccionada a la administración de la cantidad a través del cálculo, cobro y sanciones ante la negativa de pago, la administración comercial impacta de manera directa en la cantidad y calidad de agua que los usuarios necesitan para cubrir sus necesidades.

Los análisis enfocados a la gestión urbana sobre el líquido que se llevan a cabo por los diferentes organismos en el país se realizan observando el control físico del agua y la forma como se administra el servicio. El control físico se encarga de la distribución y el estado las condiciones de la tubería; su propósito es minimizar la pérdida de agua que se genera en el traslado y distribución a los consumidores.

Teniendo como principal indicador es la cantidad de agua que se pierde en la distribución urbana y que se le asigna el nombre “agua no contabilizada”. Dentro de las actividades de la administración comercial el servicio se basa en el pago del servicio de agua a los consumidores. La administración comercial comprende en casi todos los casos en la medición del consumo de cada consumidor, (lo que se denomina como medición micro); que consta de una lectura y registro del consumo; tarifa de agua; cobro efectivo del consumo realizado en un periodo, y sanción a quienes hagan omisión del pago facturado en el periodo señalado.

## **Gestión del agua de riego, industria, producción de energía y uso ecológico**

El principal uso del agua en el país son las actividades agrícolas y el sector que más desperdicia por la infraestructura en mal estado y obsoleta con un 57% (UNAM,2018), siendo la ganadería y agricultura los sectores con mayor demanda de agua. Datos de CONAGUA muestran que del 57% del total de agua utilizada, se desperdicia por la infraestructura de riego ineficiente, principalmente por fugas, 6.3 millones de hectárea corresponde a superficie irrigada las pérdidas que se tienen por infiltración y por la evaporación es del 60% del agua destinada al uso agrícola.

Las minas de carbón requieren de agua para lubricar los equipos, el enfriamiento y para el proceso del combustible, según datos de USDOE (2006), se estima que por cada millón de Btu se necesitan de 1 a 6 galones de agua o de 1 a 6 litros de agua por cada 279 MJ.

Se puede utilizar la técnica fracking que permite extraer grandes cantidades de agua se estima un promedio de 9 a 29 millones de litros de agua por pozo, este proceso se utiliza principalmente en la extracción gas, básicamente en formaciones no convencionales es un proceso altamente controvertido ya que países donde se ha realizado los impactos ambientales han sido altamente destructivos por ejemplo Argentina y Estados Unidos, en México esta práctica se ha utilizado pero solo en la extracción de hidrocarburos convencionales.

En la última década se ha impulsado en la extracción de hidrocarburos no convencionales, los primeros antecedentes de este proceso en nuestro país fueron en 2013 cuando el gobierno autorizó realizar esta práctica, las regiones de la cuenca de Burgos, estados del norte como Coahuila, Tamaulipas, parte de Chihuahua, Nuevo León; Veracruz, Oaxaca, la Sierra Norte de Puebla y los estados de Chiapas y Tabasco.

Las termoeléctricas necesitan vapor para mover turbinas generadoras, las cuales utilizan enfriadores que permitan condensar el vapor este proceso de enfriamiento implica el consumo de grandes cantidades del líquido. En 2007 las centrales termoeléctricas producían el 87% del total de energía para el país es decir 198.79 TWh.

El sector energético utiliza agua en sus procesos: iniciando con la extracción, refinación y la transformación de los combustibles fósiles hasta la generación eléctrica que es el destino final. Se estima que el mayor consumo de agua se da en la etapa de la extracción y en la transformación de los combustibles, la etapa final es la que requiere menos cantidades de agua estas actividades tienen un impacto directo en la calidad y cantidad del agua que desechan al medio ambiente como contaminación química, térmica que terminan en precipitaciones.

La actividad petrolera está restringida en México, Pemex es la empresa que por mandato constitucional puede realizar la búsqueda extracción hasta la transformación del combustible fósil, la empresa utiliza agua para las distintas actividades de la industria petrolera como fuentes de abastecimiento; agua subterráneas, tratada o de reúso también se utiliza agua superficial y agua de mar la cual es sometida a procesos de desalación por ósmosis inversa, siendo la principal fuente de abastecimiento los ríos: Coatzacoalcos, Huazuntlán, Ramos y Tamesí, así como los mantos acuíferos de Salamanca, Cadereyta y Tula (Pemex, 2007)

La producción y los derivados de petróleo y gas natural incluye principalmente exploración, extracción, transporte y refinación. La exploración incluye la perforación de pozos que confirman la existencia del producto, en su etapa final, los problemas derivados del manejo de agua como pueden ser la sobre explotación del agua subterránea, la pérdida de humedales, la contaminación por metales tóxicos y nutrientes, la intrusión de agua salina, muestran el manejo actual del recurso agua.

Los tomadores de política tienen dos retos principalmente: a) incrementar la capacidad institucional para el manejo de los recursos derivados del agua en forma integrada, b) utilizar el conocimiento que impacte en la ecología de forma eficiente y eficaz. Con la finalidad de contribuir a la toma de decisiones desde la perspectiva del agua recurso vital para la supervivencia y su relación con la ecología, la situación que guarda en el contexto nacional y sus recomendaciones internacionales

Las proyecciones de variabilidad climática muestran un aumento en la temperatura, México enfrenta el reto de cubrir la cantidad y calidad del líquido necesaria para los servicios ambientales y en general para la naturaleza, con el propósito de mantener una flora y fauna en buenas condiciones, una purificación de los flujos de agua, que permita mantener la biodiversidad y la sobrevivencia de manera sustentable del sistema.

El cambio climático, la deforestación y algunos otros fenómenos naturales continuarán generando inundaciones, pero también generan otras externalidades negativas a los aportes de agua. Las precipitaciones en algunos estados del país disminuirán mientras que en otros aumenta cada año dependiendo los fenómenos climatológicos.

La vegetación juega un papel básico en la captación de agua, principalmente los bosques de niebla. Barradas entre 1983 y 2000 se tenían porcentajes altos del presupuesto destinados al uso ecológico 243 hídrico, y se consideran la única fuente de agua para los ecosistemas áridos (Cereceda et al., 1992).

La entrada horizontal del líquido en los bosques de niebla debe considerarse en el presupuesto estatal y nacional. Por otro lado, el cambio en el uso del suelo, de bosque a campo agrícola, así como de pastizales a ganadería, ha reducido la entrada de agua a los ecosistemas. Si se continúa con la tendencia de forestación se perderá en promedio el 20% de agua adicional captada por la vegetación, que se recolecta en los periodos de sequía.

## **El agua para el desarrollo humano y económico**

En los países subdesarrollados hay más de dos mil millones que no tienen infraestructura de saneamiento, mil millones de personas carecen de agua potable a nivel mundial el 80% de las enfermedades que se presentan en los países subdesarrollados se deben principalmente al agua contaminada; las personas viven con estrés hídrico representan el 40% y el 70% del agua que utiliza es para la agricultura perdiéndose en promedio el 50% por fugas. En 35 años se estima que serán 2.5 mil millones los que carecerán de agua potable. Es decir que habrá 3.5 mil millones de personas que demandarán infraestructura y mantenimiento (Carabias, 2017)

En México, se registra una precipitación pluvial media de 760 mm de acuerdo a la información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), se cuenta con una disponibilidad media natural anual de 458,100 Mm<sup>3</sup> (CONAGUA, 2008). El volumen de agua concesionado es de 78.9 miles de Mm<sup>3</sup> para el consumo del país, equivalente a 17.23% de la disponibilidad promedio natural media, cantidad con un nivel de presión moderado para el país (CONAGUA, Estadísticas del Agua en México. 2008: 54).

El volumen de agua destinado al consumo es el siguiente: 76.72% uso agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros, 14.13% uso público urbano y doméstico; 3.97%, a la industria, agroindustria, servicios y

comercio 5.18%, a la generación de energía eléctrica, sin incluir la hidroelectricidad (CONAGUA, Estadísticas del Agua en México. 2008: 56).

Los estados con mayor contribución al PIB nacional son: Distrito Federal 18.27%; Estado de México 9.14%; Nuevo León 7.56% y Jalisco 6.69%. Los estados registran una menor participación al PIB nacional son: Tlaxcala 0.56%; Baja California Sur 0.56%; Colima 0.54% y Zacatecas 0.75%, por otro lado, los estados más poblados del país son: Estado de México, con 13.56%; Distrito Federal 8.45%; Veracruz 6.89 y Jalisco 6.54%. Los estados menos poblados de la República Mexicana son: Baja California Sur 0.50%; Colima 0.55%; Campeche 0.73%, y Nayarit 0.92%.

Los estados con mayor PIB per cápita son: Campeche, Distrito Federal, Nuevo León y Coahuila por otro lado los de menor PIB per cápita son: Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Zacatecas. Los primeros tres estados registran precipitaciones altas y bajos niveles de concesión de agua, mientras que los estados que presentan una situación inversa son: Sinaloa, Sonora y Jalisco. Se destaca el 41.66% del PIB nacional el cual proviene del Distrito Federal, Estado de México, Nuevo León y Jalisco los cuatro estados representan el 32.62% de la población nacional y tienen solo un 12.11% de aguas concesionadas, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Michoacán y Veracruz aportan 14.80% del PIB nacional; tienen una concentración de la población del 18.72% y tienen 39.74% de aguas concesionadas.

Podemos mencionar que la productividad del agua es inversa al volumen concesionado que tiene cada estado de la república mexicana. Es decir, a mayor concesión, menor productividad.

## **Los retos del agua**

Dentro de la política de aguas planteada para el siglo XXI se deben modificar: a) el número de extracciones en términos cuantitativos lo que permitirá atender criterios de sustentabilidad ambiental; b) la explotación de los acuíferos con tasas de recarga natural bajas c) la explotación superficial debe hacerse respetando los flujos de demanda ambiental. Además, se deben actualizar los derechos que permiten tener las concesiones para determinar las condiciones de escasez que prevalecen en las regiones del país para generar una propuesta que permita eliminar el subsidio completo al agua de irrigación concentrado en la agroindustria y generar programas que promuevan la adopción de tecnologías de riego eficientes y eficaces.

Además, se debe promoverse un aumento significativo de la capacidad instalada de plantas de tratamiento con la finalidad de disminuir la brecha de saneamiento se estima que las aguas residuales de los municipios que recibe tratamiento son del 50%.

Por otro lado, las aguas residuales que se generan de manera difuso reciben tratamiento. Se destaca la importancia del agua como un eje que permita regular el desarrollo y la conservación natural favoreciendo la recarga de los acuíferos.

- a) Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible, así como el saneamiento para la población del país.
- b) Construir una infraestructura de largo plazo, promover el desarrollo de la industrialización sostenible y se debe fomentar la innovación y la tecnología.
- c) Fomentar la construcción de ciudades, comunidades y hogares sostenibles-sustentables, es decir ciudades y asentamientos seguros, resilientes y sostenibles.
- d) La vida submarina se debe conservar y utilizar en forma sostenible: mares, océanos y recursos marinos.



Iniciar tareas de reforestación a nivel nacional dando preferencia las partes altas de las cuencas hay que destacar cuales son las zonas de riesgo es decir áreas inundables, zonas federales, cauces nacionales, humedales, barrancas, con el propósito de desarrollar áreas seguras ante una externalidad.

El cambio climático es un problema que en la última década ha cobrado importancia, es necesario que se destinen mayores recursos del presupuesto a investigación y desarrollo; por medio de mecanismos reales generando modelos a partir de las problemáticas de cada región. Podemos decir que el 77 % del agua se utiliza para la agricultura, 14 % al abastecimiento público, 5 % en plantas termoeléctricas para la generación de energía y 4 % para uso de la industria. Sin embargo, existen características que limitan su aprovechamiento:

La forma en que se distribuyen las lluvias de temporal siendo en verano de junio a septiembre cuando ocurre en mayor parte, el resto del año es relativamente seco. La distribución espacial de la precipitación tiene comportamientos que han cambiado en la última década, en estados como: Tabasco llueven 2,095 mm al año, Baja California Sur sólo tiene precipitaciones de 160 mm anualmente, además Tabasco tiene precipitaciones 13 veces mayores. La zona Norte, Centro y Noroeste del país tiene una disponibilidad de agua natural del 31%, en concentran el 77% de la población, y aportan el 87% del Producto Interno Bruto (Arreguín et al., 2004).

Se destaca la importancia que tienen los ciclones tropicales ya que generan la mayor parte de la humedad, esto favorece las dos terceras partes del territorio con condiciones desérticas o semidesérticas, en donde la ubicación de la población no corresponde con las zonas que tienen mayor disponibilidad agua. En el Diario Oficial de la Federación la CONAGUA público que se tienen 722 cuencas disponibles en el país: Sonora Norte, Sonora Sur, Cuencas Cerradas del Norte, Río Bravo, Lerma Chapala y Río Balsas las cuales no cuentan con agua disponibilidad además de tener un déficit los 101 acuíferos sobreexplotados entendiendo como aquellas extracciones mayores a la recarga de un total de 653, existen 69 acuíferos en los que la extracción es mayor o igual al 80% de su recarga, se estima que en promedio 40 millones de habitantes se encuentran en acuíferos sobreexplotados, distribuidos de la siguiente manera: 35.3 millones asentados en localidades urbanas, 4.7 millones en rurales.

El agotamiento de los niveles de agua subterránea puede traer como consecuencia: desaparición de manantiales, humedales, lagos, gasto base de ríos, vegetación nativa, ecosistemas locales, disminución del gasto, rendimiento de los pozos, incremento del costo de extracción, deterioro de la calidad e intrusión del agua de mar en acuíferos costeros y agrietamiento del terreno

La recarga virtual es un concepto nuevo tiene como propósito la siguiente frase “la mejor agua infiltrada a un acuífero es la que no se saca”, siendo el Valle de México quien inicio con este programa, sacando pozos de operación con el objeto de lograr la estabilización paulatina de los acuífero, estas acción es requieren de la reinyección física y de la aplicación de la ley en forma estricta con el propósito de evitar pozos clandestinos y buscar nuevas fuentes para sustituir el agua que se extrae de un acuífero de fuentes donde el recurso es abundante y no se generen externalidades negativos al ambiente.

La escasez de agua en e l país en la mayoría de los casos se asocia al uso deficiente por parte del sector agrícola. La recuperación mayor de agua se encuentra en el campo el cual utiliza 77%, con una superficie destinada a este sector es de 21 millones de hectáreas, 3.5 millones de hectáreas se destinan a distritos de riego, a Unidades de Riego 3.0 millones de hectáreas y 14.5 millones de hectáreas son de temporal.

Disminuir las fuentes de contaminación del agua en México se destaca: la basura que se arroja a ríos, lagos y alcantarillados, a las descargas de los centros urbanos, las industrias y a las áreas agrícolas, principales

responsables de los altos niveles de contaminación en el país. En la actualidad se estima que México se generan 431.7 m<sup>3</sup> /s de aguas residuales municipales y no municipales.

Las aguas residuales con 243 m<sup>3</sup> /s de los que se colectan 207 m<sup>3</sup> /s (85%) solo se tratan 83.8 m<sup>3</sup> /s (40.5%), y 123.2 m<sup>3</sup> /s no son tratadas. Las aguas residuales no municipales representan 188.7 m<sup>3</sup> /s solo reciben tratamiento 29.9 m<sup>3</sup> /s (15.85%) la diferencia 84.2%, 63.52 m<sup>3</sup> /s se utilizan en el riego. El impacto de las descargas se puede ver en los volúmenes de captación. Siendo un indicador de contaminación de origen municipal y doméstico la demanda bioquímica del oxígeno, las regiones más contaminadas el Valle de México, Golfo Norte, Lerma-Santiago-Pacífico y algunas regiones de Golfo Centro.

Hasta el 2017 el 71% de la población a nivel mundial consumía agua la cual era gestionada en forma segura según el Programa Conjunto de Monitoreo de Abastecimiento de Agua, Saneamiento e Higiene menciona que , la mayor parte se concentra en países desarrollados mientras que el 10% en los países sub desarrollados no supera el 10% de acceso a agua limpia y potable, el 43% de la población en México tiene acceso a agua potable gestionada de forma segura a pesar del superávit de 6 mil 176 hectómetros cúbicos de las 210 presas, se cuenta con 85 mil 389 hectómetros de agua almacenados.

Podemos concluir diciendo que México sigue teniendo uno de los grandes problemas del siglo XXI se requiere nuevas soluciones para contrarrestar los desafíos producto del aumento de población de 126,014,024, además del cambio climático. Por lo que el panorama tiene un gran reto, ante un patrón de consumo acelerado y del deterioro ambiental creciente, es evidente que son necesarias nuevas alternativas de política económica enfocadas a un problema prioritario ya que cada año muere un millón de personas siendo la principal causa la diarrea, resultado del agua no apta para el consumo humano, el saneamiento y la higiene de manos.

## Conclusiones

En materia de contaminación se ha planteado el tratamiento de 60% de las aguas residuales por parte del gobierno federal, se debe atender problema que presentan las plantas de tratamiento y la operación de las mismas. Optimizar los recursos destinados al tratamiento de 33,778 m<sup>3</sup> /s ya que los gastos ascienden al 59.5% de la capacidad instalada en las 2,174 plantas de las cuales solo operan 2,082 es un tema que deberán revisar las instancias correspondientes con la finalidad de ampliar la cobertura o los volúmenes.

En lo que se refiere a los acuíferos sobre explotados se debe tomar conciencia ya que la mayoría se encuentra en déficit, además de los fenómenos naturales que en la última década se han intensificado como son: tormentas o ciclones factor preponderante en los sistemas de drenaje natural y artificial que se mezclan con basura que impiden el destino, la presencia de sequías cada vez más severas y duraderas. Por otro lado elevación del nivel del mar así como su impacto en los acuíferos costeros lo que ha disminuido la capacidad de descarga de muchos ríos al mar

- La excesiva demanda de agua potable para satisfacer las necesidades de la población ha provocado desequilibrio en la oferta y la demanda del recurso.
- Fortalecer los proyectos sustentables en recarga de acuíferos.
- Los problemas que genera la explotación y uso irracional del agua son los siguientes: hundimientos de suelo, inundación de casas, y avenidas, generación de basura, contaminación y escasez de agua.
- La escasez del agua se debe principalmente al proceso de industrialización en México.
- La solución al problema de escasez se realiza a través de la teoría económica bajo el enfoque neoclásico

- Garantizar agua gratuita a los principales servicios públicos como: escuelas hospitales centros comunitarios y asociaciones civiles sin fines de lucro.

## Referencias

- Barra M. G. 2017. Las actividades agrícolas y su impacto en la calidad de los recursos hídricos: El caso del Valle del Carrizo, Sinaloa, México. Tesis de doctorado. México: Posgrado en Economía, UNAM.
- Biro A. 2017. "Reading a Water Menu: Bottled Water and the Cultivation of Taste." *Journal Of Consumer Culture*: 1-21. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1469540517717779>.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2018ac). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero San Felipe de Jesús (0845), Estado de Chihuahua. Publicado en el Diario Oficial de la Federación.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2018ad). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Los Juncos (0847), Estado de Chihuahua. Publicado en el Diario Oficial de la Federación.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2018ae). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Laguna de Palomas (0848), Estado de Chihuahua. Publicado en el Diario Oficial de la Federación.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) (2018af). Actualización de la disponibilidad media anual de agua en el acuífero Llano de Gigantes (0849), Estado de Chihuahua. Publicado en el Diario Oficial de la Federación.
- Delgado G. (2005) Agua y Seguridad Nacional en México. Random House Mondadori.
- Estrada-Vivas L. Y. 2016. "Los rostros del agua embotellada en México: ¿Por qué somos los mayores bebedores de este problema?" 56. Consultado en <http://repositorio-digital.cide.edu/bitstream/handle/11651/584/150934.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ferro G. 2017. América Latina y el Caribe hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible en agua y saneamiento. Reformas recientes de las políticas sectoriales. Santiago, CL: CEPAL.
- Fonseca C. 2017. LinkedIn Pulse. Obtenido el 18 de octubre en <https://www.linkedin.com/pulse/grown-up-financing-finally-getting-attention-deserves-fonseca/>
- Heller L. 2017. Declaración de final de misión del Relator Especial sobre los derechos humanos al agua y al saneamiento. México: HCHR-ONU. Obtenido de <http://www.hchr.org.mx/>
- Hoekstra, A. y Chapagain, A. "Water footprints of nations: water use by people as a function Of their consumption pattern 2, *Water Resources Management*, 2006.
- IDB. 2017. "IDB Releases Call to Action for Government, MDB and Investor Cooperation to Sharply Increase Sustainable Infrastructure Investment." Obtenido el 20 de abril en News Releases: <http://www.iadb.org/en/news/news-releases/2017-04-20/report-on-sustainable-infrastructure,11787.h>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) (1921). Censo General de Habitantes 1921.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. "Contaminación difusa en la cuenca del río Lerma, parte baja". Proyecto contratado por la Gerencia Regional Lerma Santiago Pacífico, CNA, 2003.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Subcoordinación de Hidrobiología y Evaluación Ambiental. "Contaminación difusa en la cuenca del río Lerma, parte alta". Proyecto contratado por la Gerencia

- Regional Lerma Santiago Pacífico, CNA, 2004. Informe parcial.
- López, M. C. A. (2017). El estado del agua en México: retos, oportunidades y perspectivas. En: C. Denzin, F. Taboada, & R. Pacheco-Vega (Eds.). *El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica*. (pp. 13-42). Ciudad de México: Friedrich-Ebert-Stiftung
- López y Rivas, G. (07 de abril de 2017). La lucha por el agua en los valles centrales oaxaqueños. *La Jornada*. Recuperado el 15 de marzo de 2018 de <http://www.jornada.unam.mx/2017/04/07/politica/017a1polLinks>
- Nava, L. F. (2018). La desafiante gestión integrada de los recursos hídricos en México: elaboración de recomendaciones políticas”, En: J. J. P. Rojas Ramírez, A. Torres Rodríguez, O. González Santana, L. F. Nava Jiménez, M. A. Á. Guzmán Puente, O. Iglesias Guzmán, A. Zanela Muriel, M. G. Díaz Santos, M. E. Plazola De Anda, A. Torres Rodríguez, E. Medina Alvarado, V. C. Ramírez Calva, S. Mendoza Bohne, Claudia Irene Ortiz Arrona, Peter W. R. Gerritsen, María Azuzena Arellano Avelar, & M. G. Orozco Medina (Coords.). *Las ciencias en los estudios del agua. Viejos desafíos sociales y nuevos retos* (pp. 26-42). Guadalajara, Jalisco: Editorial Universitaria.
- ONU. 2017. Declaración de Final de Misión del Relator Especial sobre los derechos humanos al agua y al saneamiento Sr. Leo Heller. Página oficial del alto comisionado de Naciones Unidas, en <http://www.ohchr.org/SP/NewsEvents/Pages/DisplayNews.aspx?NewsID=21608&LangID=S>
- Ortega-Castañeda A. de J. 2016. “Los factores determinantes del aumento del consumo de agua embotellada en México. Análisis desde el enfoque de políticas públicas.” Centro de Investigación y Docencia Económicas (CIDE). Consultado en <http://repositorio-digital.cide.edu/bitstream/handle/11651/1440/153342.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pacheco-Vega R. 2017. “El megaproyecto de la presa El Zapotillo como nodo centroidal de conflicto intratable. Un análisis desde la ecología política.” *Espiral: Estudios sobre Estado y Sociedad*, 24(69), 193-229.
- Pacheco-Vega R. 2015. “Agua embotellada en México: de la privatización del suministro a La mercantilización de los recursos hídricos.” *Espiral: Estudios sobre Estado y Sociedad*, XXII (63), 221-263.
- Prasetiawan T., Nastiti A. y Setiani Muntalif B. 2017. “‘Bad’ Piped Water and Other Perceptual Drivers of Bottled Water Consumption in Indonesia.” *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 4(4): e1219. <http://doi.wiley.com/10.1002/wat2.1219>
- REPDA (Registro Público de Derechos del Agua) (2020a). Base de datos: Censo de aprovechamientos de agua subterránea en el Estado de Chihuahua. Última actualización: 26 de junio de 2020
- Ruiz, R. “Estrategia y prioridades de financiamiento de la Ciencia y la Tecnología 2009-2012”, versión preliminar, Academia Mexicana de Ciencias.
- Sánchez-Rodríguez M. 2017. “Del barro al tereftalato de polietileno: el oficio de aguador en México.” *Agua y Territorio* (9): 22. <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma/article/view/3474>
- Stoler J. 2017. “From Curiosity to Commodity: A Review of the Evolution of Sachet Drinking Water in West Africa.” *Wiley Interdisciplinary Reviews Water*: 1-28. <http://doi.wiley.com/10.1002/wat2.1206>.
- Tlálloc, Asociación Mexicana de Hidráulica, A.C., núm. 38, septiembre-enero, 2007. Guadalajara, México.” *Agua y Territorio* (9): 48. <http://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/atma/article/view/3476>.
- Villagómez, P. y Bistrain, C. (2008). “Situación demográfica nacional”, México, Consejo Nacional del Población.



## Agua segura y salud ambiental

*Araceli Ortiz Polo*

### **Resumen**

La salud y el agua son el equilibrio que garantiza toda forma de vida en el planeta, garantizar el bienestar solo se puede lograr mediante el desarrollo sostenible de los recursos naturales como lo es el agua. El suministro de agua segura a las poblaciones garantiza el desarrollo económico. El progreso económico es reflejo de la gestión y gobernanza de los recursos hídricos. Agua de mala calidad será la responsable de la salud. Lamentablemente la falta de cultura hídrica ha puesto en estado de alerta a las naciones debido al desperdicio, y la escasez, generado por las sequías así como por la contaminación del ambiente. Los conflictos hídricos medio ambientales, son hoy la constante amenaza a la salud.

### **Introducción**

Salud y agua son el binomio que garantiza equilibrio en los sistemas vivientes, la calidad del agua es desde hace varias décadas, la variable dependiente que expresa el estado de salud de toda forma de vida en este planeta.

Para garantizar el bienestar de las especies vivas en especial el bienestar humano, se debe de lograr el desarrollo sostenible que responda y avale la calidad, el suministro la distribución de agua segura, eliminando la pérdida de la salud de las poblaciones. El progreso económico es, también, el reflejo de la gestión de los recursos hídricos de las naciones, mala calidad de agua es sinónimo de enfermedad, pueblos enfermos revelan pobreza, si las naciones son pobres no pueden garantizar la seguridad del agua ni la salud, convirtiéndose en un ciclo del cual cuesta salir.

Son para todos los países miembros de la Organización Mundial de la Salud, preocupación imperante la contaminación ambiental, el calentamiento global, la pobreza y las enfermedades y fallecimientos causados por la pésima calidad del agua para uso y consumo humano.

Hoy día, el agua escasea, las poblaciones crecen y con ellos la demanda de agua para servicios domésticos, industriales, agrícolas y para todo tipo de industria, la demanda de agua obliga a su búsqueda, la cual cada vez es más costosa, asegurar el suministro y calidad, es, para los sistemas de gobierno todo un reto. La gestión de los recursos hídricos ha ido evolucionando a favor de tratar de resolver la importancia de la calidad y la seguridad de este recurso natural fundamental para la vida, donde la preservación de este líquido vital se garantice para las presentes y futuras generaciones humanas y no humanas.

## **Objetivos del desarrollo sostenible**

A partir de la declaración de los “Objetivos de Desarrollo del Milenio” a inicios de los años noventa, se inicia con la preocupación- ocupación por parte de los países miembros de la ONU (Organización de las Naciones Unidas) para frenar y actuar la problemática de la contaminación ambiental (ONU, 2000). En macados en el “Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente” para el 2015, las naciones se comprometen según la meta 7c, a “Reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento”; sin embargo, el objetivo no fue alcanzado, así que el 25 de septiembre del mismo año, se declaran los “Objetivos del Desarrollo Sostenible” establecidos en la agenda 2030, cuya intención es terminar con la pobreza, asegurar el bienestar para todos y salvaguardar el planeta (ONU, 2015). En esta agenda se presentan 5 objetivos estrechamente relacionados para el tema del agua y la salud, como lo es el “Objetivo 6: Agua limpia y Saneamiento” que pretende garantizar la distribución de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos, el Objetivo 14, referente a la vida submarina, declara la necesidad de conservar y utilizar de forma sostenible los recursos marinos, a su vez; el Objetivo 15 de esta agenda, compromete al cuidado de la vida en los ecosistemas terrestres por medio de la gestión sostenible de los bosques, frenar la desertificación y degradación de los suelos, así como evitar la pérdida de la biodiversidad.

No menos importante la urgencia del combate por frenar el cambio climático y sus lamentables efectos quedo enmarcado en el Objetivo 13, denominado “Acción por el clima”. Todas estas metas compromiso de las naciones se unen para poder alcanzar el Objetivo 3 llamado “Salud y Bienestar” el cual pretende dar alcance y garantizar el la salud y el bienestar para todos en cada etapa de vida.

En estas importantes directrices está explícito o implícito el tema del agua, el agua es vida y es salud. Por ello agua adquiere el valor como un bien social, como un derecho humano e indispensable para toda forma de vida, pero no solo eso, el agua y su calidad, garantizan la seguridad alimentaria, el desarrollo económico y la calidad de vida de todas las especies en sus respectivos ecosistemas, incluido el ser humano. En el transcurrir de los años, hoy nos encontramos a más de la mitad del camino recorrido para el cumplimiento

de estos objetivos, por ello la necesidad de hacer un análisis y reflexión sobre lo alcanzado hasta ahora. Pero ¿quiénes son los responsables de hacer cumplir y llegar a las metas planteadas de estos objetivos? El compromiso no cae solo en los gobiernos, somos todos, todos los sectores de desarrollo humano debemos de adquirir la corresponsabilidad del cuidado de nuestra casa, el Planeta Tierra.

## **Agua segura**

Roa A y Pescador B. en el 2016, comparten el hecho de que la salud de los individuos depende llevar una relación de armonía con el medio ambiente, esto es, conocer la relación entre los agentes del medio que pueden afectar la salud y a su vez, comprender las acciones que como seres humanos realizamos en contra de la integridad natural del medio que nos rodea. Hablando de salud es claro entender que la calidad del agua es fundamental, la salud individual está íntimamente relacionada con la salud de las poblaciones, y el agua como el líquido vital para todas las acciones de desarrollo humano, como la producción de alimentos, sector industrial, uso doméstico y hasta para la recreación. La buena salud de las poblaciones es entonces resultado de la calidad del agua de su entorno, por ello el agua debe de ser segura (Villeda, 2018).

Las afectaciones del cambio climático amenazan la salud poblacional, principalmente por las modificaciones en los sistemas hídricos principalmente de agua dulce. Hoy, hacer llegar agua segura a las poblaciones es un gran reto, en el agua se encuentran diversos componentes que pueden ser perjudiciales para la salud entre ellos agentes químicos, físicos y biológicos que atentan contra los seres vivos, por ello los sistemas gubernamentales de distribución de agua deben de garantizar la seguridad del agua en 6 puntos importantes establecidos por la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2012) conocidos como las 6 C del agua segura, los cuales señalan, primeramente la CALIDAD, lo que significa que en el agua no deben de encontrarse ningún compuesto contaminante que pueda afectar la salud, siendo ella un medio de transporte para su transmisión, la segunda es la CONTINUIDAD, que se entiende como el suministro de agua de calidad de forma permanente y continua a la población, asegurando su presencia para todo tipo de uso sostenible en las 24 h de cada día. Como la tercer C, se encuentra el COSTO, este concepto es muy importante de entender, el agua cuesta, y cuesta mucho; por ello valor monetario debe de incluir, la extracción, los tratamientos, las instalaciones y mantenimientos de las mismas, así como, todo tipo de gasto administrativo, que garantice el buen servicio y suministro, en la posición 4, se establece la COBERTURA lo que tiene como significado que el agua debe de llegar a todas las personas sin ninguna restricción, la CANTIDAD, se refiere a que cada individuo debe de contar con el agua suficiente para satisfacer las necesidades básicas para la higiene personal y la preparación de alimentos, ocupando este criterio el quinto sitio, y como la sexta C de la calidad del agua se encuentra quizás, la que centra toda la definición de agua segura que es, la CULTURA HÍDRICA que se debe de manifestar con los valores, actitudes, conocimiento, costumbres y hábitos que cada persona debe de poseer para el cuidado y uso racional del éste líquido vital en toda esfera social.

## **Agua no segura**

En el agua podemos encontrar todo tipo de compuestos químicos, orgánicos e inorgánicos, solubles e insolubles, materia orgánica como virus, bacterias y parásitos, por ello el agua se convierte en un vehículo de transmisión y con ello una de las principales causas de enfermedad. Por tanto el agua no segura es aquella que pone en riesgo la salud y la vida de los seres vivos, en especial al hombre, por ello los sistemas de gestión del agua de los gobiernos deben de establecer y cumplir con los procesos tecnológicos de los diferentes



tratamientos tanto físicos como químicos y los más importantes los microbiológicos para dar certeza y seguridad al agua de consumo y uso humano.

En los países latinoamericanos existe un alto porcentaje (entre el 20 y 37%) de población que no cuentan con una red de suministros de agua en su domicilio (Gastañaga, 2018), por lo que el abastecimiento de agua lo realizan por diferentes medios, si la zona es urbana o semiurbana, el agua llega a través de pipas o camiones cisterna, pero en las regiones rurales, la población accede al vital líquido por medio de pozos, ríos, manantiales y todo tipo embalses naturales y artificiales, cabe destacar que entre más marginación y pobreza mayor complicación para el acceso al agua de calidad y sobre todo agua de dudosa procedencia que pone en riesgo la salud de quien la bebe y usa (Urquía, 2021).

El no cumplimiento de las normativas para la calidad sanitaria del agua, asegura riesgos a la salud de las poblaciones y con ello la aparición de enfermedades digestivas y respiratorias. Según la OMS (2018), el agua contaminada es el factor de riesgo más importante para que se presenten brotes de enfermedades infecciosas de origen hídrico, el agua no segura ocasiona cerca de 7600 defunciones en menores de 5 años por año, por enfermedades diarreicas principalmente en Centroamérica (PAHO, 2019).

El agua segura no solo debe verse desde la visión particular de la transmisión de enfermedades al ser humano, sino que corre el mismo riesgo los animales y las plantas que son la base de la alimentación y la producción agrícola. La seguridad alimentaria también depende de la calidad del agua que se emplea para el riego y para beber en la producción animal. Los contaminantes del agua tienen a ser bioacumulados en los tejidos animales y vegetales y afectar a estos seres que son parte de la cadena alimentaria, hasta llegar al consumidor final que somos nosotros, por ello, el agua no segura pone en riesgo a seguridad de la inocuidad de los alimentos.

Metales pesados, pesticidas, agroquímicos, hidrocarburos, micro plásticos, microorganismos patógenos y una inmensa variedad de virus se encuentran en el agua, que carece de sistemas de tratamiento primario, secundario y potabilización en su caso, estos contaminantes llegan a los alimentos y al ser consumidos se bioacumulan en los tejidos humanos, principalmente vísceras, ocasionando trastornos en el funcionamiento celular principalmente como disruptor endócrino; el agua no segura siempre será sinónimo de enfermedad.

## **Seguridad hídrica**

Garantizar la calidad del agua para la prevención de enfermedades y el cuidado a la salud, es sumamente necesario, pero no solo en eso cae el concepto de agua segura, sino va más allá. Vilchis-Mata et al, (2018) explican que para toda sociedad un motor de desarrollo es el agua, por lo que todos los países y gobiernos están siendo rebasados ante la compleja relación entre la demanda y la disponibilidad de este bien social como derecho humano. Si las poblaciones ya sean de poca demografía como las altamente densas en población cuentan con agua para todos los servicios, entonces se impulsa el progreso y el crecimiento económico.

Para la Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua, la seguridad hídrica es: ...“la capacidad que tienen las sociedades para lograr un manejo exitoso e integral de sus recursos y servicios hídricos para cubrir las necesidades de agua en la sociedad en todas sus dimensiones”... (Fondos de agua, 2020). Estas dimensiones son, 1.- Ambiental: Establecer la salud en los ecosistemas acuíferos, 2.- Doméstica: Satisfacer las demandas de agua sanitaria en la población, 3.- Económica: apoyo al desarrollo de actividades productivas, 4.-Urbana: desarrollar ciudades y metrópolis sustentables y saludables basadas en la cultura del agua y por último 5.- Resiliencia: Comunidades adaptables a los impactos ambientales y desastres.

Por lo tanto, la seguridad hídrica se debe de interpretar como la suma de acciones que conlleven a garantizar el suministro y distribución de agua segura para todo el desarrollo social. En el meta análisis realizado por Luna Nemecio J. (2021), refiere que la seguridad del agua está en un momento crítico, por lo que se deben de hacer acciones de defensa del agua, dado que hoy es parte de los conflictos medioambientales de corte hídrico más urgentes. Estos conflictos son causados originalmente por la carencia de agua para uso humano, por la gestión desigual de la distribución de agua a las poblaciones más densas en población y servicios, por lo que el agua es llevada de puntos de origen muy lejanos a su distribución y dejando sin la suficiente al lugar de donde fue extraída o tratada.

El tema es complejo, el agua se acaba y la que existe se contamina por acción antropogénica y un gran porcentaje de ella no es tratada para su utilización, sino que se pierde, se mezclan con aguas naturales como ríos y lagos, contaminándolos aún más, hasta que llegan a los mares y océanos, siendo éstos los sistemas más afectados por los complejos contaminantes que llegan a ellos, afectando la vida acuática.

## **Escasez de agua**

Se entiende por escasez de agua la relación que existe entre la oferta de los recursos hídricos disponibles en las poblaciones y la demanda del líquido vital para el desarrollo de las actividades socioeconómicas de las mismas. Si la demanda supera el 20% a la oferta de agua se habla de escasez (Costa Posada et al, 2005).

Datos del Banco Mundial (2022), muestran que 1 de cada 4 personas vive en lugares donde no hay agua, esto hizo declarar el concepto de Crisis Global del Agua, que pone en alto riesgo la producción de alimentos y debilita las economías, se espera que para el 2030 se supere la demanda de agua en un 40%. Los pobres y marginados se verán más afectados y se incrementará la desigualdad social.

La causa principal de la escasez de agua son las sequías que son fenómenos ambientales donde las precipitaciones pluviales disminuyen y que cada vez más vemos sus efectos en las grandes ciudades. En la publicación de Esparza M. (2013) ya se habla de esta terrible situación que pronto se manifestó y que hoy notamos sus efectos de manera lamentable.

Al dejar de llover, los depósitos de agua bajan de nivel o se secan ocasionando falta de distribución y abastecimiento en las poblaciones, afectando la vida social, económica y la salud poblacional.

Lamentablemente la población no hace conciencia de esta problemática, creemos que tal situación no existe debido a que un gran número de población cuenta con agua por medio de la red de distribución municipal, por ello no comprende que se está viviendo en un momento muy tenso en cuestión a la presencia del agua en nuestras vidas. Algunas zonas urbanas que no carecían de agua, hoy comienzan a ver los efectos de esta realidad, la fuerza del flujo de agua se ve debilitado tendiendo como resultado el no poder abastecer los depósitos de altura de agua en los hogares, por lo que la carencia se experimenta, en otras situaciones el agua debe de ser tandeada para poder abastecer a un mayor número de población, por lo que se debe de estar atentos a los días de suministro y hacer las reservas correspondientes.

Aunado al problema tan grave de escasez, se suma la mala calidad del agua derivado de la misma situación de carencia, así que se tiene menos agua de mala calidad (Ramos-Parra, Y.J y col. (2020). Es por tanto, una situación alarmante, se consume más agua de la que se logra recargar con las lluvias, se tiene inequitativa distribución dado que los pobres carecen más de ella que la población con mayor economía, y se sobre explotan los acuíferos hasta su agotamiento sin olvidar la contaminación de la poca agua disponible (Cedeño-Holguín, y Santos- Álvarez, 2016).

Por otro lado se observa en el estudio de Guevara Cayao (2019) que el elevado desperdicio de este importante recurso, es fácil notar las fugas constantes en los sistemas de distribución como a nivel domiciliario, donde no se toma conciencia del significado de dejar ir el agua sin razón. Sequía y escasez no significan lo mismo, las sequías son un fenómeno natural y la escasez es provocada por el hombre, cuando coinciden, se genera una situación de riesgo y desastre social. Se desestabiliza la economía y se impacta el sector salud (Córdoba, 2010; Berardo e Infante, 2018).

## **Huella hídrica**

La definición establece que la huella hídrica (HH) es la suma total de toda el agua que se utiliza para la actividad diaria de una persona, comunidad, institución, ciudad o país, de ella el 4% se deriva del consumo directo (uso domésticos como agua sanitaria y para la elaboración de alimentos), el resto (96%) se considera en el agua que se usa en la producción de bienes y servicios que nos benefician, por tanto se usa de manera indirecta (Burstein-Roda, 2018; Ziccardi, 2012).

La HH es entonces la sumatoria de agua que usamos en cada momento, y esta proviene de 3 fuentes principales: Agua verde, que es la lluvia y la humedad que se forma de ella, el agua Azul, que es la que obtenemos de los ríos, lagos, mares y todo tipo de acuífero, y el agua gris, la cual es el resultado de las actividades humanas. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2019), el cálculo de HH a nivel mundial por persona al año es de 1, 240 000 L. En México es cercana a 1, 971, 000 L.

Kloter, K (2021) habla de los patrones de consumo de productos y servicios altamente industrializados hacen que la HH aumente cada día, conforme avanza la urbanización y el desarrollo de las grandes metrópolis, como ejemplo se puede estimar la HH de consumo en un momento de alimentación como el desayuno de una persona, el cual estará comprendido por un vaso de 250 ml de leche que gastaron 200 L de agua (para la producción del alimento del ganado y la usada en el desarrollo de vida de la vaca), una taza de té 35 L, una taza de café 140 L, 1 jitomate 13 L, 10 g de queso 50 L, 250 g de carne 3,835 L y un huevo 135 L. Pero también la HH es alta en la producción de bienes comunes como un par de zapatos de piel que gasta alrededor de 8, 000 L, una copa de vino 120 L y un tarro de cerveza cercano a 105 L, esto solo como un pequeño cálculo. De esta situación se comprende entonces el concepto de escasez, gastamos más del agua que está disponible (Yohannessen, 2020; Iriarte, 2021).

El agua que “no vemos” es entonces el agua potable que se emplea para la producción de alimentos e insumos para el diario vivir, la cual se extrajo, se trasladó, se trató y de distribuyó hasta formar parte de un proceso productivo y producto terminado que adquirimos, por ello la HH es impresionantemente alta por habitante de este hermoso planeta.

## **Evaluación del objetivo 6 de los Objetivos del Desarrollo Sostenible**

Como se hizo mención anteriormente, el objetivo 6 establecido en la agenda 2030, que prioriza el agua limpia y saneamiento cuya meta es garantizar la disponibilidad de agua para todos, no se ha cumplido, en este momento se puede hacer una evaluación sobre el éxito de este objetivo a 8 años de cumplirse el plazo marcado. ¿Cuál sería el resultado de esta evaluación? Seguramente reprobatoria, la pandemia de la enfermedad COVID - 19, nos ha señalado grandes enseñanzas, pero también, grandes realidades. Nos mostró la necesidad de implementar o afianzar medidas básicas de higiene personal como el lavado correcto de las manos, eso fue muy bueno para frenar la transmisión del virus Sars-Cov-2 principalmente, al igual que

bacterias y otros virus, pero para ello se notó el aumento en el consumo mundial de agua, esto es, aumento la demanda, y con ello el conflicto por el vital líquido

Según la OMS (2021) antes de la Covid - 19, 2,200 millones de personas carecían de agua potable gestionada responsablemente, y 4, 200 millones carecían de saneamiento por sistemas seguros. Como consecuencia de la pandemia 3 000 millones personas en el mundo carecen de las instalaciones apropiadas y básicas en sus hogares para lavarse las manos, que fue el segundo método más efectivo para frenar la transmisión del virus, posterior al uso correcto del cubre bocas. Pero esta dura realidad no solo se vive a nivel de las poblaciones, el sector salud es una víctima más de la crisis global del agua, la misma institución internacional, señala que, 2 de cada 5 centros de salud en los países en vías de desarrollo carecen de agua (Contreras, 2014).

Por tanto, hoy al 2022, se señala que los países pobres muestran un déficit hasta del 61% de reservas de agua, por lo que alcanzar la meta que marca este objetivo se ve pesimista.

No vamos bien, el panorama es triste y preocupante. El Banco Mundial (2021) y la ONU (2021) proyectan que para el 20230, debido a la grave escasez de agua en diversas zonas identificadas como de alto riesgo y marginación, se puede llegar a otros graves problemas medioambientales como los desplazamientos o las migraciones, se estima para ese año que podrían alcanzar a más de 700 millones de personas buscando donde hay agua para poder vivir.

## **Salud ambiental**

El término de Salud Ambiental (SA), ha sido acuñado recientemente pero parte de conceptos y definiciones descritas desde varias décadas atrás, la OMS, es quien la determinó como todos aquellos aspectos de la salud y enfermedades humanas que son determinadas por factores ambientales, o sea la evaluación y control de los factores ambientales (agua, suelo y aire) que pueden afectar la salud (OMS, 1990).

Años posteriores la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 1998) pronuncia que la SA es la intersección entre el medio ambiente y los factores físicos, químicos y biológicos y los comportamientos de éstos que influyen en la salud humana, y constituyen parte de la salud pública.

Espinoza (2018) hace un análisis de la evolución de la salud ambiental hasta nuestros días, observando que en la actualidad los factores medioambientales se consideran Determinantes Ambientales de Salud (DAS). El agua entonces como factor ambiental es uno de los más importantes DAS, y es su calidad, la razón por la que se afecte la salud de los ecosistemas y de los seres humanos. Esto es a mala calidad de agua, mala salud poblacional. En el campo de la SA, se considera que los problemas medioambientales como la contaminación de los factores del ambiente como el suelo, da como resultado lixiviados con potencial tóxico que llegan a los cuerpos de agua subterráneos sumando a los compuestos químicos naturales que encontramos en ellos, la calidad del aire cada vez más lamentable, hace que tras los procesos de precipitación de lluvia se arresten y se generen nuevas formas químicas que llegan de la atmosfera a los suelos y cuerpos de agua, contaminándolos, y por si misma el agua como el principal elemento del medio donde se desarrolla la vida, que en centramos en ella compuestos químicos naturales nocivos como metales pesados más todo tipo de contaminantes antropogénicos que la hacen cada vez más insegura, tóxica, peligrosa y vehículo de transmisión y generación de enfermedades.

Sí la calidad del medio ambiente sigue en deterioro, los elementos y factores del mismo serán cada vez más una amenaza para la salud y con ello para la vida.

Como datos históricos resultado de la mala calidad del agua en su participación en la SA, están la historia de pandemias como la del cólera, pero la contaminación microbiana del agua sigue siendo alta, según la OMS (2022), 2000 millones de personas utilizan agua contaminada con heces para sus funciones domésticas, y esta da explicación de la aparición de enfermedades reemergentes y emergentes como disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis entre las más conocidas, así como un sin número de enfermedades diarreicas bacterianas y virales.

El cambio climático y el calentamiento global, resultado de las emisiones contaminantes humanas a los elementos de ambiente, hace y hará que la SA, siga desequilibrada y con ello la continua afectación a la salud poblacional (Villanueva, y Col, 2019), generando aumento en la demanda de los servicios de salud, escasez de medicamentos, improductividad laboral y alto costo social por las enfermedades ocasionadas por el lamentable momento que vivimos derivado de la contaminación.

La aparición de enfermedades nuevas, de difícil diagnóstico o el incremento de cánceres y daños genéticos son expresión de la amenaza de nuestro ambiente, la OMS (2019), anuncia que cada año las diarreas cobran cerca de 485 000 defunciones, pero los metales como el arsénico y otros metales pesados, los productos farmacéuticos, agroquímicos, pesticidas, compuestos organoclorados y organofluorados, así como los recientes plásticos y microplásticos son hoy la causa de signos y síntomas que confunden y dificultan los diagnósticos, generando nuevas alteraciones como el Síndrome de Sensibilidad Química Múltiple y los tantos disruptores Endocrinos (Arévalo F. y Cotte C. 2016), (Moreno J.A. 2015).

## **Gestión del agua**

La situación actual sobre el manejo y distribución del agua en las naciones, es nombrada como la Gobernanza de los Recursos Hídricos. Para Fernández-Vargas, G (2020) el tema es todo un desafío, los países atraviesan la pesada y cruel crisis global del agua, lograr la seguridad hídrica es todo un reto, la gestión de los recursos hoy son compartidos desde los niveles de gobierno local hasta nivel internacional, por lo que la directriz está establecida en las normativas de cada país, ajustadas a las organizaciones internacionales en favor de la salud y del cuidado del medio ambiente.

En el 2016 en México, Jabardo P, y Padilla S, explican que la mala gobernanza del agua genera conflictos serios entre los usuarios y las instituciones responsables de la distribución y abasto, pero no entre ellos, sino también entre la gestión de agua de los municipios o ciudades o poblados y sus entidades federativas o provincias, y estas a su vez con los gobiernos federales.

La escasez, la mala calidad y todo tipo de problemas técnicos en la red de distribución como las fugas, ocasionan las diferencias en la población que demanda el servicio debido a que los pagos o cobros del recurso no son equitativos al aseguramiento de la distribución. Estos conflictos son cada día mayores debido a otra gran problemática que es la demanda y derecho a la vivienda (Luna, 2021).

El crecimiento desmedido de la mancha urbana genera más demanda de agua a los nuevos desarrollos habitacionales, que en las grandes urbes son edificaciones de grandes alturas, todos los días se instalan nuevas colonias, fraccionamientos etc., que obligan a los gobiernos la distribución controlada por tandeo de agua para hacer frente a la demanda total de la población, pero también está la demanda del sector del sector educativo, industrial y de gestiones administrativas tanto públicas como privadas que necesitan agua para servicios y saneamiento.

La gestión de los recursos hídricos requiere el apoyo de políticas públicas y de normativas que sean actuales a las necesidades cambiantes de la sociedad, pero sin perder el enfoque de la importancia de este

líquido vital para el desarrollo de la vida humana y no humana. Plantear Nuevas estrategias de gobernanza y gestión del agua, son necesidades urgentes que se deben de establecer, para el aseguramiento del agua y su calidad y con ello garantizar la salud.

## **Reflexionar y actuar**

El agua es el único medio que conocemos para el desarrollo de la vida en este planeta, estamos viviendo la Crisis Global del Agua, no podemos seguir igual.

Es momento de reflexionar sobre el papel individual y colectivo que jugamos ante este momento crítico, todos somos responsables de lo que pase con ella en el presente y sobre todo en el futuro, el aseguramiento del agua está en nuestras manos, debemos de ser conscientes de la situación de escasez global y del cambio climático que trae consigo las sequías, o todo lo contrario, desastres naturales por fenómenos meteorológicos hídricos que dañan la producción de alimentos, afectan la economía, la sociedad y causan muertes.

Tomar conciencia de la disminución de nuestra huella hídrica es indispensable, fomentar la cultura hídrica en las poblaciones será la base para generar el cambio social, ahorrar agua, cuidarla, hacer uso racional de ella, reciclarla y captar agua de lluvia son acciones benéficas en las que todos podemos incidir, no es solo responsabilidad de los gobiernos, la gestión y la gobernanza sí es su responsabilidad, pero la nuestra es garantizar el agua para nosotros y los que vienen.

Aseguremos el agua, necesitamos agua segura para vivir, que no ocasione enfermedades, necesitamos agua para la seguridad alimentaria, para la generación de servicios y bienes y hasta para la recreación. Agua limpia, de calidad, potabilizada, continua, que de abasto a todos y para todos, a bajo costo son las características del agua que garantizan la existencia todo tipo de vida en el planeta.

Que no nos sorprenda el futuro mediato, que el Objetivo 6 del Desarrollo Sostenible, sea alcanzado, que no vivíamos en la amenaza por la falta de agua, si no podemos revertir el daño causado a este elemento natural, por lo menos que no contengamos la afectación, la vida humana y no humana están en juego.


## **Bibliografía**

- Armenta, E. M. P., & Adams, A. S. (2017). La gestión integral del agua en dos consejos de cuenca del noroeste de México. *Entreciencias: Diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, 5(15).
- Arvelo, F., Sojo, F., & Cotte, C. (2016). Contaminación, disruptores endocrinos y cáncer. *Investigación Clínica*, 57(1), 77-92.
- Berardo Manero, M. F. F., & Infante, M. (2018). Agua Segura.
- Burstein-Roda, T. (2018). Reflexiones sobre la gestión de los recursos hídricos y la salud
- Cedeño-Holguín, D. M., & Santos-Álvarez, M. D. R. (2016). Prácticas sanitarias sobre el uso de agua segura. *Dominio de las Ciencias*, 2(3), 180-188.
- Contreras Rojas, M. C. (2014). Nutrición y tuberculosis. Síntesis de la guía OMS, “La atención y apoyo nutricional a pacientes con tuberculosis”.
- Cota, A. C. (2015). La gestión integrada de recursos hídricos en la política federal del agua: propuesta para la nueva Ley General de Aguas en México. *Gestión y Análisis de Políticas Públicas*, 69-83.
- Chávez, J. A. V. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 304-308.

- Esparza, Miguel. (2014). La sequía y la escasez de agua en México: Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia*, (89), 193-219. Recuperado en 03 de agosto de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0186-03482014000200008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0186-03482014000200008&lng=es&tlng=es).
- Espinosa Ramírez, A. J. (2018). El agua, un reto para la salud pública: la calidad del agua y las oportunidades para la vigilancia en salud ambiental. *Doctorado Interfacultades en Salud Pública*.
- Fernández-Vargas, G. (2020). La gobernanza del agua como marco integrador para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Latinoamérica. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 23(2).
- Ferra, H. R. R., Avilés, J. M., Arellano, E. E. F., & Halbinger, A. S. Agua y salud pública.
- Garros, M. C., & Safar, E. (2020). *Agua segura como derecho humano*. Ediciones Universidad Católica de Salta.
- Gastañaga, M. D. C. (2018). Agua, saneamiento y salud. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 35, 181-182.
- Guevara Cayao, H. R. (2019). Proyecto de desarrollo local: promoviendo el consumo de agua segura como práctica saludable en la población del Centro Poblado de Mayobamba-2019.
- Guzmán, B. L., Nava, G., & Bevilacqua, P. D. (2016). Vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia: desafíos para la salud ambiental. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(2), 175-183.
- Iriarte, J. M. O. (2021). COVID-19 y Salud Ambiental. *Revista de Salud Ambiental*, 21(2), 196-198.
- Jabardo Pereda, V., & Padilla y Sotelo, L. S. (2016). La escasez de agua en la Huasteca Potosina (México): conflictos locales. *Revista Universitaria de Geografía*, 25(2), 133-165.
- Jiménez, B., Mazari, M., Domínguez, R., & Cifuentes, E. (2004). El agua en el Valle de México. *El agua en México vista desde la academia. Science Academy, México*.
- Juárez, M. M., Poma, H. R., & Rajal, V. B. (2015). ¿Cumplir con la legislación nos garantiza consumir agua segura? *RIBAGUA-Revista Iberoamericana del Agua*, 2(2), 71-79.
- Kloster, K. (2021). *Las luchas por el agua en México (1990-2010)*. Universidad Autónoma de la Ciudad de México-UACM.
- Luna Nemecio, J. (2021). Conflictos socioambientales por la defensa del agua en México: un meta-análisis cartográfico conceptual. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4), 398-412.
- Mora Alvarado, D., & Portuguese, C. F. (2020). Agua para consumo humano en Costa Rica: de los objetivos de desarrollo del milenio a los objetivos de Desarrollo Sostenible.
- Moreno, J. P. A. (2015). Disruptores endocrinos persistentes y enfermedades crónicas: un antiguo problema para las generaciones actuales. *Revista de Salud Ambiental*, 15, 70-72.
- Pacheco-Vega, R. (2015). Agua embotellada en México: de la privatización del suministro a la mercantilización de los recursos hídricos. *Espiral (Guadalajara)*, 22(63), 221-263.
- Pozo, M., Serrano, J. C., Castillo, R., Guerrero, P., Oviedo, A. M., Loughnan, L., & Farfán, G. (2015). JMP (OMS/UNICEF).
- Ramos-Parra, Y. J., & Pinilla-Roncancio, M. V. (2020). Calidad de agua de consumo humano en sistemas de abastecimiento rurales en Boyacá, Colombia. Un análisis infraestructural. *Revista EIA*, 17(34), 219-233.
- Ravelo Vivenes, C. U. (2022). Importancia de utilizar agua segura en la prevención de enfermedades de origen hídrico en centros educativos ubicados en municipios del estado Bolívar. Venezuela: Array. *Guayana Moderna*, 10(10), 96-110. Recuperado a partir de <https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/guayanamoderna/article/view/5503>

- Roa, L. A., & PESCADOR VARGAS, B. E. A. T. R. I. Z. (2016). La salud del ser humano y su armonía con el ambiente. *Revista Med*, 24(1), 111-122.
- 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.
- Villanueva, B. R., Salvador, M. B., & Huelgas, R. G. (2019). Cambio climático y salud. *Revista Clínica Española*, 219(5), 260-265.
- Yohannessen, K., Canals, M., Cáceres, D., Varas, H., Villalón, M., & Ruiz, P. (2020). Reflexiones, aprendizajes y desafíos la salud ambiental en tiempos de pandemia por COVID-19. *Revista Chilena de Salud Pública*, 37-49.
- Ziccardi, A. (2012). Pobreza, escasez de agua y salud en la Ciudad de México.





## El arbolado urbano en la gestión del agua pluvial

*Alfonso Suárez-Islas  
José Justo Mateo-Sánchez*

### **Introducción**

La gestión del recurso hídrico es uno de los principales retos para la sostenibilidad de las ciudades en el presente siglo. Se estima que la población mundial viviendo en áreas urbanas es alrededor de 4300 millones de habitantes, esto es un 56% del total, y se pronostica que para el 2050 esta cifra alcanzará el 69% (Worldometer, 2022). Esto significa hacia el futuro cercano una mayor demanda de agua para satisfacer el consumo de la población e industrias asentadas en áreas urbanas y, por otro lado, el incremento de áreas impermeables cubiertas por construcciones y vialidades, con sus consecuentes dificultades para el manejo del agua de lluvia, especialmente en eventos de tormenta. Lo que lleva a una paradoja ambiental: el agua de lluvia que causa inundaciones en las ciudades durante la estación húmeda, hace falta para abastecer a la población durante gran parte del año, especialmente durante el estiaje.

Situándonos en nuestro contexto del estado de Hidalgo, la problemática hídrica en las áreas urbanas más pobladas se resume, por una parte, en la sobreexplotación de los acuíferos de los que depende la población y en consecuencia el desabasto de agua; y por el otro lado, la ocurrencia de inundaciones debidas en parte a sistemas de drenaje ineficientes. Por medio de estudios de balance hídrico, se ha determinado un mayor volumen de extracción que el que se repone por medio de la precipitación pluvial. En el Acuífero Cuautitlán-Pachuca Galindo *et al.* (2010), calcularon para el año 2011 un balance hídrico con un déficit de  $-194.97 \text{ hm}^3/\text{año}$  y estimaron que para el 2021 el déficit aumentaría a  $-236.29 \text{ hm}^3/\text{año}$ . Para el Acuífero Valle de Tulancingo, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020) determinó un déficit de  $20.93 \text{ hm}^3$  anuales que se están extrayendo del almacenamiento no renovable del acuífero, por lo que no existe disponibilidad de agua subterránea para otorgar nuevas concesiones.

Para contribuir a solucionar esta problemática se propone una gestión sostenible de aguas pluviales. Este concepto implica una serie de métodos que incluyen medidas destinadas a retener el agua en dónde se precipita, y con ello reducir los escurrimientos y las inundaciones, cambiando el enfoque único de construcción de obras hidráulicas para el desalojo rápido de las aguas pluviales y de drenaje doméstico, lejos de los centros de población (Courty, 2021). La World Wildlife Fund (WWF, 2022) sugiere que usemos “soluciones basadas en la naturaleza”, las cuales son “un conjunto de acciones o políticas que aprovechan el poder de la naturaleza para abordar algunos de nuestros desafíos sociales más urgentes, como la amenaza de la disponibilidad del agua, el creciente riesgo de desastres naturales o el cambio climático”.

Entre las soluciones basadas en la naturaleza que nos pueden auxiliar en la gestión sostenible de las aguas pluviales en los ambientes urbanos está la infraestructura verde-azul. Este concepto se entiende como el sistema interconectado de elementos naturales o seminaturales: vegetación, humedales, cursos de agua, que brindan servicios ecosistémicos como conservación de la biodiversidad, adaptación al cambio climático, disminución de inundaciones, control de escorrentías y manejo de drenajes (Bertrand-Krajewski, 2021). Siendo los árboles urbanos el epicentro del diseño de esta infraestructura, porque son elementos naturales que proporcionan beneficios y valores tangibles que mejoran la calidad de vida, la seguridad y la salud pública (FAO, 2016). Contribuyendo a la habitabilidad, la resiliencia y la sostenibilidad de las ciudades (Phillips y Atchison, 2020).

En este trabajo nos enfocamos a revisar el papel del arbolado urbano en la gestión hídrica como parte de propuestas tecnológicas de solución a la crisis del agua, desde las bases hidrológicas y ecológicas que sustentan estas propuestas. Con el objetivo de recomendar la implementación de algunas tecnologías sencillas para la retención e infiltración del agua de lluvia y la aplicación de técnicas de la dasonomía urbana para aprovechar el recurso hídrico en el mejoramiento de la vitalidad de los árboles, se presentan en forma gráfica ejemplos de situaciones locales, con sus aciertos y errores. El propósito final es contribuir a la formación de una cultura de la valoración de la presencia del árbol, como ser vivo coexistiendo con los seres humanos en el ambiente urbano y su relación con el agua para la vida.

## **Ciclo del agua de lluvia en ambientes naturales y urbanos**

Para dimensionar el efecto de las superficies impermeables sobre el ciclo del agua de lluvia en ambientes naturales y aquellos altamente urbanizados, es conveniente revisar la distribución del flujo de agua de lluvia en el terreno, como lo enuncia Arnold y Gibbons (1996) con los siguientes datos. La lluvia que se precipita en ecosistemas naturales se distribuye aproximadamente de la siguiente forma: un 50% se infiltra en el

suelo, un 25% en forma superficial y otro 25% en forma profunda; la escorrentía es de cerca de un 10% y la parte de evapotranspiración representa un 40%. En contraste, en áreas urbanas con una alta proporción de superficies impermeables (70 al 100%), el agua de lluvia que logra infiltrarse es de apenas un 15%, un 10% en forma superficial y el restante 5% en niveles profundos del suelo; la escorrentía alcanza un 55% y la evapotranspiración un 30%. Además, los cambios en los paisajes naturales a consecuencia de la urbanización con la construcción de superficies impermeables, aumentan significativamente el volumen y velocidad del agua de escorrentía y consecuentemente reducen la infiltración e impactan directamente en la recarga de los mantos acuíferos (Arnold y Gibbons, 1996).

El modelo de Zubelzu et al. (2019) ilustra el flujo hidrológico y como la infraestructura urbana actúa a través de las superficies impermeables como una barrera que impide o retarda la infiltración, aumenta la evaporación y conduce el agua por drenajes fuera del sitio, lo que implica un déficit en la recarga natural del acuífero (Fig. 1). Por otra parte, los árboles y otros tipos de vegetación en los jardines influyen en la hidrología de un ambiente urbanizado principalmente a través de tres mecanismos: la interceptación de la lluvia por el dosel, la infiltración del agua al suelo, y la evapotranspiración. En el enfoque de Sistemas de Drenaje Sostenible (SUDS), las áreas verdes pueden incluso brindar soluciones de almacenamiento del agua de lluvia de eventos de tormenta, ya sea para el aprovechamiento de la vegetación o infiltración regulada al acuífero (Zubelzu et al., 2019).

**Fig. 1. Modelo de flujo hidrológico urbano en zonas pavimentadas y áreas cubiertas por jardines. Modificado de Zubelzu et al. (2019).**

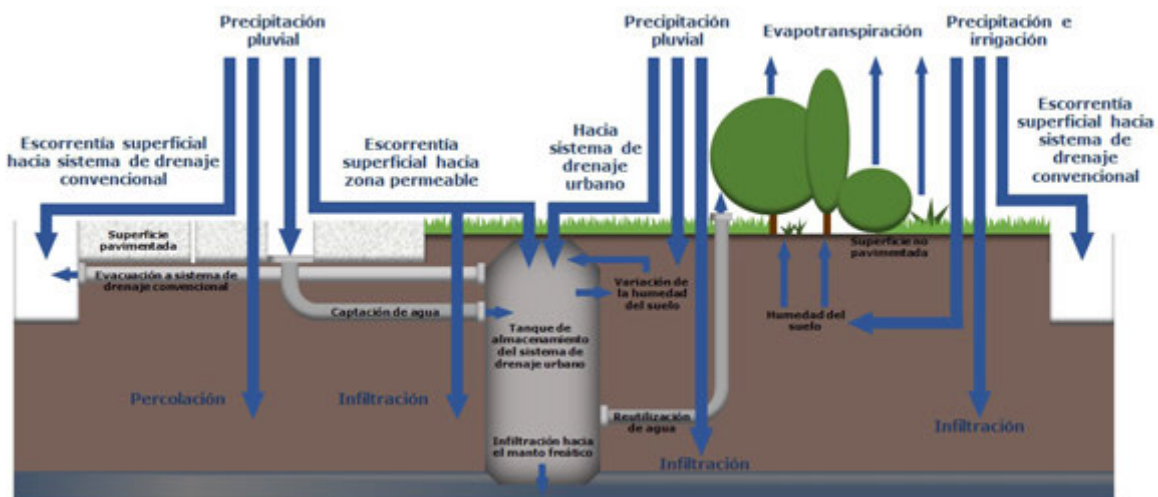


Ilustración: S. Popoca-Paredes.

Los beneficios de los árboles en el aumento de la infiltración y el almacenamiento de agua en el suelo dependen de la especie, del tamaño y la edad, las características del suelo y las limitaciones ambientales urbanas (Bartens et al., 2008). Las hojas y ramas de las copas de los árboles interceptan y almacenan el agua de lluvia, parte de la cual se evapora y otra parte gotea a la superficie o escurre por el tronco, reduciendo así el volumen de lluvia que llega al suelo (Carlyle-Moses y Gash, 2011). La interceptación de lluvia por el dosel de los árboles se ve afectada por las características del evento (magnitud, intensidad, etc.), especialmente durante

una tormenta; características de los árboles (especie, edad, tamaño de la copa, salud, etc.) y otras condiciones meteorológicas variables (temperatura, viento, etc.) (Li et al., 2017). Se tienen evidencias que en el suelo el sistema de raíces aumenta las tasas de infiltración, lo que permite que el agua de lluvia sea retenida en la matriz del suelo y se reduzca la escorrentía (Burgess et al., 1998).

## **Tecnologías para la gestión hídrica en ciudades**

### **a) Jardines de lluvia**

Los jardines de lluvia, jardines infiltrantes o rain gardens son áreas verdes a poca profundidad del nivel general del terreno (Figs. 2 y 3), con vegetación preferentemente nativa, que absorben la mayor parte del agua de lluvia; su localización es estratégica para captar la escorrentía proveniente de superficies impermeables como techos y carreteras; después de una tormenta se llenan de agua y luego ésta se filtra en el suelo en lugar de perderse en el drenaje de aguas pluviales (USDA, 2009). La construcción de un jardín de lluvia es de bajo costo, implica la excavación de un área del jardín o el aprovechamiento de una depresión natural, alejado al menos 3 m de construcciones o tuberías. En el fondo de la excavación se colocan en capas diferentes materiales filtrantes como grava y arena de diferente tamaño y encima el suelo del sitio, que puede ser mejorado con composta y/o mantillo (mulch) para aumentar su porosidad y capacidad de absorción de agua (Bannerman, 2003).

Los beneficios de un jardín de lluvia van más allá de la captación e infiltración de agua para evitar inundaciones durante eventos de tormenta. Funcionan como áreas de almacenamiento de agua en el suelo, que pueden suministrar humedad a la vegetación de los jardines y con ello disminuir las necesidades de riego, especialmente con agua potable que puede ser destinada al uso doméstico en las ciudades. Además, ayudan a la filtración de elementos contaminantes presentes en el agua de escorrentía, sirven como hábitat de insectos benéficos como polinizadores, también se puede disminuir la población de mosquitos al reducir encharcamientos, principalmente en zonas de alta pluviosidad (Hinman, 2007).

Se recomienda que la vegetación del jardín de lluvia sean especies nativas, sin embargo, se pueden incluir especies introducidas si no se cuenta localmente con aquellas que estén adaptadas a las condiciones de suelos saturados de humedad durante periodos cortos. La ubicación de las especies está en función del grado de humedad en el suelo que toleren, dependiendo de la cantidad y la distribución de las lluvias a lo largo del año. De esta manera, las especies herbáceas más tolerantes se ubican en la parte más baja del jardín de lluvia y las arbóreas con raíces extensas pueden ubicarse más alejadas. En todo el diseño debe considerarse el espacio de crecimiento disponible para cada especie, el cual deberá estar acorde a las dimensiones que alcanzarán las plantas, especialmente los árboles, en su etapa adulta (Fig. 2).

Fig. 2. Jardín de lluvia en la vialidad principal de Ciudad Universitaria Tulancingo, Hidalgo.



Foto: A. Suárez-Islas.

Se observa la captación de agua después de una lluvia de 10 mm el 3 de junio del 2021, el agua se infiltró en alrededor de 3 horas después del evento de lluvia, no se observaron encharcamientos en el pavimento. En la construcción de la vialidad se conservaron algunos de los árboles nativos de sauce (*Salix humboldtiana* Willd.) y se plantaron jacarandas (*Jacaranda mimosifolia* D. Don), una especie introducida.

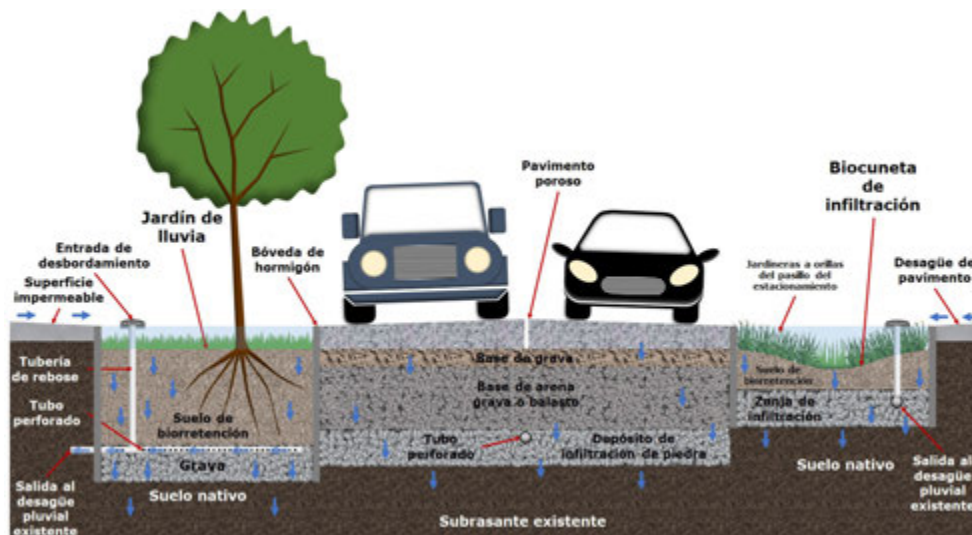


## b) Calles y estacionamientos verdes

En muchas ciudades, las calles constituyen alrededor de un tercio o más de toda su superficie, esto es cerca de la mitad del área impermeable urbana, lo que representa una barrera para la hidrología natural (National Association of City Transportation Officials (NACTO), 2017). El agua de lluvia en las calles cubiertas con concreto o asfalto impermeable, se recogen y transportan directamente hacia los sistemas de alcantarillado pluvial o se mezclan con las aguas negras, en ocasiones se tratan, pero finalmente se conducen a corrientes fluviales cercanas o al mar. Como alternativa, la United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2021a) propone construir “calles verdes” (Green Street), las cuales integran procesos naturales para la gestión de aguas pluviales en el lugar dónde se originan; para ello se utilizan: extensiones de vegetación en las aceras, jardines de lluvia, cunetas verdes, pavimentos permeables y la presencia de árboles en las calles (Fig. 3).

Otras superficies impermeables que ocupan grandes áreas en las ciudades son los estacionamientos, especialmente en áreas comerciales, fábricas, instituciones educativas y oficinas gubernamentales, en los que frecuentemente ocurren inundaciones debido a que la infraestructura de drenaje es ineficiente (Fig. 6). Como alternativa se tiene los “estacionamientos verdes” (green parking lot), estos lugares destinados al aparcamiento de vehículos reúnen varias técnicas para reducir la descarga de aguas pluviales por escorrentía a los sistemas de drenaje. Incluyen el diseño de las dimensiones correctas de las plazas de aparcamiento para maximizar la ocupación, pavimentos y otras superficies porosas; además de infraestructura verde, como jardines de lluvia y biozanjas en la parte media y a lo largo del perímetro del estacionamiento (Fig. 3). Para la construcción de estas superficies se pueden utilizar grava suelta, adoquines tradicionales y de césped (adopasto), acolchado (mulch) de astillas de madera o corteza de árboles, ladrillos, piedra natural y pavimentos permeables (USEPA, 2021b).

Fig. 3. Modelos de jardín de lluvia y biocuneta de infiltración, instalados en una calle y/o estacionamiento verde.



Se observa en el diseño que las pendientes de las vialidades están orientadas hacia el jardín de lluvia y la biocuneta, además se proyectan tuberías y coladeras previendo el desbordamiento de agua en caso de un evento de tormenta que supere la capacidad de infiltración de la infraestructura verde. Basado en diseños de infraestructura verde de USEPA (2021a), ilustración: S. Popoca-Paredes.

Para contribuir a la infiltración del agua pluvial en calles y estacionamientos, se puede instalar los pavimentos permeables sobre un lecho de piedra triturada, grava y arena. En éstos se utilizan versiones del asfalto o concreto tradicional, con arena y finos reducidos en la mezcla de cemento o asfalto, para permitir una mayor porosidad, además se prefieren de colores claros para reducir el calentamiento de su superficie. Con una instalación adecuada, los pavimentos permeables pueden servir como alternativas duraderas de bajo mantenimiento y costo, a los tradicionales pavimentos impermeables. Los adoquines fabricados de hormigón son muy útiles en estacionamientos verdes, constan de unidades con pequeñas aberturas entre juntas y contienen agregados de tamaño pequeño altamente permeables (USEPA, 2021c).

## **Gestión del arbolado urbano**

### **a) Selección de la especie correcta**

La selección de la especie correcta, ya sea árbol o arbusto, para su uso en la dasonomía urbana es un ejercicio determinante para lograr los efectos benéficos de este tipo de vegetación en los ambientes ciudadanos, minimizando los efectos negativos sobre la infraestructura y las actividades humanas cotidianas. Elegir las mejores especies para un sitio en particular debe de ir acompañado de definir el objetivo adecuado a la necesidad y circunstancia en tiempo, espacio y recursos del área que se va a intervenir; además de hacer la plantación del ejemplar de la forma correcta. La organización Arbor Day Foundation (2022) resume este ejercicio con la máxima “El árbol correcto en el lugar correcto” y enuncia la siguiente guía para elegir la mejor especie al sitio de interés:

1. Altura. ¿El árbol interferirá con algo cuando esté completamente desarrollado?
2. Extensión de la copa. ¿Qué tan ancho crecerá el árbol?
3. ¿El árbol es caducifolio o perennifolio? Es importante considerar este aspecto en el diseño del paisaje urbano, su valor estético por las coloraciones de las hojas durante las diferentes estaciones del año. En otro caso, las hojas sobre las vialidades pueden representar algún inconveniente difícil de manejar con la infraestructura existente y por las actividades humanas que se desarrollan en el área. Por otra parte, debe considerarse las necesidades de sombra a lo largo del año y su relación con la temperatura y humedad afuera y adentro de las construcciones vecinas.
4. Arquitectura o forma de la copa. Es uno de los aspectos más importantes en el paisajismo, como un elemento a armonizar con la arquitectura de las edificaciones.
5. Tasa de crecimiento. ¿Cuánto tiempo tardará el árbol en alcanzar su altura máxima?
6. Requerimientos de suelo, sol y humedad. Los árboles nativos están adaptados al suelo y clima de las zonas donde crecen de manera natural, sin embargo, en los ambientes urbanos generalmente hay elementos contaminantes en el aire y en el agua que podrían dificultar su crecimiento y desarrollo. Por lo cual se debe considerar también a las especies introducidas como posibles especies a elegir, considerando las de menor impacto ambiental y que no se conviertan en especies invasivas.
7. ¿Produce frutos? En ciertas ocasiones es deseable la producción de frutos para consumo humano o de la fauna silvestre, pero en otras situaciones los frutos maduros sobre el pavimento pueden significar un riesgo de accidente o daños a los transeúntes y vehículos.
8. Zona de rusticidad. Las temperaturas y humedad extremas en las que se espera que crezca el árbol, serán determinantes para la supervivencia de la especie a elegir.

Una situación en particular es cuando el árbol nació o fue plantado a orillas de campos de cultivo antes de que ocurriera el cambio de uso del suelo por un proceso de urbanización, quedando como remanente de un pasado rural (Fig. 4). En este caso la especie no fue seleccionada para desarrollarse en una ciudad y las nuevas condiciones de crecimiento podrían no ser apropiadas para el ejemplar. Sin embargo, es conveniente valorar la permanencia del árbol en función de si es una especie sujeta a protección o si es un árbol notable por su tamaño, longevidad, valor histórico, etc. Será importante el compromiso con la naturaleza y congruencia ética de los tomadores de decisiones y la población para preservar estos árboles para las generaciones futuras como un acto de generosidad, más allá del beneficio económico presente que signifique para algunas personas, de la urbanización a costa de la naturaleza.

**Fig. 4. Árbol de fresno (*Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh.) en un área suburbana con crecimiento inmobiliario acelerado en la ciudad de Tulancingo, Hidalgo.**



Este ejemplar es notable por su tamaño y longevidad, además pertenece a una especie representativa del paisaje en la región geocultural conocida como Valle de Tulancingo. Por lo que se hace necesario que las autoridades locales incorporen a las políticas de desarrollo y su normatividad, la protección de este tipo de árboles.



Para ayudar en la selección de las mejores especies adecuadas a una ciudad o zona en particular existen las denominadas “paletas vegetales”, en particular para las ciudades más grandes del país tenemos algunos ejemplos: Ciudad de México (Rodríguez y Sánchez, 2003), Guadalajara (Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial, 2013), León (Dirección General de Medio Ambiente, 2021). Estos manuales reúnen la información de las características botánicas, necesidades de suelo y clima, el valor estético de las especies, etc. Además, se sugiere consultar a profesionales del área forestal, del paisaje, botánicos y biólogos, con experiencia y conocimientos de la flora local.

## b) Adecuación del diseño urbano

La inclusión de vegetación, especialmente árboles, en calles y estacionamientos ayuda a reducir el efecto de isla de calor y mejorar la apariencia estética del área. Para que los árboles urbanos cumplan efectivamente con estos objetivos, se desarrollen adecuadamente y no ocasionen daños a la infraestructura vial y de servicios públicos, es necesario adecuar el diseño de las vialidades, líneas de conducción de servicios públicos, edificios y demás infraestructura urbana para dar el suficiente espacio de crecimiento, tanto en el suelo como en la parte aérea (Figs. 5 y 6).

**Fig. 5. Árboles de fresno y pirul (*Schinus molle* L.) con espacio reducido para su crecimiento y supervivencia en una calle recientemente pavimentada.**



Es claro que no se tomó en cuenta el bienestar de los árboles, se pavimentó hasta el “pie” impidiendo que las raíces puedan aprovechar el agua de escurrimiento de la propia calle y de las construcciones vecinas. Se puede adecuar el espacio de crecimiento de los árboles “cediendo” parte de la superficie de la calle para la construcción de un jardín de lluvia.

**Fig. 6. Estacionamiento situado en la parte más baja del terreno, anegado por la escorrentía proveniente de las vialidades y edificios adyacentes.**



Una alternativa de adecuación del diseño para evitar esta situación, es la construcción de jardines de lluvia para infiltrar el agua excedente, además la presencia de árboles brindaría sombra para disminuir el calentamiento excesivo en el interior de los automóviles estacionados. Foto: A. Suárez-Islas.

### **c) Mejoramiento de las condiciones de crecimiento**

El mejoramiento de las condiciones de crecimiento del árbol urbano, le beneficia directamente en su vigor, lo que le da mayor probabilidad de una vida longeva y sana brindando servicios ecosistémicos y belleza escénica. A su vez esto disminuye la probabilidad de ocurrencia de eventos como la caída de ramas y troncos muertos, que pongan en riesgo por lesiones al ser humano y animales domésticos, así como por daños a infraestructura y vehículos. Debe ponerse a disposición de las raíces de los árboles, volúmenes suficientes de suelo fértil para garantizar un crecimiento adecuado. Si el sitio no proporciona suficiente espacio, hay que construir “camino para las raíces” hacia un espacio abierto adyacente o celdas estructurales que pueden soportar aceras o pavimento, al mismo tiempo que proporcionan espacio para el suelo no impactado debajo de la superficie del suelo (USEPA, 2021a).

Una forma de mejorar la fertilidad del suelo es la aplicación de mantillo (mulch) alrededor de los árboles (Fig. 7). El mantillo es la materia orgánica que cae del árbol (hojas, ramas delgadas, corteza, incluso madera) triturada y compostada, incorpora nutrientes a medida que se descompone y ayuda a la biología general



del suelo. Sirve para proteger a las raíces ante temperaturas extremas y pérdida de agua por evaporación y escorrentía. También ayuda a reducir la competencia de las malezas y el césped, además de evitar el daño mecánico de las máquinas podadoras al mantener el césped alejado de la base del árbol. Para que sea más efectivo, la capa de mantillo debe tener de 5 a 10 cm de altura y cubrir la mayor parte del sistema de raíces. Al colocar mantillo, se debe tener cuidado de no cubrir la base del tronco, un área libre alrededor de la base de 2.5 a 5 cm de ancho es suficiente para evitar condiciones demasiado húmedas (International Society of Arboriculture (ISA), 2021).

**Fig. 7. Colocación de ramas, hojas y corteza (mantillo) en la cepa de un árbol de cedro blanco (*Callitropsis lusitanica* (Mill.) D.P. Little) en un jardín con una pendiente ligera y suelo compactado.**



El bordo de la parte de abajo sirve para retener la escorrentía arriba de la pendiente y esta reforzado con ramas delgadas entrelazadas. Esta obra para la conservación de suelo y agua se llama terraza individual. Foto: A. Suárez-Islas.

Otra forma de mejorar las condiciones de crecimiento para los árboles urbanos es la liberación de obstrucciones para raíces, troncos y ramas. En la parte de la raíz son muy frecuentes las obstrucciones en los ambientes citadinos, impidiendo que las raíces puedan aprovechar el agua de lluvia (Fig. 8). Además, la práctica de construir camellones elevados sobre el nivel de la calle y plantar los árboles en la parte más alta (Fig. 9), hace que las raíces en busca de humedad crezcan muy superficiales y se topen con las guarniciones y el propio pavimento de la calle.

Algunas especies tienen un crecimiento radicular muy vigoroso y si no tienen espacio suficiente pueden levantar y romper pavimentos y otras estructuras de concreto. Se sabe que las raíces adaptan su patrón de ramificación a las condiciones heterogéneas del agua del suelo, mediante la vinculación de los cambios en el flujo hidráulico con la redistribución dinámica de hormonas (Mehra et al. 2022). Por ello, no podemos decir que las raíces tengan la “intención” de destruir el pavimento de las banquetas y calles, lo que están haciendo es explorar en busca de agua y los nutrientes disueltos en ella; si cuentan con un suministro adecuado de agua no tienen necesidad de gastar energía liberándose de la obstrucción.

En la parte aérea, las obstrucciones más frecuentes para el crecimiento de los árboles son los tendidos de cables de electricidad y telecomunicaciones. A través de podas de formación se puede conducir el crecimiento de las ramas fuera del área de cruce de dichas líneas, ayudando al cuidado de la salud y vigor del árbol y, reduciendo el riesgo de accidentes (ISA, 2021). Así como también, manejar la densidad de la copa a través de la poda, tiene influencia en el patrón de intercepción, almacenamiento y escurrimiento del agua de lluvia hacia el suelo (San Francisco Estuary Institute, 2021).

**Fig. 8. Dos ejemplos de obstrucciones para el crecimiento de los árboles en ciudades.**



La imagen del lado izquierdo nos muestra un árbol de grevilia (*Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br.) “ahogado” por un relleno de tierra, para evitar dañar al árbol se le construyó una jaula con madera; sin embargo, ésta misma obstruirá su crecimiento en diámetro en poco tiempo. Del lado derecho se observan dos árboles de



trueno (*Ligustrum lucidum* W.T. Aiton) con la base del tronco sepultada por concreto y guijarros, los cuales impiden la infiltración de agua hacia las raíces; tampoco el agua de lluvia puede ser aprovechada por los árboles debido a que es desalojada a través de la coladera hacia el drenaje sanitario. Foto: A. Suárez-Islas.

**Fig. 9. Árboles de cedro blanco (*Callitropsis lusitanica* (Mill.) D.P. Little)**




Plantados sobre el bordo del camellón, se observa que las raíces han comenzado a romper las guarniciones y levantar el pavimento. Para evitar esta situación, los camellones deben construirse a un nivel más abajo que el de la calle, para que la escorrentía fluya hacia esta parte baja donde se planten los árboles, Foto: A. Suárez-Islas

## Referencias

- Arbor Day Foundation. (2022). *The Right Tree in the Right Place*. Recuperado de <https://www.arborday.org/trees/rightTreeAndPlace/>
- Arnold, C. L. Jr. & Gibbons, C. J. (1996). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator, *Journal of the American Planning Association*, 62 (2), 243-258. doi: 10.1080/01944369608975688
- Bannerman, R. C. (2003). *Rain Gardens a how-to manual for hometown*. Recuperado de <https://dnr.wi.gov/topic/shorelandzoning/documents/rgmanual.pdf>

- Bartens, J., Day, S.D., Harris, J.R., Dove, J.E., Wynn, T.M. (2008). Can Urban Tree Roots Improve Infiltration through Compacted Subsoils for Stormwater Management? *Journal of Environmental Quality* 37, 2048–2057. doi: 10.2134/jeq2008.0117
- Bertrand-Krajewski, J.L. (2021). Integrated urban stormwater management: Evolution and multidisciplinary perspective. *Journal of Hydro-environment Research*, 38, 72-83. ff10.1016/j.jher.2020.11.003ff. fhal-03086482
- Bonasia, R., Areu-Rangel, O.S., Tolentino, D., Mendoza-Sánchez, I., González-Cao, J. & Klapp, J. (2017). Flooding hazard assessment at Tulancingo (Hidalgo, Mexico). *Journal of Flood Risk Management*, 11, S1116-S1124. doi: 10.1111/jfr3.12312
- Burgess, S.S.O., Adams, M.A., Turner, N.C., Ong, C.K. (1998). The redistribution of soil water by tree root systems. *Oecologia* 115, 306–311. doi:10.1007/s004420050521
- Carlyle-Moses, D.E., Gash, J.H.C. (2011). *Rainfall Interception Loss by Forest Canopies*, in: Levia, D.F., Carlyle-Moses, D., Tanaka, T. (Eds.), *Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions*, Ecological Studies. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 407–423. doi:10.1007/978-94-007-1363-5\_20
- CONAGUA. (2020). *Actualización de la Disponibilidad de Agua en el Acuífero Valle de Tulancingo, estado de Hidalgo*. Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Subterráneas. Recuperado de [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/hidalgo/DR\\_1317.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/hidalgo/DR_1317.pdf)
- Courty, L.G. (2021). Hacia una gestión de las aguas urbanas basada en la naturaleza. *Perspectivas IMTA*, (6), 1-3. doi: 10.24850/b-imta-perspectivas-2021-06
- Dirección General de Medio Ambiente. (2021). *Paleta Vegetal para el Municipio de León, Guanajuato*. Recuperada de <https://leon.gob.mx/medioambiente/articulo.php?a=36#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%3F,se%20pretende%20forestar%20o%20reforestar.>
- FAO (2016). *Directrices para la silvicultura urbana y periurbana*. Roma: FAO
- Galindo Castillo E., Otazo Sánchez E. Ma., Reyes Gutiérrez L. R., Arellano Islas S. M., Gordillo Martínez A., González Ramírez C. A. (2010): “Balance hídrico y afectaciones a la recarga para el año 2021 en el acuífero Cuautitlán Pachuca.”, *GeoFocus* (Informes y comentarios), nº 10, p. 65-90.
- Herrera, E., Magaña, V., & Morett, S. (2018). Relación entre eventos extremos de precipitación con inundaciones. Estudio de caso: Tulancingo, Hidalgo. *Nova scientia*, 10(21), 191-206. doi: 10.21640/ns.v10i21.1527
- Hinman, C. (2007). *Rain Garden Handbook for Western Washington*. Recuperado de <https://www.cob.org/documents/pw/environment/green%20building/rain-garden-handbook-lake-whatcom-edition.pdf>
- International Society of Arboriculture (ISA). (2021). *Mature tree care*. Recuperado de [https://www.treesaregood.org/Portals/0/TreesAreGood\\_Mature%20Tree%20Care\\_0721.pdf](https://www.treesaregood.org/Portals/0/TreesAreGood_Mature%20Tree%20Care_0721.pdf)
- Li, X., Xiao, Q., Niu, J., Dymond, S., McPherson, E.G., van Doorn, N., Yu, X., Xie, B., Zhang, K., Li, J., (2017). Rainfall interception by tree crown and leaf litter: An interactive process. *Hydrological Processes* 31, 3533– 3542.
- Mehra, P. et al. (2022). Hydraulic flux-responsive hormone redistribution determines root branching. *Science*, 378, 762-768, doi: 10.1126/science.add3771
- National Association of City Transportation Officials (NACTO). (2017). *Urban street stormwater guide*. Island Press.

- Phillips, C. y Atchison, J. (2020). Seeing the trees for the (urban) forest: more-than-human geographies and urban greening, *Australian Geographer*, 51(2), 155-168. doi: 10.1080/00049182.2018.1505285.
- Rodríguez Sánchez, L. M., Cohen Fernández, E. J. (2003). *Guía de árboles y arbustos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- San Francisco Estuary Institute. (2021). *Toward integrated water quality and ecological benefit evaluation: Trees and hydrology in urban landscapes*. SFEI Publication #1034, San Francisco Estuary Institute, Richmond, CA. [https://www.sfei.org/sites/default/files/biblio\\_files/Trees%20and%20Hydrology%20HWRB%20SFEI%20040221%20medres.pdf](https://www.sfei.org/sites/default/files/biblio_files/Trees%20and%20Hydrology%20HWRB%20SFEI%20040221%20medres.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial (2013). *Catálogo de Especies Arbóreas de la Zona Metropolitana de Guadalajara*. Recuperado de <https://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/biodiversidad/catalogo-de-especies-arboreas>
- USDA. (2009). *Rain gardens... absorb water, reduce runoff, prevent flooding*. Natural Resources Conservation Services. Recuperado de [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1097782.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1097782.pdf)
- USEPA. (2021a). *Green Streets Handbook*. Recuperado de [https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-04/documents/green\\_streets\\_design\\_manual\\_feb\\_2021\\_web\\_res\\_small\\_508.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-04/documents/green_streets_design_manual_feb_2021_web_res_small_508.pdf)
- USEPA. (2021b). *Stormwater Best Management Practice: Green Parking* <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-green-parking.pdf>
- USEPA. (2021c). *Stormwater Best Management Practice: Permeable Pavements*, Recuperado de <https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-11/bmp-permeable-pavements.pdf>
- Worldometer. (2022). *Población mundial actual*. Recuperado de <https://www.worldometers.info/es/poblacion-mundial/>
- World Wildlife Fund (WWF). (2022). *¿En qué consisten las soluciones basadas en la naturaleza y cómo pueden ayudarnos a enfrentar la crisis climática?* Recuperado de <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>
- Zubelzu, S., Rodríguez-Sinobas, L., Andres-Domenech, I., Castillo-Rodríguez, J.T., Perales-Momparler S. (2019). Design of water reuse storage facilities in Sustainable Urban Drainage Systems from a volumetric water balance perspective. *Science of the Total Environment*, (663), 133-143. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.342



## El servicio de agua potable en México: ¿Qué explica su nivel de satisfacción por parte del usuario?

*Bernabé Lugo Neria  
Israel Cruz Badillo*

### **Resumen**

El objetivo de este capítulo es analizar las determinantes del grado de satisfacción del servicio de agua potable en México. Para ello, a partir de un modelo logístico ordinal se explica que la confianza hacia la presidencia municipal, la calidad del líquido y el proceso de cobro influyen en el grado de satisfacción con el servicio. Los datos de análisis provienen de la Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental 2021. Entre los principales resultados destaca la importancia de los prestadores de agua potable en la reparación de fugas de forma rápida.

### **Introducción**



Una de las principales funciones de los municipios mexicanos, según el Art. 115 Constitucional, es proveer del servicio de agua potable a sus conciudadanos. Es una actividad importante porque a través de ella se intenta cubrir el derecho que tiene todo mexicano -con base en el Art. 4, párrafo 6 Constitucional- de acceder y disponer de agua para su consumo.

A pesar de estar plasmado en la Ley, los municipios enfrentan retos y áreas de oportunidad para cumplir de forma cabal, suficiente y eficiente la prestación de ese servicio público. Incluso, en ocasiones han recurrido a distintas formas de prestación que implica el traslado de esa función a organismos públicos desconcentrados creados por niveles estatales. En otros casos, se ha preferido que las comunidades que conforman territorialmente a los municipios, auto administren el servicio público. En menor medida, son pocos las familias que a partir de un pozo particular resuelven el abasto de ese líquido vital.

Medir los resultados del grado de cumplimiento del municipio respecto a esta tarea es un tema complejo. Primeramente, porque las condiciones físicas y financieras que tienen los municipios son heterogéneas. Segundo, no sólo es proporcionar el servicio (cobertura) sino la calidad del mismo; en ese sentido aspectos como que el agua sea bebible, cristalina y constante toman forma en la discusión.

A pesar de ello, el grado de satisfacción del servicio podría orientarnos a conocer que tan bien se está atendiendo la necesidad. O incluso, nos permitiría dimensionar la calidad de la prestación del servicio. A partir de esas percepciones, se podrían generar alternativas de política pública en aras de asegurar el derecho humano a acceder al agua para consumo humano de calidad.

El objetivo de este capítulo es analizar las determinantes del grado de satisfacción del servicio de agua potable en México. Para ello, a partir de un modelo logístico ordinal se explica que la confianza hacia la presidencia municipal, la calidad del líquido y el proceso de cobro influyen en el grado de satisfacción con el servicio. Los datos de análisis provienen de la Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental (ENCIG<sup>1</sup>) elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI<sup>2</sup>, 2021a).

El resto del texto está organizado de la siguiente manera: en la siguiente sección se realiza una tangencial revisión de la literatura acerca del estudio de la prestación municipal del servicio de agua potable, el asunto más abordado es el análisis de los organismos operadores creados precisamente para administrar y operar esa función. Posteriormente se plantea la metodología a utilizar, en esa sección se presentan las variables, así como las preguntas de la ENCIG -INEGI (2021b) que sirvieron para operacionalizar los conceptos. Seguidamente, se discuten los resultados hallados; se realizan algunas proyecciones al respecto en aras de mostrar las principales asociaciones entre variables halladas. Finalmente se presentan las conclusiones y algunas recomendaciones que pudieran servir como sugerencia en el análisis de políticas.

## **Revisión de la literatura**

El análisis del servicio municipal de agua potable es relativamente nuevo en México y surge a raíz del traslado de esa responsabilidad, en los años ochenta del siglo pasado, del orden federal al local. Consideramos, hay tres líneas no excluyentes que organizan a ese conjunto de estudios. Los primeros estudios se enfocan en la descripción y análisis de la trayectoria de los procesos de descentralización del servicio de agua potable. Un segundo subconjunto, está integrado por trabajos académicos que buscan explicar la eficiencia y eficacia de

---

1 De aquí en adelante, el acrónimo ENCIG hace alusión a la Encuesta Nacional de Calidad e Impacto Gubernamental 2021.

2 A partir de aquí, con el acrónimo INEGI se hace referencia al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.

los organismos operadores de agua potable incluyendo y comparando también a los organismos sociales (conocidos coloquialmente como comités de agua potable) mostrando los puntos débiles y fuertes de cada forma de provisión; en esta línea también se incluyen los estudios que analizan las formas sociales de resolver el desabasto del líquido o donde no llega una red hidráulica de agua potable. La tercera línea se encarga de examinar a través de instrumentos demoscópicos la calidad, eficiencia y satisfacción del servicio público (del agua potable); nuestro capítulo pertenece a este enfoque.

Respecto al primer tipo de estudios, Pineda (2002) describe la trayectoria de las políticas públicas relativas al servicio de agua potable, en especial en contextos urbano:

La primera es la etapa centralista de las juntas federales de agua, prevaleciente de 1948 a 1983; después viene la etapa de la municipalización, iniciada en 1983 en que el servicio se asigna a los gobiernos locales y, en tercer lugar, está la promoción de organismos operadores autónomos y manejados como empresas, iniciada por la Comisión Nacional del Agua a partir de 1989 (p. 41).

Es decir, la génesis del interés por el tema del agua potable en contextos municipales de los servicios de agua potable, surge cuando el gobierno federal transfiere la construcción de los sistemas hidráulicos urbanos a los gobiernos estatales con la instrucción del que el servicio del agua potable y alcantarillado fuera reubicado a los gobiernos municipales y fuera operado por esos mismos. En suma, se trata de un proceso de descentralización.

Soares (2007) analiza -a partir de un estudio de caso mexiquense -los sinsabores y galimatías que trajo consigo el proceso de descentralización de la gestión del agua potable, evidenciando el incumplimiento de los objetivos originalmente planeados. En ese sentido sugiere ciertas condiciones funcionales para los organismos operadores (municipales) que orienten su regreso al camino perdido: “a) viabilidad operativa, b) legitimidad y rendición de cuentas, c) transparencia en los procesos técnicos y financieros, d) sostenibilidad financiera y, e) sistema regulador independiente” (pp. 34-35).

Al respecto del proceso de descentralización, Briseño y Sánchez (2018), observan cómo fue la transición de responsabilidades en materia del servicio de agua potable, del nivel federal y estatal, al municipal. Por lo que también evalúan la gestión de los organismos operadores de agua, mostrando áreas de oportunidad y pendientes por resolver. En ese mismo tenor, Domínguez (2012) también evidencia la incapacidad municipal de abastecer agua potable a partir de sus organismos descentralizados o paramunicipales; arguye que no tienen la infraestructura ni la capacidad para prestar ese servicio dada la heterogeneidad municipal: “Existen muchísimas diferencias en la dimensión territorial, concentración poblacional, composición socioeconómica, desarrollo cultural, origen étnico y relevancia política de los diferentes municipios, e incluso entre los Estados en los que se integran estos” (p. 5).

Respecto a la segunda línea de clasificación, Pineda y Briseño (2002) comparan los organismos públicos operadores<sup>3</sup> de agua de dos entidades, Baja California y Sonora, cuyas características son similares según los autores y explican por qué los organismos del primer estado son mejores que el otro: “las variaciones

---

3 Estos organismos impulsados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en general son autónomos y cuentan autonomía financiera y capacidad técnica para operar los servicios-especialmente urbanos y metropolitanos- del agua con orientación a servicio al cliente (Denzin, 2017).

en el marco institucional explican las diferencias en el comportamiento y desempeño de los servicios de agua potable de las dos entidades” (p.210). En otras palabras, las reglas del juego y características institucionales determinan el desempeño de los organismos públicos encargados de proporcionar el servicio de agua potable. Años posteriores, Loera y Salazar (2017) analizan los mismos objetos, hallando que ambos muestran baja capacidad institucional, pero el organismo operador de agua potable de Mexicali sobresale por su capacidad de generar relaciones intergubernamentales y la voluntad de lograr altos indicadores de gestión.

En otro estudio, los organismos operadores en seis ciudades fronterizas (México- Estados Unidos) son analizados por González y Arzaluz (2012). Los marcos legales, el proceso de tratamiento de calidad del agua, la capacidad técnica del personal, el diseño institucional del gobierno local es para estos autores, los elementos que garantizan el funcionamiento eficiente y diferenciado de esos organismos.

En ese mismo tenor, Salazar y Lutz (2015) evalúan el desempeño de los organismos operadores de agua potable en México encontrando, entre otros aspectos, que el tamaño de la burocracia incide directamente en el volumen de agua no contabilizada; otro hallazgo encontrado es que la recaudación e ingreso por metro cubico de agua potable es mayor en espacios con micro- medición alta (aquellos lugares donde el porcentaje de tomas que tienen medidor es alto).

La eficiencia del cobro de los organismos municipales operadores de agua potable también es analizada por Islas y Sainz (2007). Según los autores, ésta se explica por la capacitación de la burocracia, la marginación de la localidad, el contexto político y el marco normativo del estado y municipio. Hallan que la dependencia que estos organismos tienen hacia la presidencia municipal condiciona fuertemente su eficiencia recaudatoria; caso contrario, cuando hay cierta independencia, proyectos de gran envergadura son más fáciles de diseñar e implementar. Adicionalmente, los apoyos federales en forma de subsidio que llegan a esos organismos representan condición necesaria para mejorar el sistema de cobro y la operación del servicio público; la focalización de estos apoyos es indispensable especialmente para aquellas zonas marginadas donde el gasto operativo del servicio es superior al sistema de ingresos.

Por su parte, Escamilla y Palem (2012) realizan un análisis comparado entre la forma de operar de un comité de usuarios y un organismo operador de agua potable, casos presentes en el estado de Hidalgo. Buscan saber qué tipo de prestación, social o pública, es más pertinente. Concluyen que el organismo social es más eficiente que el público: el primero logra cubrir sus costos y el segundo sobrevive apenas con los subsidios que recibe del municipio: “para eliminar el subsidio, con los actuales costos de personal, sería necesario elevar el monto de las tarifas” (p. 293), previa autorización del Congreso Estatal. En esa misma discusión, Cervantes, Velázquez y Pimentel (2017) resaltan los beneficios de que las comunidades auto administren sus servicios de agua potable. A partir de seis casos en Chiapas, estudian las capacidades y fortalezas de las comunidades rurales para administrar sus sistemas de abasto y resolver la provisión de agua potable. Sin embargo, también resaltan el papel de los apoyos financieros externos recibidos a estas organizaciones que generan dependencia funcional.

Este tipo de organismos sociales conformados por miembros honorarios de las comunidades, especialmente rurales, resuelven el problema público relacionado con la provisión de agua potable. El debate es si lo hacen de forma eficiente al ofrecer tarifas más económicas y quitar burocracia al Estado. La mayoría de comités de agua potable proveen el servicio sin medidores en las tomas de agua y por lo regular la cuota no tiene límite de consumo; asimismo, hay presencia de polizones (diversas familias buscan pagar solamente un servicio) y

de morosidad en el cobro. En ese contexto, el tema de municipalizar el servicio público surge como opción para el asunto de la provisión de agua potable.

Al respecto, Hernández y Tagle (2020) a partir de tres estudios de casos, en el estado de Guanajuato, identifican los pros y contras de la municipalización. En ese sentido hallan que la confianza ciudadana hacia los miembros de los comités administradores de agua potable, así como al organismo público operador, determinan la cesión o no de la operación del agua potable por parte de la comunidad al ente municipal.

Otra línea importante en el estudio del agua potable es cómo resuelven las comunidades este asunto al no tener red hídrica pública. Así, Domínguez (2009) analiza la desigualdad en el acceso al agua potable en la zona conurbana de Mérida, Yucatán provocada por la marginación y segregación social y el “control sobre los derechos de acceso al agua, la tierra y los recursos públicos; la asignación de la infraestructura y el servicio de agua potable; así como la privatización y mercantilización de la tierra” (p. 80). Básicamente estudia las relaciones de poder al momento de que se asigna infraestructura para el agua potable: sigue prevaleciendo el interés político-económico que amplía aún más la brecha de desigualdad en el acceso al agua.

En aquellos lugares donde no llega la red hidráulica, los ciudadanos tiene que enfrentar – de forma individual- el problema, una solución implementada es el tandeo. En ese sentido, Gómez-Valdez y Palerm-Viqueira (2015) describen el abasto a partir de camiones cisternas. Encuentran que este tipo de solución:

...no es únicamente para aquellos pobladores sin conexión a una red de abasto, existen otras causalidades para usar el servicio de agua por pipa; abastecimiento por falla en la red o daños en el equipamiento de los pozos profundos, abastecimiento por calidad del agua, abastecimiento para eludir responsabilidades y compromisos con la comunidad y, finalmente, el sector de servicio”. (p. 567)

En estudios similares, Córdova, Romo y Romero (2014) estudian cómo los ciudadanos resuelven la falta de agua entubada en zonas desérticas (en el estado de Chihuahua). Y es que en esos contexto, el uso del agua potable se maximiza pues apenas y alcanza para las actividades humanas vitales: “por ejemplo el agua para cocina e ingesta individual proviene de agua embotellada, lo cual muestra cierto sentido de responsabilidad al no ingerir el agua del servicio de pipas a pesar de tener confianza en la calidad del agua que se suministra por esta vía” (p. 411). La llegada de infraestructura hidráulica pública a esos espacios marginados se convierte en un anhelo cada sexenio.

Finalmente, respecto a la última línea de estudio relativa a estudios demoscópicos para evaluar la eficiencia, calidad y satisfacción del servicio, González-Villareal, Aguirre-Díaz y Lartigue (2016) intentan evaluar esas cualidades en el servicio de agua potable del Distrito Federal (hoy Ciudad de México) y dejan ver la importancia de emprender acciones informativas hacia la ciudadanía con el objeto de mantenerla informada sobre la calidad del agua que llega a sus hogares y los costos de operación del servicio: “La disponibilidad a pagar una tarifa más elevada es mayor si se ofrece mejorar el servicio o si se informa a la persona sobre lo reducido del monto actual” (p. 54).

El estudio de Márquez y Ortega (2017) también va en esa misma línea. Ellos intentan evaluar el servicio prestado por un organismo público de agua potable (Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa, Veracruz). Sus resultados muestran una valoración de regular a buena en el servicio; asimismo, su estudio encuentra que el agua potable, sus propiedades son valoradas como idóneas.

Por otro lado, Escolero, Kralisch, Martínez y Perevochtchikova (2016) encuentran que los determinantes

de la vulnerabilidad-“propensión de que disminuya la disponibilidad de agua potable entregada a la CDMX” (p. 411) - son la “disponibilidad presente y futura del agua, los conflictos sociales y políticos, los hundimientos del terreno por extracción intensiva de agua subterránea, la transferencia intersectorial del agua, y el deterioro ambiental de las áreas de captación de agua superficial y de recarga de los acuíferos” (p.409) . Por su parte, Montesillo-Cedillo (2017) estudian el impacto del crecimiento poblacional sobre la cantidad demandada de agua potable encontrando que dicho elemento ha perdido relevancia. En lugar de ello, el ingreso tomó un rol más significativo como determinante.

Dichos trabajos son importantes y sirven como evidencias para reformular el trabajo del analista de políticas públicas relacionadas con los sistemas de agua en México. Ya que estos se encuentran estancados, en una zona de confort. Ahora bien, son pocos los trabajos que tratan de evaluar la satisfacción de ese servicio público; esto ocurre porque en principio de cuentas, definir esa palabra<sup>4</sup> es complejo por la subjetividad que trae consigo. Además que representar un concepto polisémico que complica su operatividad.

Si se analiza el término “satisfacción hacia algún servicio público” implícitamente hay un juicio hacia el cumplimiento de objetivos que alguna institución ha hecho o debiera hacer a las quejas o problemas político-sociales. Al haber amplia satisfacción habrá quietud, tranquilidad e incluso serenidad en el sistema social; caso contrario, la inestabilidad, alboroto, desconcierto y crisis social es más probable aparezcan.

Desde nuestra perspectiva, la satisfacción en el servicio de agua potable se vincula con valor público. Es decir, el organismo público que proporciona el servicio debe buscar la total satisfacción de los usuarios. En palabras de Aguilar y Monforte (2018).

Introducir el enfoque de valor público en el análisis del desempeño de los servicios públicos del agua genera varios retos para los agentes políticos responsables de la provisión de servicios, los gobiernos municipales y estatales en México, y recupera el papel de establecer y evaluar políticas públicas que incluyan valores públicos y no se limiten a considerar la viabilidad operativa y financiera (p. 171).

Es decir, no basta tener infraestructura y que haya servicio de agua potable constante. Se trata también de una combinación de elementos adicionales para obtener más que eficiencia. En ese sentido, surge la necesidad de dimensionar el problema y empezar a evaluar los servicios de agua potable en México, tanto a nivel eficiencia como a nivel de valor público. Este estudio quiere aportar a esa discusión.

## Metodología

Para lograr el objetivo de investigación se estimó un modelo de regresión logístico ordinal (MRLO). Este tipo de modelación es útil para estimar las relaciones entre una variable dependiente ordinal y un conjunto de variables independientes. Una variable ordinal es una variable categórica y ordenada, que en nuestro caso es representada por el grado de satisfacción del servicio de agua potable cuyas categorías van desde: 1) muy insatisfecho; 2) insatisfecho; 3) algo insatisfecho; 4) algo satisfecho; 5) satisfecho; y, 6) muy satisfecho. Los

---

4 En términos generales, uno de los significados que la RAE da al término es: “razón, acción o modo con que se sosiega y responde enteramente a una queja, sentimiento o razón contraria”. Incluso también implica: “confianza o seguridad del ánimo”; adicionalmente “cumplimiento del deseo o del gusto”, entre otros significados.

datos se obtuvieron de la pregunta 4.1a de la ENCIG 2021, que literalmente dice: *Considerando las características que debe tener el servicio de agua potable, ¿cómo se siente con respecto al servicio?* La tabla 1 resume los elementos incluidos en la modelación así como información de ellas.

**Tabla 1. Variables dependientes e independientes que integran al MRLO**

Mnemónico	Pregunta	Variable	Categorías <sup>5</sup> o valores
P4_1A	Considerando las características que debe tener el servicio de agua potable, ¿cómo se siente con respecto al servicio?	Satisfacción con el servicio de agua potable	1) Muy insatisfecho 2) Insatisfecho 3) Algo insatisfecho 4) Algo satisfecho 5) Satisfecho 6) Muy satisfecho
APA_1_4	En una escala de cero a diez, como en la escuela, donde cero es nada y diez es completamente, en general ¿cuánto confía en...el gobierno de su municipio o alcaldía?	Confianza en el gobierno municipal	Variable discreta que asume valores entre 0 y 10
P4_1_1	De acuerdo con su experiencia, ¿el agua potable en esta ciudad... Agua constante sin interrupciones y con presión	Agua potable sin interrupciones y con presión	0) No 1) Sí
P4_1_2	De acuerdo con su experiencia, ¿el agua potable en esta ciudad... Pura y cristalina	Agua potable pura y cristalina	0) No 1) Sí
P4_1_3	De acuerdo con su experiencia, ¿el agua potable en esta ciudad... Bebible sin temor a enfermarse	Agua potable bebible sin temor a enfermarse	0) No 1) Sí
P4_1_4	De acuerdo con su experiencia, ¿el agua potable en esta ciudad... Fugas arregladas con rapidez	Rapidez en reparación de fugas	0) No 1) Sí
P4_1_6	De acuerdo con su experiencia, ¿el agua potable en esta ciudad... Proviene de pozo comunitario	Agua proviene de pozo comunitario	0) No 1) Sí
P7_6	El tiempo para llevar a cabo un trámite o pago debe ser razonable y acorde con la dificultad del proceso. ¿Cómo se siente con respecto al tiempo que usted invirtió para realizar el trámite o pago?	Tiempo para trámite o pago	1) Muy insatisfecho 2) Insatisfecho 3) Algo insatisfecho 4) Algo satisfecho 5) Satisfecho 6) Muy satisfecho

<sup>5</sup> Algunas categorías fueron ordenadas y recodificadas en forma ascendente. En ese sentido, no coinciden en orden, con las originales expuestas en la ENCIG - INEGI (20021b).

P7_7	El trato a recibir por parte del personal debe ser amable, eficiente y con disposición a orientarle. ¿En general, cómo se siente respecto al trato recibido?	Trato para tramite o pago	1) Muy insatisfecho 2) Insatisfecho 3) Algo insatisfecho 4) Algo satisfecho 5) Satisfecho 6) Muy satisfecho
P7_12	Más allá de obtener el trámite o servicio que requirió, tomando en consideración el tiempo, trato, información clara y número de veces que acudió a realizarlo. ¿Cómo se siente en general con respecto al trámite?	Satisfacción respecto al trámite de pago	1) Muy insatisfecho 2) Insatisfecho 3) Algo insatisfecho 4) Algo satisfecho 5) Satisfecho 6) Muy satisfecho
P7_4_9	¿Enfrentó alguno de los siguientes problemas para realizar el pago o trámite? Costos excesivos	Costos excesivos	0) No 1) Sí

Fuente: Autoría propia a partir de la ENCIG- INEGI (2021b)

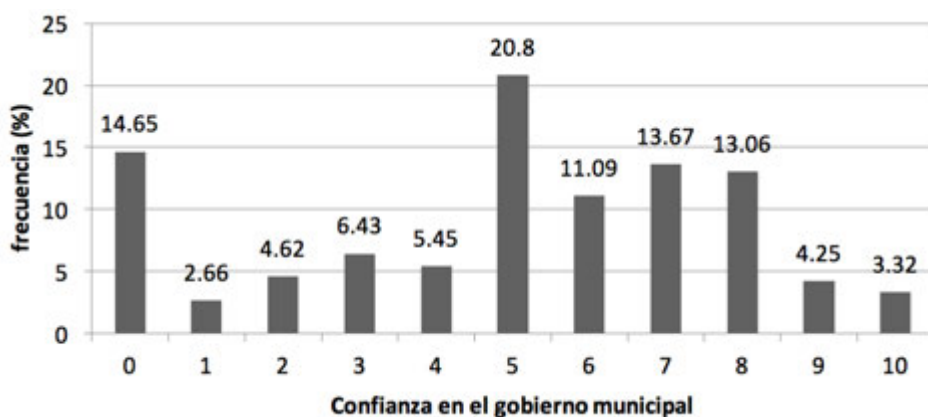
## Análisis de datos<sup>6</sup>

En México, de las personas encuestadas mayores de 18 años a través de la ENCIG 2021 11.79% se sienten muy satisfechas con el servicio de agua potable; 41.94 satisfechas; 19.77 algo satisfechas; 10.29 algo insatisfechas; 8.69 insatisfechas; y, 7.06 muy insatisfechas. En otras palabras, un poco más de la mitad (53.7%) de la población se siente por lo menos satisfecha con este servicio público; pero también, hay un porcentaje muy representativo que se siente descontento.

En cuanto a la confianza en el gobierno municipal, la mayoría (20.8%) de ciudadanos le otorgo un 5 en una escala de 0 a 10; pero, 14.65% le asignó la más baja calificación. Si se obtiene un promedio de estas notas resulta 4.95, una mediana de 5 y una desviación estándar de 2.9. Lo anterior se puede vislumbrar en la Figura 1.

<sup>6</sup> Para el análisis de frecuencias se utilizó factor de expansión. En algunas ocasiones, los porcentajes no suman el 100% debido a que no se presentan los resultados de los datos perdidos.

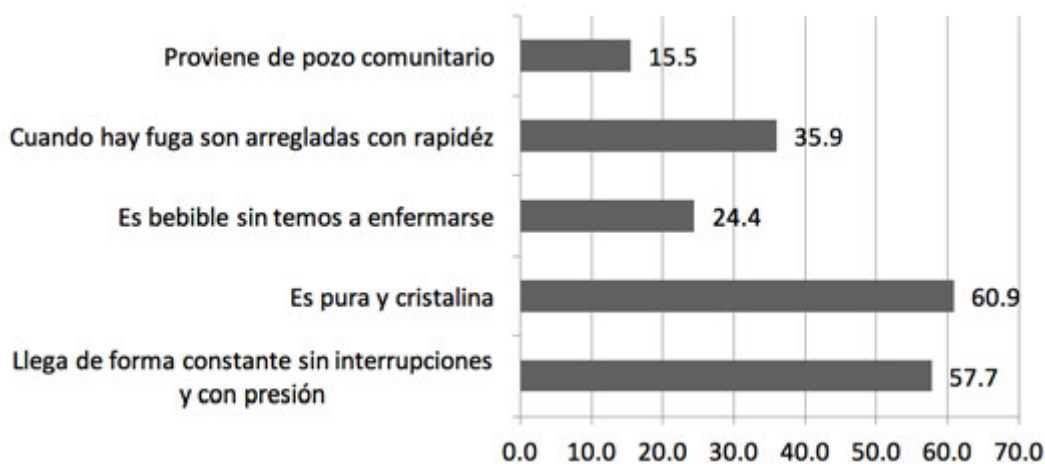
**Figura 1. Confianza en el gobierno municipal**



Fuente: Autoría propia a partir de la ENCIG- INEGI (2021a)

La figura 2 muestra las características y condiciones del agua potable en México. Respecto a ello, 60.9% de los encuestados<sup>7</sup> considera que en su municipios el agua es pura y cristalina; 57.7 cree que llega de forma continúa sin cortes y con buena presión; 35.9 opina que cuando hay alguna fuga en la red hidráulica, ésta se arregla con rapidez; 24.4 menciona que el agua potable es bebible sin temor a enfermarse; y, 15.5 manifiesta que el servicio de agua potable proviene de un pozo comunitario (eso no implica que pudiera estar conectada a una red pública o a algún pozo privado).

**Figura 2. Características del agua potable en México**



Fuente: Autoría propia a partir de la ENCIG- INEGI (2021a)

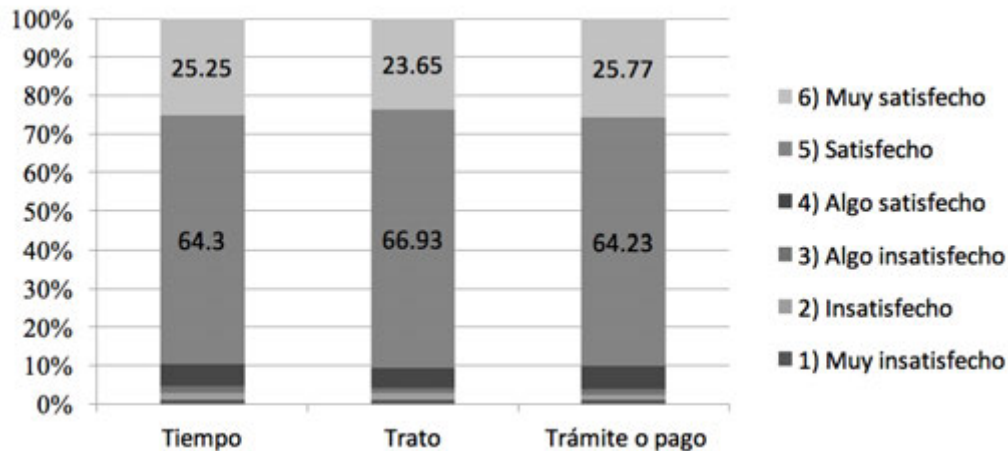
Respecto al tiempo para llevar a cabo un trámite o pago relacionado con el servicio de agua potable considerando que debe ser razonable y acorde con la dificultad del proceso, la gran mayoría (89.5%) se siente satisfecho o muy satisfecho con respecto al tiempo que invirtió para realizar el trámite o pago. La

<sup>7</sup> Personas mayores de 18 a más en áreas urbanas.



misma distribución en la satisfacción experimenta el trato recibido por parte del personal teniendo en cuenta la amabilidad, eficiencia y disposición para orientar; así como en la satisfacción general del trámite en términos generales. La figura 3 da cuenta de ello.

**Figura 3. Satisfacción con el tiempo ocupado, trato y trámite del servicio de agua potable**



Fuente: Autoría propia a partir de la ENCIG- INEGI (2021a)

Finalmente, con relación a los problemas que el ciudadano enfrenta al realizar el pago del servicio del agua potable, la categoría “costos excesivos” sólo es considerada por 10.19 % de los encuestados. Dicho de otra forma, se percibe que una gran proporción de la población (89.81 %) considera como inconveniente el precio de la tarifa del agua potable; es decir, es un costo excesivo. Lo que muy seguramente se asocia con insatisfacción en el servicio.

## Resultados

La tabla 2 muestra los resultados de MRLO<sup>8</sup>. La misma presenta los coeficientes estimados, así como los errores estándares entre paréntesis. Casi al final se muestran los puntos de corte (cut1, cut2, cut3, cut4 y cut5) de la variable latente cuyo rol es determinar la ubicación de los individuos  $i$  en cada categoría. Al final se muestran el tamaño de muestra, el estadístico Aic (Criterio de información de Akaike) y el pseudo R que asciende a 17.51% cuya interpretación es que el modelo tiene un moderado poder explicativo.

Respecto a la variable satisfacción con el “tiempo para trámite o pago” del servicio de agua potable, resultó no significativa. No hay evidencia para afirmar o negar que impacta la satisfacción del servicio. Fue la única no significativa estadísticamente. De ahí en fuera, todas las variables trascendieron.

Eso significa que la satisfacción del usuario de agua potable depende de que haya agua potable de calidad; que sea constante sin interrupciones y con buena presión, pura y cristalina, bebible sin riesgo a enfermar, y, que cuando hay algún tipo de desperfecto en la red de agua potable se repare de inmediato,

<sup>8</sup> Para la estimación de los coeficientes del MRLO, solamente se incluyeron los casos de aquellas personas que en la sección VII. Calidad en trámites y servicios públicos de la ENCIG - INEGI (2021a), respondieron y atendieron al trámite del pago ordinario del servicio de agua potable (El Mnemónico y código son N\_TRA=02).

Asimismo, la ciudadanía se sentirá satisfecha si el agua proviene de pozo comunitario<sup>9</sup>. En otras palabras, el que un ciudadano tenga servicio de agua potable de un pozo comunitario incide en que tenga satisfacción en la prestación. Eso, en comparación con aquellos que reciben el servicio a partir de tanteo o camiones cisterna incluso, nos atreveríamos a decir, de las personas que tienen pozos particulares.

No menos importante es decir que el trámite del pago del servicio público es importante para que el ciudadano tenga mayor satisfacción. Así, si hay un trato respetuoso, amable y satisfactorio cuando el usuario pague el servicio, las probabilidades de que haya satisfacción en el servicio se incrementan sustancialmente. Cabe señalar, que un problema que incide en la insatisfacción es que el habitante percibe un “cobro excesivo” en la prestación de ese servicio. Finalmente, la confianza que genera la acción pública de los gobiernos municipales impacta favorablemente en la satisfacción del servicio.

**Tabla 2. Resultados del MRLO**

Variable	Mnemónico	Coficiente
Confianza en el gobierno municipal	APA_1_4	0.08*** (0.01)
Agua potable sin interrupciones y con presión	P4_1_1	1.89*** (0.04)
Agua potable pura y cristalina	P4_1_2	0.89*** (0.04)
Agua potable bebible sin temor a enfermarse	P4_1_3	0.41*** (0.05)
Rapidez en reparación de fugas	P4_1_4	1.00*** (0.04)
Agua proviene de pozo comunitario	P4_1_6	0.08* (0.05)
Tiempo para tramite o pago	P7_6	0.05 (0.03)
Trato para tramite o pago	P7_7	0.11*** (0.04)
Satisfacción respecto al trámite de pago	P7_12	0.22*** (0.04)
Costos excesivos	P7_4_9	-0,14*** (0.06)
cut1		0.83*** (0.13)

<sup>9</sup> En el modelo no se incluyó la variable red pública porque casi el 90% respondió afirmativamente contar con ella, lo que hubiera sesgado los resultados

cut2		1.99***
		(0.13)
cut3		2.84***
		(0.13)
cut4		4.18***
		(0.13)
cut5		7.28***
		(0.15)
Statistics	n	11031
	Aic	28542.37
	r2_a	0.1751

\*p<.10; \*\*p<0.05; \*\*\*p<.01

Errores estándar entre paréntesis

Fuente: Autoría propia a partir de la ENCIG- INEGI (2021a)

En modelos ordinales, la interpretación de los coeficientes estimados (incluso de las odd-ratio) resulta compleja; sin embargo, puede ayudar el análisis marginal (dy/dx) que evalúa los cambios marginales que experimentan las probabilidades de las categorías de la variable principal (muy insatisfecho, insatisfecho, algo insatisfecho, algo satisfecho, satisfecho, muy satisfecho) ante variaciones de alguna explicativa, manteniendo lo demás constante. La tabla 2 contempla esos efectos y su lectura es como sigue: por ejemplo, si se logra proveer de agua potable sin interrupciones y con presión a aquellos lugares donde no se tenía, las probabilidades de sentirse satisfecho y muy satisfecho incrementan (en promedio) por lo menos en un 13% y 16% respectivamente; en ese mismo ejemplo, las probabilidades de que un individuo se sienta “muy insatisfecho” bajan 10.4%, lo mismo ocurre con las categorías “insatisfecho”, “algo insatisfecho” y “algo satisfecho” que disminuiría sus probabilidades de ocurrencia en 8.8, 5.6 y 4.6% consecutivamente. De hecho, la variable “agua potable sin interrupciones y con presión” es la que genera los mayores efectos sobre la satisfacción, seguida de la “rapidez en reparación de fugas” y de “agua potable pura y cristalina”. La recomendación de política pública va orientada a la variable que incide mayormente.

**Tabla 2. Efectos marginales**

Satisfacción	Confianza	Agua	Agua	Agua	Rapidez	Agua	Tiempo	Trato para	Satisfacción	Costos
con el	en el	potable sin	potable	potable	en	proviene	para	tramite o	respecto al	excesivos
servicio	gobierno	interrupciones	pura y	bebible sin	reparación	de pozo	tramite o	pago	trámite de	
de agua	municipal	y con presión	cristalina	temor a	de fugas	comunitario	pago		pago	
potable				enfermarse						
Muy insatisfecho	0.004	0.104	0.049	0.023	0.055	0.005	0.003	0.006	0.012	0.008
Insatisfecho	0.004	0.088	0.042	0.019	0.047	0.004	0.002	0.005	0.010	0.007

Algo insatisfecho	0.002	0.056	0.026	0.012	0.030	0.002	0.001	0.003	0.007	0.004
Algo satisfecho	0.002	0.046	0.022	0.010	0.025	0.002	0.001	0.003	0.006	0.003
Satisfecho	0.006	0.130	0.061	0.029	0.069	0.006	0.003	0.008	0.015	0.010
Muy satisfecho	0.007	0.164	0.078	0.036	0.087	0.007	0.004	0.010	0.020	0.012

Nota: las celdas sombreadas indican un efecto negativo o inverso

Fuente: Autoría propia a partir de la ENCIG- INEGI (2021a)

## Conclusiones

La satisfacción hacia el servicio del agua potable en México depende de varios elementos vinculados a la calidad propia del líquido (que sea cristalina, constante y bebible) así como del organismo que la proporciona (que el ciudadano perciba que al haber alguna fuga, rápidamente el personal operativo la repare) y del trámite que el ciudadano realice para pagar el servicio (excelente trato recibido, satisfacción en el proceso y que la cuota no sea tan alta). Pero también hay un elemento fundamental que acompaña la satisfacción que es la confianza ciudadana hacia la presidencia municipal.

Del análisis estadístico realizado se puede hacer una recomendación de política pública en concreto. Si se busca incrementar la satisfacción, de todos los elementos analizados la reparación de fugas rápida es el más significativo y con mayor peso. Por lo que, los organismos públicos encargados de operar el agua potable tendrán que hacer esfuerzos por mejorar esos procesos y atender con rapidez reportes de fuga; también implica reconocer que diversa infraestructura hidráulica empieza a desgastarse y por ende tendrá que ser cambiada o reparada.


Queda pendiente, para futuros estudios, analizar el mismo problema a partir de otros enfoques metodológicos que coadyuven a la explicación de la satisfacción del servicio. Incluso, y si es la información disponible lo permite, analizar en el tiempo si el problema de la satisfacción se ve afectado por cuestiones coyunturales tales como epidemias o pandemias.

## Referencias

- Aguilar, I., y Monforte, G. (2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad: El caso del área metropolitana de Monterrey, *Gestión y Política Pública*, 27(1), 149-179. Recuperado de: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-10792018000100149](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792018000100149)
- Briseño, H., y Sánchez, A. (2018). Descentralización, consolidación y crisis de la gestión urbana del agua en México. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 09(4), 25-47. doi: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-02>.
- Cervantes, A., Velázquez, M., y Pimentel, J.L. (2017). Gobierno y administración local del agua potable en la Ciénega de Chapala, Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VIII(1), 65-80.
- Córdova, G., Romo, M. d. L., y Romero, L. (2014). Acción pública local y prácticas autogestivas en colonias sin agua entubada ni saneamiento, en el estado de Chihuahua. *Gestión y política pública*, 23(2), 385-420. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-10792014000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792014000200004&lng=es&tlng=es).

- Denzin, C. (2017). El agua en México. Actores, sectores y paradigmas para una transformación social-ecológica. México: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Domínguez, A. P. (2012). La prestación de los servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento por parte de los municipios en México. *Multidisciplina*, (9), 5-16. Recuperado a partir de <https://www.revistas.unam.mx/index.php/multidisciplina/article/view/34240>
- Domínguez, M. C. (2009). Procesos recientes del acceso al agua potable en el México urbano: el caso de la Zona Conurbada de Mérida, Yucatán. *Investigaciones geográficas*, (69), 68-84. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-46112009000200006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112009000200006&lng=es&tlng=es).
- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S. E., y Perevochtchikova, M. (2016 va). 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. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 409-427. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-33222016000300409&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-33222016000300409&lng=es&tlng=es).
- Galindo, E., y Palerm, J. (2012). Toma de decisiones y situación financiera en pequeños sistemas de agua potable: dos casos de estudio en El Cardonal, Hidalgo, México. *Región y Sociedad*, XXIV (54), 261-298.
- Gómez-Valdez, M. I., y Palerm-Viqueira, J. (2015). Abastecimiento de agua potable por pipas en el Valle de Texcoco, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 12(4), 567-586. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722015000400567&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722015000400567&lng=es&tlng=es).
- González, M. E., y Arzaluz S. (2012). Gobierno y gestión de los servicios del agua en seis ciudades fronterizas, México-Estados Unidos. *Región y sociedad*, 24(spe3), 213-255. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252012000600008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252012000600008&lng=es&tlng=es).
- González-Villarreal, F., Aguirre-Díaz, R., y Lartigue, C. (noviembre-diciembre, 2016 y). Percepciones, actitudes y conductas respecto al servicio de agua potable en el Distrito Federal. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(6), 41-56.
- Hernández, J., y Tagle, D. (2020). Percepciones sociales del proceso de municipalización del agua potable en comunidades periurbanas de León, Guanajuato. *Región y Sociedad*, 32, 41-56.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2021a). *Encuesta Nacional de Calidad e impacto Gubernamental (ENCIG). Microdatos*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/encig/2021/#Microdatos>
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (2021b). *Encuesta Nacional de Calidad e impacto Gubernamental (ENCIG). Estructura de la base de datos*. Recuperado de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encig/2021/doc/encig21\\_estructura\\_base\\_datos.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/encig/2021/doc/encig21_estructura_base_datos.pdf)
- Islas, I., y Sainz, J. (2007) Esquemas de cobro por servicio de agua potable en los municipios de México: restricciones institucionales y oportunidades de política pública. *Gaceta Ecológica*, (82), 37-47.
- Loera, E., y Salazar, A. (2017). Capacidades institucionales y desempeño de los organismos operadores de agua en Hermosillo, Sonora, y Mexicali, Baja California. *Región y sociedad*, 29, 37-74. doi: <https://doi.org/10.22198/rys.2017.0.a296>
- Márquez, O., y Ortega, M. (2017ya). Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz. *Revista Mexicana de Opinión Pública*, (23), 41-59. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-49112017000200041&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-49112017000200041&lng=es&tlng=es).
- Montesillo-Cedillo, J. L. (2017yv). Suministro de agua potable en México: más allá del crecimiento poblacional. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 8(1), 21-33. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-01-02>

- Pineda, N, y Briseño, H. (2012). ¿Por qué son mejores los organismos de agua de Baja California que los de Sonora? Instituciones locales y desempeño de los organismos públicos. *Región y sociedad*, 24, 181-212. Recuperado de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252012000600007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252012000600007&lng=es&tlng=es).
- Pineda, 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*, 14(24), 41-69. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252002000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252002000200002&lng=es&tlng=es).
- Real Academia Española. (2022). *Diccionario de la lengua española. Edición del Tricentenario. Actualización 2021*. Recuperado de <https://dle.rae.es/satisfacci%C3%B3n?m=form>
- Salazar, A. y Lutz, A.N. (2015). Factores asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México. *Región y sociedad*, 27(62), 05-26. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252015000100001&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252015000100001&lng=es&tlng=es).
- Soares, D. (2007). Crónica de un fracaso anunciado: la descentralización en la gestión del agua potable en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 4(1), 19-37.



## Comercialización de agua virtual y seguridad alimentaria en México en el marco de los ODS

*Yolanda Sánchez Torres*  
*Aníbal Terrones Cordero*  
*Mario Cruz Cruz*

### **Introducción**

El planeta ha presentado un cambio acelerado, asociado al proceso de globalización de la economía mundial, la dinámica poblacional, la innovación tecnológica y el cambio climático que agudizan problemáticas perpetradas como la pobreza, la desigualdad y el hambre. La interconexión de las economías a través de comercio por un lado optimiza los recursos pero también conlleva a la sobre explotación de los mismos; dentro de ellos el agotamiento de los recursos hídricos en calidad y cantidad, considerando el agua como un recurso global (Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017).

El 70% del planeta está cubierto por agua, sin embargo sólo el 2.5% es agua dulce, y de esta menos del 1% es lo que realmente se destina para las actividades del ser humano y los ecosistemas, ya que el resto se encuentra en

forma de nieve o hielo. Aunado a ello, la distribución de esta agua dulce en el mundo no es homogénea, de tal forma que existen algunas regiones como Sudamérica que con el 31.8% aloja a menos del 10% de la población mundial, mientras otras regiones como Asia con casi el 60% de la población cuenta con menos del 30% de las reservas de agua en el mundo. Así también países como Brasil con el 12% de las reservas de agua en el mundo, cuenta con sólo el 2.7% de la población (Vázquez del Mercado y Buenfil, 2012)

El agua, sin duda es un líquido crucial para la vida humana, en diversos aspectos, uno de los más relevantes es para la producción de alimentos y materias primas que requieren de un 69% del agua dulce superficial o subterránea, en comparación con el 19% para el sector industrial y el 12% para la actividad doméstica o municipal (FCEA, 2022; conagua, 2019). Esta situación heterogénea y desigual que permea en cuanto a la disponibilidad del agua para atender las necesidades vitales de la población mundial, sumado a su creciente demanda y mal uso, han agravado el estrés hídrico en distintas partes del mundo, teniendo consecuencias graves en materia de sostenibilidad ambiental, desarrollo económico, salud pública, seguridad energética y alimentaria (Arreguín-Cortés, López-Pérez, Marengo-Mogollón, Tejeda-González, y Carlos, 2007; Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017).

Pensar en los trasvases, para tener mayor disponibilidad de agua de un país a otro, es prácticamente imposible, por el costo económico y las implicaciones sociales, políticas y ambientales, aún con acuerdos internacionales. El mecanismo para llevar y traer agua de un país se da a través de la comercialización internacional del agua contenida en productos agrícolas, pecuarios o industriales, que se importan o exportan, denominada agua virtual. Su comercialización puede garantizar la seguridad del abasto de alimentos a la población mundial, como parte de un derecho universal y un principio del comercio internacional sobre la eficiencia de recursos escasos, aunque esta problemática del binomio agua virtual seguridad alimentaria, es mucho más compleja en términos de disponibilidad, gobernanza e instrumento de control. En el corto plazo esta comercialización de agua virtual puede ser una alternativa para contrarrestar la escasez hídrica y facilitar la seguridad alimentaria, pero en el largo plazo, generaría una dependencia no sólo de alimentos sino también de agua, por los patrones de consumo que subyacen, el crecimiento de la población y la problemática de calentamiento global (Arreguín-Cortés, *et al.*, 2007).

La situación para México no es diferente a la que se contextualiza a nivel mundial, incluso pudiera ser más complicada. Según el último informe del Sistema de Información Nacional de Aguas (SINA), perteneciente a la Comisión Nacional del Agua CONAGUA (2019), se tiene al año aproximadamente 1 449 471 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>) por la precipitación del agua, teniendo que el 72.1% regresa a atmósfera en forma de vapor, el 21.4% se incorpora a las aguas superficiales, y sólo el 6.4% son aguas subterráneas que se infiltra a los acuíferos, de los cuales un 18% del total se encuentran en una condición de sobre explotación y 50 más con problemas de salinidad.

Así como ocurre la heterogeneidad de la disponibilidad del agua en el mundo. En México, en la zona centro norte, habita el 77% de la población y se obtiene sólo el 28% de la precipitación pluvial, con el 92% de la agricultura de riego del país. Esto explica que la mayor parte de sobre explotación y contaminación de los acuíferos se tengan en esta misma región e incluso los primeros problemas de escasez real de agua hayan aflorado recientemente en el estado de Nuevo León.

Respecto a relación sobre la comercialización de agua virtual, México ha sabido aprovechar sus acuerdos comerciales, principalmente el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), hoy TMEC, para atenuar los problemas de sus bajas reservas de agua que lo ubican a nivel mundial en el ranking 26, comparado



con sus socios, Estados Unidos y Canadá, que figuran en el tercero y cuarto lugar respectivamente. Esta estrategia ha resultado ser asertiva en el corto plazo para atenuar la disponibilidad del agua que requieren las diferentes actividades, principalmente la producción agropecuaria que absorbe el 75% del agua. No es casualidad que México después de haber sido un país exportador neto de agua virtual en menos de tres décadas figure entre los primero cinco importadores netos y el primero en América Latina, que en 2020 sumaba los 241 284 hectómetros cúbicos (hm<sup>3</sup>) de agua virtual neta importada, garantizando con ello la seguridad alimentaria, aunque no su soberanía, al tener una creciente dependencia en granos básicos como el maíz, trigo, arroz, entre otros. En prospectiva, se visualiza que mejorar el uso eficiente del agua será insuficiente para estabilizar su consumo.

En el presente capítulo se analiza la forma de como se ha presentado esta relación entre comercio de agua virtual y la seguridad alimentaria para México, que permita visualizar en prospectiva este binomio en términos de eficiencia productiva, comercial y alimentaria, en el marco de la agenda 2030. Lo anterior a través de la revisión de documentos científicos, así como de informes y bases estadísticas de sitios oficiales internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el World Water Council (WWC), la Organización de las Naciones Unidas (ONU), etc. y a nivel nacional como la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), entre otros.

En el primer apartado se presentan algunas generalidades sobre el agua y su contexto mundial. Posteriormente se presenta un marco referencial, teórico como contextual, sobre el agua virtual y una proximidad con la huella hídrica, así como la conceptualización de la seguridad y soberanía alimentaria vinculados al segundo Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) de hambre cero. Finalmente se analiza la forma en la que se ha presentado este binomio entre comercio de agua virtual y seguridad alimentaria para México, para así llegar a ciertas conclusiones.

## **Agua en el mundo**

El agua es un recurso vital para los humanos y otros seres vivos, tanto para su consumo directo como para el funcionamiento de las actividades productivas (SEMARNAT, 2012). El planeta tiene 1.386.000.000 Mm<sup>3</sup>, siendo en su mayoría agua salada con el 97.5%. El resto, se considera agua dulce que en su mayoría (68.7%) se localizada en los glaciares y casquetes polares, el 30% corresponde a agua subterránea, 0.8 a permafrost y sólo el 0.4% a aguas superficiales y en la atmósfera. El agua subterránea se localiza en los mantos acuíferos que abastecen por lo menos el 50% de la población mundial y el 43% se emplea para riego. En cuanto al agua superficial se encuentra en lagos con el 67.4% y 1.6% en ríos utilizadas para ciertas actividades productivas, sobre todo para la generación de energía; 12.2% humedad del suelo, 9.5% en la atmósfera y el resto en otro tipo de humedades, plantas y animales (FCEA, 2022; PNUMA, 2007).

La escasez del agua es un problema cada vez más evidente y preocupante, ante una población demográfica creciente que se pronostica alcance los 8 mil millones de personas para 2024 y los 9 mil millones para 2045, aunado a la dinámica de crecimiento de la economía mundial, bajo sistemas de producción intensivos y consumo masivo, poco amigables con el ambiente, particularmente con el agua (SEMARNAT, 2012).

A nivel mundial el agua se encuentra distribuida de manera desigual en las distintas regiones, siendo Sudamérica la región con los mayores recursos hídricos renovables que representan el 31.8%, donde Brasil es el país que ocupa la posición líder de estas reservas, seguida por Asia y Europa, teniendo a Rusia en segundo

lugar, al ser un país que forma parte de ambos continentes. México por su parte se encontraba en la posición 26 como se ha señalado anteriormente (Vázquez del Mercado & Buenfil, 2012).

De acuerdo con el Consejo de Agua Mundial (WWC), así como el sexto ODS sobre agua limpia y saneamiento, establecen que los retos del problema del agua para el presente siglo sin duda serán: *i*) la presión sobre los recursos hídricos y los ecosistemas, donde 3 de cada 10 personas no cuentan con servicios de agua potabilizada; *ii*) la intempestiva de cambios globales que provocan desastres naturales como sequías e inundaciones; *iii*) el deterioro de su calidad por contaminación al verter, las aguas residuales, en su mayoría, a los ríos o el mar sin ningún tratamiento derivado de las actividades humanas; *iv*) la menor asignación de recursos financieros debido a la diversidad de problemática por atender; y *v*) la toma de conciencia por la sociedad y los tomadores de decisiones para establecer una normatividad que eficiente y cuide este recurso en la producción, comercialización y consumo (WWC, 2022; ONU, 2022). Por lo anterior, se debe actuar de manera inmediata, mientras aún se disponga de este líquido vital; en caso contrario la disputa en el mediano plazo por este líquido vital generará más desigualdad, hambre y pobreza en el mundo, contraponiendo los ODS de la agenda 2030.

### **Marco referencial sobre agua virtual y seguridad alimentaria**

Cuando referimos al problema del agua, generalmente lo vinculamos con el agua que se utiliza directamente para el consumo humano y las actividades domésticas, como lavarnos las manos, la ropa o los platos, al bañarnos o regar las plantas, etc., pero esto apenas representa el 4% del agua que se emplea en las actividades diarias, pues la mayor parte del agua que se demanda se encuentra en los bienes y servicios que consumimos, que no lo vemos y en consecuencia no se tiene conciencia de ello.

### **Agua virtual y huella hídrica**

La conceptualización del agua virtual fue introducida en 2002 por Arjen Hoekstra y P. Hung., tomando como referente la idea de Tony Allan en 1998, (Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017). Según la CONAGUA (2012), el AV, es la cantidad de agua requerida para la producción de un bien primario o industrial desde su cultivo o fabricación hasta su comercialización. Esta se puede calcular para cualquier tipo de producto y se denomina virtual al no estar presente directamente en el agua que se consume, sino intrínsecamente dentro de estos bienes.

A diferencia del anterior la Huella Hídrica (HH), es un indicador multidimensional de agua dulce, a nivel producto, región, organización o personas, y puede referirse a la producción o al consumo. Determina la cantidad total de agua que utilizamos en nuestra vida diaria, sea en la producción de alimentos, en los procesos industriales, generación de energía, o bien aquella que se contamina por los mismos procesos. Se llama huella porque da razón del lugar de origen, volumen, fuente de extracción y el momento en que el agua es utilizada y regresada a su origen u otro destino.

La HH clasifica el agua por colores. La azul, es aquella que se encuentra en los arroyos, ríos, mantos acuíferos, entre otros. Por otro lado aquella que se capta por la lluvia determina el agua verde. Finalmente el agua gris que se requiere para asimilar los procesos contaminantes. La sumatoria de las tres calcula la HH total, que puede ser de un producto, país, persona, región, etc. tanto de los recursos hídricos internos como los externos (importaciones y exportaciones de agua virtual).

A manera de ejemplo si se quisiera calcular la HH de un producto. En este caso los ingredientes y proporción para la fabricación de un kilo de chocolate que se requeriría serían: pasta de cacao (0.4\*33,260 litros/kg); manteca de cacao (0.20\*50,730 litros /kg) y azúcar (0.4\*1,526 litros/kg), que sumado daría como resultado 24060 litros de agua para un kilo de chocolate (SEMARNAT, 2006; CONAGUA, 2012).

Para dejar más claro estos conceptos se puede decir que el AV hace alusión a la producción, mientras la HH refiere al consumo. A nivel producto la cantidad AV viene siendo igual a la HH. En la Tabla 1 se pueden observar la cantidad de agua que necesita en la producción de distintos tipos de bienes.

**Tabla 1. Agua virtual por producto. Promedio mundial**

Producto	Agua virtual contenida (litros)	Producto	Agua virtual contenida (litros)
jitomate de 80 g	15	250 ml de té	35
papa de 120 g	30	250 ml de cerveza	105
plátano de 80 g	64	250 ml de jugo de naranja	238
naranja de 150 g	75	250 ml de vino	240
mango de 100 g	80	250 ml de leche	250
manzana de 150 g	105	250 ml de café	280
100 g de calabaza	12	rebanada de pan de 24 g	32
100 g de maíz	90	rebanada de queso de 6 g	30
100 g de arroz	120	pieza de huevo de 50 g	170
100 g de azúcar	150	hoja de papel tamaño A4 de 80 g/m <sup>2</sup>	10
100 g carne de cerdo	480	microchip de 3 g	48
100 g carne de res	1550	playera de algodón de 190 g	1520
hamburguesa de 200 g	3200	par de zapatos de cuero bovino	8000

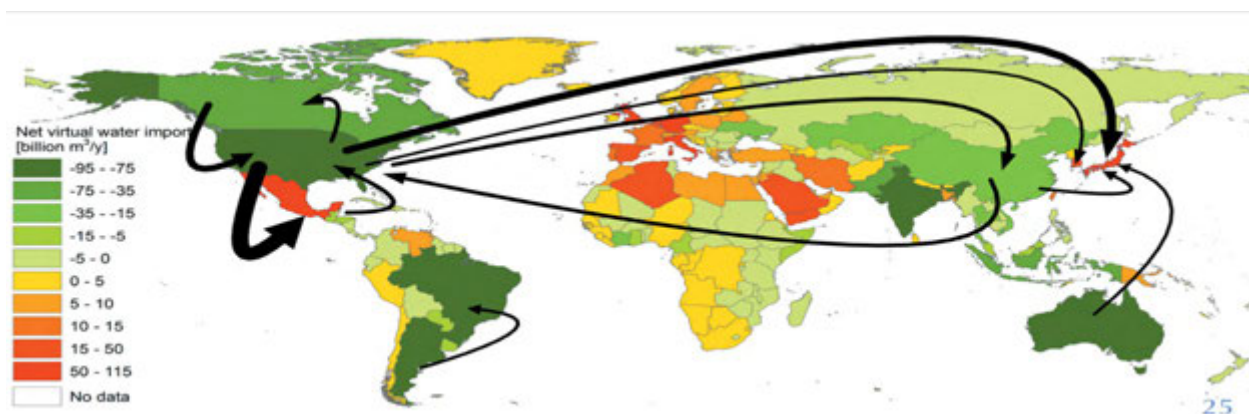
Fuente: Elaboración propia con información de Parada, 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2011; SEMARNAT, 2012.

En esta se puede ver los productos más procesados demandan una mayor cantidad de agua, a diferencia de productos primarios como la papa que 120 gramos que necesita 30 litros de agua, comparado con los 1550 litros de agua que se necesitan para un corte de carne de res de 100 gramos, debido a los insumos asociados para su producción, como el forraje, alimentos complementarios, vacunas, etc. (Parada, 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2011; SEMARNAT, 2012).

En la eficiencia hídrica global. El agua virtual ha sido un mecanismo que ha permitido mejorar el uso del agua y con ello la seguridad hídrica en aquellas regiones carentes de agua. Hay países desarrollados que al ser limitados en su recurso hídrico prefieren adquirir sus bienes o servicios de otros países que disponen

de este recurso, por medio de la estrategia de importaciones, pero ello depende de varios factores, como los precios internacionales de productos e insumos agrícolas, la eficiencia productiva y los acuerdos comerciales que tenga, el aumento poblacional, entre otros. Entre los productos de mayor comercialización de agua virtual destacan las oleaginosas con casi la mitad del flujo de mundial, seguida por los cereales con un 17%; productos industriales (12.2%) y carne de res (6.7%), entre otros (SEMARNAT, 2012)

**Mapa 1. Flujos de Importación neta de agua virtual por países. 2011**



Fuente: Obtenido de Mekonnen & Hoekstra (2011:23)

Regionalmente los principales países exportadores de agua virtual se localizan en América representados por Brasil, Estados Unidos, Canadá, y Colombia, seguidos por los de la región sur de Asia, donde destaca India. En cuanto a las regiones de mayor importación está África del norte y Medio Oriente, aunque individualmente se puede observar en el Mapa 1, que destacan países como México y Japón que no sólo son importadores netos, sino además muestran una dependencia considerable con un solo país como lo es Estados Unidos (Chapagain *et al.*, 2006; Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017).

Los conceptos de AV y HH están interrelacionados y presentes en la vida cotidiana de las personas a través del agua que requieren tanto en la producción como el consumo. La comercialización internacional de esta AV tiene efectos los procesos productivos y el comportamiento que asumen los consumidores en otras regiones, que sumado a los hábitos alimenticios y estilos de vida determinan la magnitud de la HH (CONAGUA, 2012).

Generalmente la HH mantiene una relación positiva con el grado de desarrollo de los países en función de su poder adquisitivo, así los países de mayor grado de desarrollo su patrón de consumo se caracteriza por la prevalencia de bienes industriales y cárnicos, que demanda una cantidad de agua más grande. Si bien es cierto, la HH permite determinar la eficiencia productiva y del consumo del agua, existen factores que inciden sobre ella, como la influencia del clima en ciclo hídrico, la eficiencia productiva, así como el promedio consumido de agua (Arreguín-Cortés, *et al.*, 2007). Para 2011, la HH mundial anual por persona se estimaba en 1,385 m<sup>3</sup> de agua, México por su parte se ubicaba en el lugar 49, con un consumo de agua aproximado de los dos mil m<sup>3</sup>/año, mientras Mongolia era el país con mayor HH de casi cuatro mil m<sup>3</sup>/año, y Bolivia en tercer lugar (SEMARNAT, 2012; Mekonnen y Hoekstra, 2011).

El conocimiento de AV y la HH, son medulares para entender el funcionamiento de la comercialización de agua a través del comercio internacional, en cuanto al contenido del agua en los productos que se comercializan, como una especie de transvase virtual de agua con menores costos directos de impacto económico, social y ambiental, aunque si de forma indirecta, comentados más adelante. Los flujos de AV internacional representan el 22% de HH mundialmente consumida, por ello su eficiencia y reducción es responsabilidad de todos ( CONAGUA, 2019).

El AV es un mecanismo que permite mejorar la eficiencia global del agua, contribuyendo a la seguridad alimentaria por medio de la estrategia de importaciones (Porkka, Guillaume, Schaphoff, y Kummu, 2017). Sin embargo, esto también depende de la capacidad que tenga la población para adquirir estos productos, pudiendo ser riesgoso en el mediano plazo al implicar una mayor dependencia alimentaria e hídrica (Arreguín-Cortés, *et al*, 2007).

## **La seguridad alimentaria en los ODS**

Como se ha mencionado anteriormente, la comercialización de AV, puede atenuar el problema de inseguridad alimentaria, entendida como la carencia al acceso regular y suficientes de alimentos inocuos y nutritivos para llevar una vida activa y saludable, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2022a), que va desde un estatus seguridad o inseguridad leve hasta una crónica, que es lo que habitualmente conocemos como hambre, definida por aquella sensación física incómoda o dolorosa, causada por un consumo insuficiente de energía alimentaria, conforme a la Escala de Experiencia de Inseguridad alimentaria (FIES por sus siglas en inglés).

Si se contempla de manera conjunta producción y consumo de alimentos a escala mundial, el 70% de los alimentos tienen su origen en un país distinto y más de una cuarta parte de los que se consumen se atribuye al comercio internacional de AV, con una dependencia de estas importaciones para más de 2000 millones de personas (Khoury, y otros, 2016; Suweisa, Carr, Maritan, Rinaldo, y D'Odorico, 2015).

Es importante señalar que la discusión del problema alimentario, ha sido un tópico recurrente discutido mucho antes de los acuerdos de los ODS en 2015, al que se ha tratado de dar salida, desde diferentes aristas. Con la revolución verde se le asoció a un problema de producción, por lo que se adoptaron paquetes tecnológicos se buscaron generar un excedente para intercambiar. Posteriormente con la instauración del modelo de apertura comercial se interpretaba como un problema de disponibilidad de alimentos, así la vía de integración comercial se visualizaba como la ruta a seguir para solventarlo. Sin embargo, la inseguridad alimentaria lejos de disminuir ha aumentado, asumiéndolo como un problema más complejo, que se atribuye no sólo a la producción y disponibilidad de alimentos, sino más bien al acceso de los mismos.

Es así que en 2015, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas, a través del el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2015), establece un plan de acción integrado e indivisible en las esferas económica, social y ambiental, con 17 objetivos y 169 metas interrelacionados a favor de las personas más pobres y vulnerables, el planeta, la prosperidad, la paz universal y el acceso a la justicia, como un compromiso de 193 Estados al año 2030.

Si bien es cierto todos los ODS están interrelacionados, en torno a la temática abordada, destacan por lo menos cinco objetivos (ONU, 2022):

ODS 1: Fin de la pobreza. Implica erradicar la pobreza en sus distintas dimensiones de más de 71 millones de personas en pobreza extrema.

ODS 2: Hambre cero. Tiene como propósito lograr una seguridad alimentaria de calidad para la población del planeta que disminuya por lo menos la inseguridad moderada a grave que enfrenta el 30%; así como apoyar la sostenibilidad agrícola.

ODS 6: Agua limpia y saneamiento. Busca fortalecer el aprovisionamiento sostenible y de calidad del agua, que pueda evitar el desplazamiento de por lo menos 700 millones de personas.

Objetivo 10: Reducción de las desigualdades. Establece el compromiso de reducir la desigualdad en los países y al interior de ellos, que proteja los grupos más vulnerables.

ODS 12: Producción y Consumo responsable. Significa garantizar una producción y consumo sostenible, evitando la pérdida y desperdicio de alimentos que se estima alrededor del 30%.

A menos de 10 años de que concluya la agenda 2030, el cumplimiento de estos objetivos están muy lejos de alcanzarse, por la sinergia contradictoria de la dinámica mundial. Lo más preocupante es que quizás algunos de ellos, estarán en una condición más grave, como el de hambre cero por una pandemia sorpresiva e intempestiva, y el reciente enfrentamiento mundial que tienen un peso importante en la producción y exportación de alimentos, al ser una de las seis regiones consideradas graneros del mundo, así como el de agua limpia y saneamiento, al presentarse un estrés hídrico cada vez más preocupante y desigual.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, 2019), señalaba que el gran compromiso de la agenda 2030 es “no dejar a nadie atrás”, de tal forma, que todas las personas en cada uno de los países se beneficien del desarrollo socioeconómico y logren la plena realización de los derechos humanos. Bajo este contexto, es fundamental el aprovisionamiento de agua con calidad para todos, como lo establece el sexto ODS, al estimar que para 2050, podría aumentar su demanda entre un 20 y 30%. Esto implica atender la escasez severa a la que se enfrentan más de 2.000 millones de la población mundial y 4.000 millones más con una grave escasez, por lo menos un mes al año. Esta también implica apoyar al grosos de los pequeños agricultores, bajo condiciones de temporal que constituyen la columna vertebral de la producción global de alimentos, con más del 60%, así como del abasto de los mercados internos.

En cuanto al segundo ODS, el panorama es aún más desconsolador, en 2021 entre 720 y 811 millones de personas enfrentaron hambre, 690 millones de tipo crónica, similar al registro que se tenía para 2005, así, lejos de disminuir se estima incluso que en 2030 alcancen los 840 millones, atribuible al cambio climático que han causado escasez de recursos y procesos migratorios; la presencia de conflictos internos en distintos países; la reciente pandemia por COVID-19 y el conflicto armado entre Rusia y Ucrania, que ha provocado un espiral inflacionario en alimentos y combustibles, con casi un 300% en fertilizantes, 55% en maíz y en trigo del 91 %, por mencionar algunos (FAO, 2022<sup>a</sup>; FAO, 2022<sup>b</sup>)

Cumplir con los ODS al 2030 y más allá, requiere cambiar la connotación sobre el desarrollo mundial inclusivo y justo. Bajo el enfoque de la discusión del presente capítulo, en torno al binomio comercio de agua virtual y seguridad alimentaria, es claro que la alimentación de un país no puede depender de los caprichos del mercado internacional, mucho menos como un mecanismo de control y presión internacional. No se puede demeritar las bondades del comercio, sino más bien, determinar aquellas estrategias que promuevan políticas y prácticas de comercio, en términos de agua virtual, en un marco de calidad, sustentabilidad y soberanía al servicio del derecho de los pueblos (Calva, 2012).

## Agua virtual en México y la seguridad alimentaria

Antes de centrar el análisis en el tema de seguridad y comercio de agua virtual en México, es importante tener una pequeña contextualización sobre la disponibilidad y problemática del agua en este país.

### Disponibilidad de agua en México

En promedio México entre 2016-2018, ha tenido una precipitación anual de 1 449 471 Mm<sup>3</sup> de agua, de la cual, casi tres cuartas partes se evapotranspiran, mientras el 21.4% se incorpora a las aguas superficiales y el resto se infiltra a los mantos freáticos. Considerando los flujos de agua virtual de México en 2018, la disponibilidad total de agua sumaba los 451 millones de Km<sup>3</sup> de agua renovable (figura 1).

Figura 1. Ciclo hidrológico de México. Promedio anual periodo 2016-2018



Fuente: Elaboración propia con información de CONAGUA (2019)

Este valor es superior comparado con algunos países europeos, pero es muy inferior a Estados Unidos (6.7 veces más) y Canadá (6.4) como socios del TMEC; o Brasil (18.2 veces más). En solo unas cuantas décadas, México pasó de tener una alta disponibilidad de agua a uno de baja, debido a los diversos factores como el crecimiento demográfico que suman 126 millones de habitantes; la demanda creciente en sus distintos usos, principalmente la actividad agropecuaria; la contaminación y manejo ineficiente del agua, que ha derivado en una presión hídrica interna, entre otros (CONAGUA, 2019).

Administrativamente en México las aguas superficiales se agrupan en 757 cuencas con 37 regiones hidrológicas, administradas en 13 regiones. Las aguas subterráneas, se administran en 653 acuíferos, de los cuales 115 están sobreexplotados, 32 con problemas de salinidad y 18 más de intrusión salina, sin señalar que algunos de ellos se encuentran contaminados por problemas de arsénico u otros minerales pesados; además de las ocho cuencas fronterizas que comparte con sus países colindantes (CONAGUA, 2011a).

La desigualdad de la disponibilidad del agua en el territorio mexicano es muy parecida a lo que ocurre a nivel mundial, ya que dos terceras partes del agua renovable se localiza en el sureste del país con un 20% en población y aportación al PIB; mientras que la diferencia de las regiones dispone de un 25% del agua y una población y aportación al PIB del 75%. México ocupa el lugar 35 a nivel mundial en capacidad de

almacenamiento per cápita y su precipitación anual promedio es de 758 mm/año; aunque se tienen regiones como la XI: Frontera Sur cuya precipitación es de 2295 mm, con un consumo disponible per cápita anual de 21 millones 39 mil litros anual por habitante, comparada con la Región 1 de baja california, con 217 mm y 780,000 mil litros de agua per cápita, (SEMARNAT, 2012).

Es importante dimensional el problema de disponibilidad per cápita de agua en México, puesto que en 1950 era de 18 035 m<sup>3</sup> anual, reduciéndose para 2013 hasta 3 982 m<sup>3</sup> y para 2030 se pronostica que no se alcance más de 1000 m<sup>3</sup>, siendo esto preocupante, pues existen lugares donde antes se perforaban 30 metros para sacar 300 litros de agua ahora se tiene que perforar 300 metros para obtener 30 litros de agua (CONAGUA, 2015).

## **Agua y producción de alimentos**

Se ha mencionado anteriormente que la actividad con mayor consumo de agua es en México es justamente la actividad agropecuaria, que demanda el 75.78% de la disponibilidad de agua dulce, comparado con el 14.71% para el abastecimiento público, el 4.9% para uso industrial y el resto para la generación de energía eléctrica. La superficie del país suma los 196.438 millones de Km<sup>2</sup>, el 13% representa la superficie cultivable, siendo en su mayoría de temporal para cultivos tradicionales y pastos. Sólo el 23% de las tierras cultivables utilizan riego, proveniente en su mayoría de aguas superficiales con el 60%, subterránea el 34% que implica disminución de los niveles freáticos y sobre explotación de los acuíferos, y el 6% aguas residuales. La agricultura de riego provee el 55% de la producción nacional y el 70% de la exportación agrícola, principalmente de frutas y hortalizas, aunque también se producen granos (maíz, sorgo y soya) y forrajes para la producción pecuaria (FAO, 2014; CONAGUA, 2019).

Los alimentos forman parte de una necesidad fundamental para el ser humano y el uso de agua para su producción es indispensable, por ello, es importante eficientar su uso, pues se estima que en México un 57% del agua se desperdicia por infraestructura de riego ineficiente, infiltración y evaporación, sumado a la contaminación residual que se genera de aguas superficiales y subterráneas por el excesivo uso de agroquímicos y mal manejo de residuos en el sector primario. A lo anterior, también contribuyen factores de otra naturaleza, como la estructura del régimen ejidal, la indefinición de usos sobre la adquisición del agua y las bajas cuotas de riego, la orografía de las tierras de cultivo, entre otros (SEMARNAT-CONAGUA, 2017).

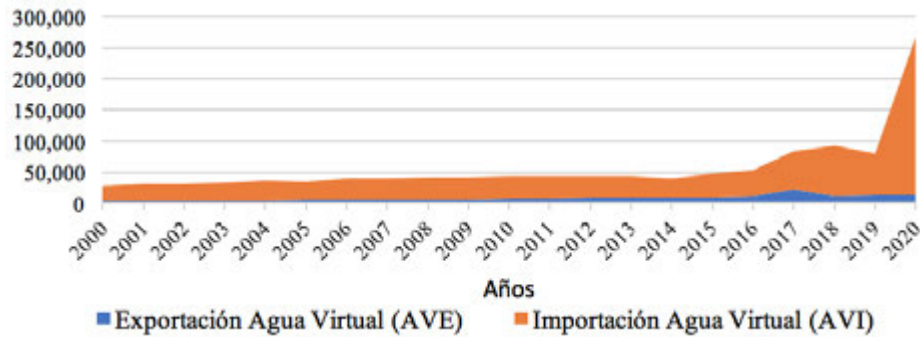
La problemática de la producción de alimentos y la disponibilidad del agua en México es compleja al asociarse a factores económicos, técnicos, culturales, políticos y ambientales. Estudios como los de Porkka, Guillaume, Schaphoff y Kummu (2017) han puesto de manifiesto como la estrategia de importación de alimentos, ha permitido atenuar los problemas de inseguridad alimentaria para la mayoría de países, aunque en términos absolutos sigue en aumento. Gradualmente la inseguridad alimentaria se ha intensificado en aquellas regiones o países que históricamente lo han sido, como África, donde de los 828 millones de personas en el mundo que padecen hambre, el 20.2% se tienen en continente; pero esta situación también se ha visto más frecuente en aquellos países que se insertaron en un proceso comercial global acelerado, como México, Chile, Brasil, entre otros, que ha encontrado en la importación de alimentos (agua virtual) una forma estratégica de subsanar en el corto plazo la seguridad alimentaria de su población y evitar con ello un mayor estrés hídrico.



## Agua virtual como una estrategia para la seguridad alimentaria

Según datos del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA, 2022), en el Gráfico 1 se muestra el déficit creciente de AV en una relación de cinco a uno entre importaciones y exportaciones para México en 20 años considerados.

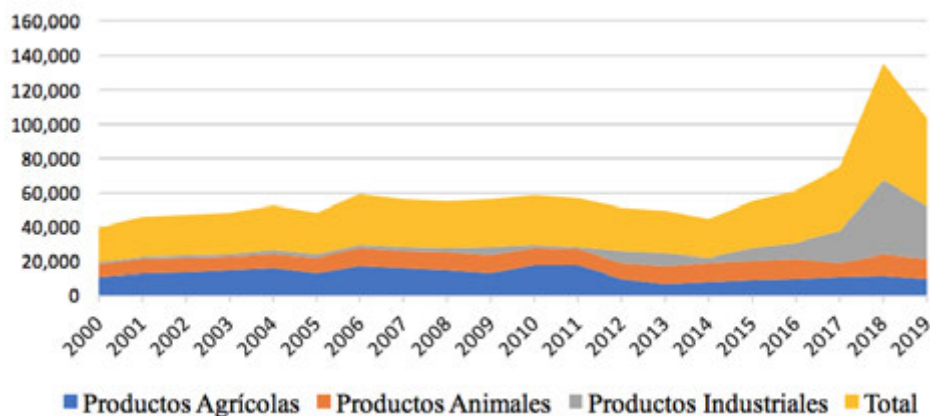
**Gráfico 1. Flujo de Agua Virtual en México. Millones de metros cúbicos. 2000-2020.**



Fuente: Elaboración propia con información de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=huellaHidrica&ver=reporte&o=0&n=nacional>

Mientras las exportaciones pasaron de 4 mil a 13 mil  $Mm^3$  en el periodo 2000-2019, las importaciones pasaron de 24 mil a 65  $Mm^3$ , sin considerar el año atípico de 2020, asociado a la pandemia, donde las importaciones se incrementaron exponencialmente hasta 254  $Mm^3$  de agua, esto fue 12 veces más que el año de referencia inicial. México durante el presente siglo ha figurado mundialmente entre los primeros tres países importadores netos de AV y el primero en Latinoamérica. El Gráfico 2 muestra este incremento de las importaciones netas a una tasa promedio anual del 6.9%, pasando de 19843  $Mm^3$  en el año 2000, a 51738 para 2019.

**Gráfico 2. Importaciones netas de agua virtual en México por tipo de producto. Millones de metros cúbicos. 2000- 2019**



Fuente: Elaboración propia con información de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=huellaHidrica&ver=reporte&o=0&n=nacional>

La participación y tendencia por tipos de bienes también se visualizan en esta misma gráfica, donde los productos agrícolas han disminuido su participación. Para el año 2000 representaban el 54% del total, el 38% los pecuarios y tan sólo el 8% los industriales, ya en 2019 la participación se ha revertido y ahora la mayor importación de agua virtual para México se atribuye a los productos industriales que representaron para ese año el 58% total, comparado con el 19% de los agrícolas y el 23% pecuario. Es importante dejar claro que en términos absolutos la demanda agropecuaria de AV se ha mantenido, puesto que en 2000 sumaban los 10051 millones de metros cúbicos contra los 11540 para 2019; los pecuarios se ha incrementado ligeramente de 7510 a 11823, mientras los industriales se han disparado, al pasar de 1532 a 30152 millones de metros cúbicos, es decir casi 20 veces más en 19 años a razón de una tasa promedio anual del 40%.

La creciente importación de agua virtual y con ello la seguridad alimentaria, se atribuye sobre todo a los alimentos de origen animal, registrando una tasa anual de crecimiento del 3.28% y de productos agrícolas del 1.96%. En 2020, asociado a la pandemia, la importación de AV aumentó en productos agrícolas e industriales, mientras los pecuarios disminuyeron, debido al alza generalizada de sus precios por el problema de desabasto.

**Tabla 2. Estatus de la seguridad alimentaria de los 20 productos más consumidos en México. 2020**

Producto	Producción	Importación	Exportación	Consumo Nacional Aparente	Autosuficiencia %	Dependencia %	consumo per cápita (Kg/per)
Maíz	27424528	15953291	312382	43065437	63.0	37.0	341.8
Leche cruda	12563700	15203	5250	12573653	99.9	0.1	99.8
Trigo	2986689	3726125	255638	6457176	42.3	57.7	51.2
Azuc Cent	6710121	17009	549076	6178054	99.7	0.3	49.0
Naranja	4648620	29182	52061	4625741	99.4	0.6	36.7
Pollo	3578694	881419	0	4460113	80.2	19.8	35.4
Huevo	3015960	44461	0	3060421	98.5	1.5	24.3
Carne res	2081262	15785	104323	1992724	99.2	0.8	15.8
Carne cerdo	1652362	325316	233011	1744667	81.4	18.6	13.8
Papa	1943910	115570	505	2058975	94.4	5.6	16.3
Tomate	3370827	255	1826715	1544367	100	0.0	12.3
Plátano	2464171	0	496224	1967947	100	0.0	15.6
Limón-lima	2879023	2899	807406	2074516	99.9	0.1	16.5
Frijol	1056071	143528	48059	1151540	87.5	12.5	9.1
Manzana	714203	247521	414	961310	74.3	25.7	7.6
Arroz	295338	788623	0	1083961	27.2	72.8	8.6

Cebolla sec	1499741	85504	424408	1160837	92.6	7.4	9.2
Piña	1208247	0	41517	1166730	100	0.0	9.3
Aceite palma	1571231	383538	2183	1952586	80.4	19.6	15.5
Toronja	490834	619	13065	478388	99.9	0.1	3.8

Fuente: Elaboración propia con información de (FAOSTAT, 2022; SIAP, 2022)

En la Tabla 2, se presenta el estatus de la seguridad alimentaria de estos productos versus la dependencia que se ha registrado para el año 2020, aunque el panorama no ha sido diferente en los anteriores 10 años por lo menos. Según FAO la dependencia alimentaria de un producto se tiene cuando la relación entre importaciones y su consumo supera el 25%. En la tabla anterior se pueden identificar tres productos que presentan un alto nivel de dependencia, como son arroz, trigo y maíz que superan por mucho el 25%, esto quizás no tendría que ser tan alarmante, sin embargo para México, los granos básicos, sobre todo el maíz, forman parte de la alimentación base de población, ante todo, de aquellas personas con alta vulnerabilidad económica y en consecuencia alimentaria, con un consumo per cápita de casi 350 kilogramos por año, lo que pone de manifiesto el riesgo que se tiene de estar a expensas de lo que ocurra con este cultivo fuera de México, principalmente en Estados Unidos que es de donde proviene el grosor de las importaciones y la determinación de su precio. La manzana por su parte se encuentra en el límite con el 25.7%; y otros tres más se encuentran cercanos como son el aceite de palma, carne de cerdo y el frijol.

En contraparte, en nueve de los productos se es autosuficiente, prácticamente al 100%, destacando en cuatro frutales, tomates y papa, así como carne de res, leche y azúcar lo cual es muy importante para la seguridad alimentaria de los mexicanos, a pesar de que su consumo per cápita no se aproxima a lo de granos básicos.

Según la Encuesta de Nacional de Ingresos y Gastos en los Hogares (ENIGH) para 2018 el 35-50% de los ingresos de los hogares mexicanos se destinaba al gasto de alimentos, de esto el 23% era para compra de carnes, aunque sólo el 12.7% consumía los siete días de la semana; el 17.8% se destinaba para cereales, con más del 90% consumiendo todos los días de la semana, seguramente muy asociado al maíz; y tan sólo el 2.4% de los ingresos era para comprar pescados y mariscos, pero sólo un 1.5% consumiendo toda la semana. Los principales problemas de acceso a la alimentación que refieren es la preocupación de que los alimentos no alcance o bien que no sea sana y variada (CEDRSSA, 2019).

En términos de agua y seguridad alimentaria de estos productos, en 2016 México ocupaba la octava posición de la HH global, con el 2.3% del total mundial, y un consumo per cápita de 1 978 m<sup>3</sup> anual, proveniente en un 42.5% de Estados Unidos, Canadá, China y Brasil. Por tipos de bienes el 92% de las HH nacional, estaba asociada al sector primario, suministrada internamente en su mayoría; mientras la industrial representaba el 3%, originada externamente en un 67%. (SEMARNAT-CONAGUA, 2017). Es importante destacar que la mitad de la HH se atribuye la compra de alimentos de origen animal, por los requerimientos de agua para producir este tipo de bienes, y donde México ocupa la sexta posición como consumidor per cápita de carne. Para un kilo de carne de res el agua requerida oscila en los 15 000 litros, y de otras carnes entre 6 y 9 mil litros, por lo que es urgente incidir en los patrones alimentarios de los mexicanos para reducir la demanda de estos productos, así como evitar el uso para la producción de otros derivados como biocombustibles en maíz (Vázquez del Mercado & Lambarri, 2017).

**Tabla 3. Dependencia hidro-alimentaria de productos más consumidos en México. 2016**

Producto	Consumo per cápita	Consumo aparente	Auto Alimentaria %	Depen %	Agua virtual Hm <sup>3</sup>			Agua lit./kilo	Auto Hídrica %	Depen %
					Interna	Importada	Exportada			
Maíz	331.5	40683533	65.3	34.7	37251.8	6598.4	17425.45	1319	75.0	25.0
Leche cruda	94.9	11640563	99.7	0.3	16556.6	32.0	0.40	1426	99.8	0.2
Trigo	57.3	7029631	33.4	66.6	2976.9	6174.1	1422.25	771	20.1	79.9
Naranja	37.3	4579874	99.3	0.7	2818.0	13.4	34.31	612	99.5	0.5
Pollo	31.4	3856484	79.8	20.2	8996.6	330.8	16.96	2923	96.4	3.6
Huevo	22.7	2783388	97.7	2.3	6289.1	12.9	0.16	2312	99.8	0.2
Carne res	14.8	1815669	99.7	0.3	16643.8	313.5	2.85	8859	98.2	1.8
Carne cerdo	16.0	1958936	70.2	29.8	5774.5	196.5	605.19	4196	96.3	3.7
Papa	15.5	1905275	94.2	5.8	371.8	12.8	0.44	207	96.7	3.3
Tomate	18.7	2299656	99.9	0.1	313.2	0.2	0.16	77	99.9	0.1
Plátano	15.8	1936552	100.0	0.0	1134.5	0.1	194.32	476	100.0	0.0
Limón-lima	14.4	1764830	99.9	0.1	1457.4	1.0	57.80	600	99.9	0.1
Frijol	9.9	1219666	86.6	13.4	4689.4	256.8	164.59	4307	94.6	5.4
Manzana	7.6	927953	77.1	22.9	600.5	62.4	1.18	838	90.6	9.4
Arroz	8.1	990489	25.6	74.4	294.1	1202.2	0.00	1158	19.7	80.3
Cebolla sec	10.4	1282023	95.3	4.7	249.7	6.9	0.04	153	97.3	2.7
Piña	6.4	790830	99.8	0.2	90.3	0.2	8.78	103	99.8	0.2
Toronja	3.4	417907	99.5	0.5	152.2	0.0	0.00	348	100.0	0.0

Fuente: Elaboración propia con información de FAOSTAT (2022) y Water to Food (2022)

La Tabla 3 presenta el consumo de agua que requieren aquellos productos más consumidos en México, así como la cantidad de agua virtual de importación y exportación y en consecuencia su estatus de dependencia hidro-alimentaria, por llamarle de alguna manera, en términos del agua contenida en estos alimentos y bajo el mismo argumento de FAO en cuanto al referente sobre la dependencia alimentaria (CEDRSSA, 2018). Cabe aclarar que el Aceite de palma y azúcar no fueron considerados debido a la insostenibilidad de los datos.

Como se puede observar se ratifica el estatus de dependencia alimentaria que presentan los granos básicos en términos de agua, aunque menos intensa para maíz del 25% , no así para arroz y trigo que termina siendo mayor que la alimentaria; esto implicaría que la estrategia de importaciones en términos de agua es aún más desfavorable. Llama la atención la carne de cerdo que superan el 25% de su dependencia pero que términos de agua disminuye considerablemente hasta un 3.7%, esto mismo ocurre, aunque en menor cuantía para manzanas y frijol, teniendo como resultado no sólo el ahorro de agua a través de las importaciones de estos productos, sino también una menor dependencia hídrica de estos productos que constituyen la canasta básica de los mexicanos.

Es importante señalar que para los productos que forman parte del consumo de los mexicanos, pero además lideran la exportación, como el jitomate, limones, plátanos y piñas; su comercialización externa no pone en riesgo la seguridad alimentaria ni hídrica, por lo que debe impulsarse este tipo de productos que represente para el productor nacional una mejor oportunidad de negocio externa y soberanía interna.

Lo anterior implica replantear el análisis que se debe hacer entorno al comercio internacional bajo los conceptos de AV y HH, hacia un nuevo paradigma bajo una perspectiva de negocio, sin perder de vista la seguridad alimentaria e hídrica, buscando la eficiencia a escala global y local de este recurso, en el marco de

los ODS para poner fin al hambre, pobreza y desigualdad que permea en el mundo. Para México, esto se hace visible con la producción de maíz, que si bien tiene una HH de producción interna alta de 1319 litros/kg comparada con Estados Unidos, como su principal proveedor, de 762 litros/kg; la producción de este grano es fundamental para la suficiencia alimentaria de los estratos más pobres, aunado a la trascendencia cultural y biológica.

La relevancia de la HH es reciente, Sin embargo ya se tiene conocimiento de los primeros intentos para generar una mayor conciencia sobre la eficiencia del agua desde el consumo, a través una estrategia de educación ambiental en la comunidad rural de Villavicencio, en Colombia, con la idea de lograr una mejor gestión del recurso hídrico. Los resultados mostraron un cambio de actitud sobre el cuidado de este recurso, al visualizar el consumo en términos de agua (Delgado, Trujillo, y Torres, 2013).

No se debe perder de vista que el comercio internacional ofrece grandes beneficios para los países y oportunidades de negocio para las empresas. Desafortunadamente también se convierte en un mecanismo de control y poder hegemónico por las grandes empresas transnacionales que hacen de los alimentos un instrumento especulativo en los mercados financieros y energéticos, ocasionando severas crisis agroalimentarias con nuevos matices, como lo evidencian diversos estudios (Rubio, 2015; Rubio, 2014; Calva, 2012).

La estrategia comercial internacional para México bajo esta nueva visión hidro-alimentaria, en el marco de sus 10 tratados de libre comercio, 32 acuerdos de reciprocidad de inversiones, y nueve más de alcance limitado, debiera ser selectiva en la orientación comercial, la planeación de la producción y la instrumentación de políticas públicas que contribuyan hacia este nuevo reto, ante un futuro cada vez más incierto en demérito de aquellos sectores económicos más susceptibles como es el de los alimentos y socialmente más desprotegidos.

## **Conclusiones**

Con la crisis económica de 2008 se hicieron evidentes una serie de contradicciones del modelo económico global, poniendo de manifiesto la vulnerabilidad e interconexión sectorial a nivel mundial. Este panorama implicó una nueva etapa enfocada a la sostenibilidad en los distintos ámbitos, como el de la seguridad alimentaria, saneamiento del agua, fin de la pobreza y desigualdad, consumo responsable, entre otros, institucionalizados en la agenda 2030.

En materia de seguridad alimentaria e hídrica los conceptos de agua virtual y huella hídrica aparecen como una nueva forma de efficientar el uso del agua y de visualizar el comercio internacional hacia la toma decisiones empresariales, gubernamentales, sociales e individuales de manera responsable, transparente y sostenible. Esto permitirá la implementación de procesos productivos innovadores que reduzcan la HH; estimulará normando y apoyando un comercio de agua virtual más justo a través de la protección y la promoción del uso sustentable de los recursos hídricos desde la perspectiva del ordenamiento, el desarrollo territorial y el comercio internacional; así como una mayor conciencia de las implicaciones de los patrones de consumo sobre la dependencia hidro-alimentaria, incentivado por los capitales corporativos transnacionales.

Es importante resaltar, que el tema de inseguridad alimentaria e hídrica es una problemática que se potencializa en otros ámbitos como el de la inseguridad social como parte del descontento por no tener el acceso a los alimentos básicos y al agua por el alza de sus precios o bien la falta de disponibilidad de los mismos. Esto también se refleja como una afectación a la salud pública puesto que al no tener una alimentación suficiente en cantidad y calidad se tiene como resultado una serie de enfermedades como la

desnutrición, diabetes, obesidad, entre otras, que tiene un costo no sólo económico, sino también social y ambiental. La problemática del agua asociado a la alimentación se debe abordar desde tres aristas: en la producción se debe buscar una mayor eficiencia de sistemas productivos ahorradores de agua; en el consumo se debe optimizar una dieta por contenido nutricional y disminución desperdicios de alimentos; y en el comercio internacional se debe dar una visión estratégica que no genere dependencia pero aproveche la vinculación internacional.

Bajo este nuevo paradigma, es necesario establecer estrategias productivas y comerciales innovadoras, eficientes e inclusivas, desde dentro, que garanticen además de la producción y el consumo de alimentos, el acceso como parte de un derecho universal básico; en caso contrario, los ODS se reducen a un simple discurso de buenas intenciones. En este propósito la sociedad tiene un papel activo como gestor, pero también entorno a la responsabilidad que le compete como un consumidor de mayor conciencia social y ambiental, en cuanto a la pérdida y el desperdicio de alimentos y agua. De esta manera se podrá avanzar para dejar a las nuevas generaciones un futuro con mejores expectativas, con problemas menores de los que nos fueron heredados.

## Referencias bibliográficas

- Arreguín-Cortés, F., López-Pérez, M., Marengo-Mogollón, H., Tejeda-González, & Carlos. (2007). Agua virtual en México. *Ingeniería Hidráulica en México*, XXXII(4), 121-132. Obtenido de [http://cenca.imta.mx/pdf/agua\\_virtual.pdf](http://cenca.imta.mx/pdf/agua_virtual.pdf)
- Biel, R. (2016). *Sustainable Food Systems: The Role of the City*. UCL Press. JSTOR. doi: <https://doi.org/10.2307/j.ctt1j1vzc5>
- Calva, J. L. (2012). Políticas agropecuarias para la soberanía alimentaria y el desarrollo sostenido con equidad. (JP, Ed.) *Economía UNAM*, 27. Recuperado el 19 de abril de 2020, de <http://www.economia.unam.mx/academia/inae/pdf/inae2/c1.pdf>
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA) (2018). La dependencia alimentaria en México. Recuperado el 12 de septiembre de 2022, de [http://www.cedrssa.gob.mx/post\\_la\\_dependencia\\_-n-alimentaria-n-\\_de\\_-n-mn-xico-n.htm](http://www.cedrssa.gob.mx/post_la_dependencia_-n-alimentaria-n-_de_-n-mn-xico-n.htm)
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA) (2019). Obtenido de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/74ENIGH2018-Investigaci%C3%B3n.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2012). Agua virtual y huella hídrica. Recuperado el 8 de julio de 2022, de <https://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/infograf%C3%ADa%20huella%20h%C3%ADrica.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2015). Estadísticas del Agua en México. Obtenido de <https://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/eam2015.pdf>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2019). Estadísticas del agua en México. Recuperado el 5 de septiembre de 2022, de [https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2019.pdf](https://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2019.pdf)
- Delgado, G. S., Trujillo, G. J., & Torres, M. M. (2013). La huella hídrica como una estrategia de educación ambiental enfocada a la gestión del recurso hídrico: ejercicio con comunidades rurales de Villavicencio. *Revista Luna Azul*(36), 70-77. Recuperado el 10 de junio de 2022, de <https://www.redalyc.org/pdf/3217/321728584006.pdf>

- Estadísticas de producción y comercio (FAOSTAT) (2022). Obtenido de <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TM>
- Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental (FCEA) (2022). Agua en el planeta. Obtenido de <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- Khoury, C. K., Achicanoy, H. A., Bjorkman, A. D., Navarro-Racines, C., Guarino, L., Flores-Palacios, X., . . . Ramírez-Villegas, J. (2016). Origins of food crops connect countries worldwide. *Proc. R. Soc. B*(283). doi:<https://doi.org/10.1098/rspb.2016.0792>
- Mekonnen, M., & Hoekstra, A. (2011). National wa-ter footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption, en. Recuperado el 8 de septiembre de 2022, de Value of Water Research Report Serie 50: <https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report50-NationalWaterFootprints-Vol1.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2022a). Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible. Obtenido de <https://sdgs.un.org/es/2030agenda>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2022b). objetivos de Desarrollo Sostenibles. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2014). Perfil del país México. Recuperado el 25 de mayo de 2022, de AQUASTAT: <https://www.fao.org/aquastat/es/countries-and-basins/country-profiles/country/MEX>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022a). Hambre e inseguridad alimentaria. Recuperado el 3 de agosto de 2022, de <https://www.fao.org/hunger/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2022b). Una historia de platos vacíos: espacio interactivo del estado de la nutrición y seguridad alimentaria. Recuperado el 20 de agosto de 2022, de <https://www.fao.org/interactive/state-of-food-security-nutrition/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2019). No dejar a nadie atrás. Recuperado el 3 de septiembre de 2022, de Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: <https://es.unesco.org/water-security/wwap/wwdr/2019#:~:text=La%20mejora%20de%20la%20gesti%C3%B3n,camino%20hacia%20el%20desarrollo%20sostenible.>
- Parada, P. G. (2012). El agua vital: conceptos e implicaciones. *Orinoquia*, 16(1). Recuperado el 10 de febrero de 2022, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v16n1/v16n1a08.pdf>
- Porkka, M., Guillaume, J. S., Schaphoff, S., & Kummu, M. (2017). The use of food imports to overcome local limits to growth. *Earth's Future*, 5, 393–407. doi:[doi:10.1002/2016EF000477](https://doi.org/10.1002/2016EF000477). Received 28 SEP 2016 Accepted 6 MAR 2017 Published online 12 APR 2017 © 2017 The Authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License, which permits use and distribution
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2015). Objetivos de Desarrollo Sostenibles (ODS). Obtenido de <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (2007). Un éxito en ciernes. El Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Recuperado el 15 de agosto de 2022, de [http://ozone.unep.org/spanish/Publications/20th\\_anniversary\\_info\\_kit.shtml](http://ozone.unep.org/spanish/Publications/20th_anniversary_info_kit.shtml)

- Rubio, B. (2014). El dominio del hambre. Crisis de hegemonía y alimentos. (U. A. Zacatecas/, Ed.) México: Juan Pablos Editor.
- Rubio, B. (2015). La soberanía alimentaria en México: Una asignatura pendiente. . *Mundo siglo XXI* , X(36), 55-70 . Recuperado el 15 de agosto de 2022, de <https://biblat.unam.mx/hevila/MundosigloXXI/2015/no36/5.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (2012). Informe de la situación de medio ambiente en México. Recuperado el 22 de julio de 2022, de [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe\\_12/pdf/Informe\\_2012.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Informe_2012.pdf)
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales- Comisión Nacional del Agua (SEMARNAT-CONAGUA) (2017). Estadísticas de la situación del agua en México. Obtenido de [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2017.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2022). Estadísticas de producción agrícola y pecuaria 1980-2021. Obtenido de <http://nube.siap.gob.mx/>
- Sistema Nacional de Información del Agua (SINA) (2022). Agua virtual/Huella hídrica. Recuperado el 10 de agosto de 2022, de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?p=3>
- Suweisa, S., Carr, J. A., Maritan, A., Rinaldo, A., & D'Odorico, P. (2015). Resilience and reactivity of global food security. *PNAS*, 112(22), 6902-6907. doi:<https://doi.org/10.1073/pnas.1507366112>
- Vázquez del Mercado, A. R., & Buenfil, R. M. (2012). Huella hídrica de América latina: retos y oportunidades. *Aqua-LAC*, 4(1), 41-48. Recuperado el 5 de septiembre de 2022
- Vázquez del Mercado, A. R., & Lambarri, B. J. (2017). Huella hídrica en México: análisis y perspectivas. IMTA-SEMARNAT. Recuperado el 13 de mayo de 2022, de [huella hídrica en México: análisis y perspectivas: https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/huella-hidrica/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/huella-hidrica/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- Water to Food. (2022). Agua virtual. Obtenido de <https://www.watertofood.org/download/>
- World Water Council (WWC). (2022). Annual Report 2021. Recuperado el 1 de septiembre de 2022, de <https://www.worldwatercouncil.org/en/publications/annual-report-2021>





## La privatización del agua avanza en detrimento de la sociedad

*Roberto Morales Estrella<sup>10</sup>*

La economía mexicana se encuentra entre las 15 economías más grandes a nivel global, y la segunda en Latinoamérica, sin embargo, según cifras del banco Mundial, México está en el 25% de las naciones con mayor desigualdad, y el segundo en precarización, en los países que integran la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico), el coeficiente de Gini es de 0.48 cuando el cero es la ausencia de desigualdad. (LAC. Equity Lab, web)

Según la OMPI (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual) México ocupa el lugar 58 en el ranking de innovación mundial (Global Innovation Index 2022), lo que indica que nuestra economía carece de una cultura innovadora, si bien se conceden más de 16 mil patentes en 2021 y 12 mil en los tres trimestres de 2022 (IMPI-2022), más del 90% son por extranjeros, éstas condiciones muestran la alta vulnerabilidad de nuestra economía y de la sociedad ante desafíos como el del agua.

---

10 Profesor Investigador de la UAEH/

“La vulnerabilidad y seguridad hídrica son dos conceptos estrechamente relacionados. Vulnerabilidad mide el riesgo y daño que los procesos biofísicos y *sociales* pueden ocasionar a la población y a los ecosistemas. La seguridad hídrica muestra la capacidad de una sociedad para satisfacer sus necesidades básicas de agua, la conservación y el uso sustentable de los ecosistemas acuáticos terrestres...” (Ávila García 2008, P.:47-57), Por lo que en buena parte las crisis del agua radican en la forma en que se gestiona.

La gestión del agua en nuestro país se fundamenta en el artículo 27 de la Constitución Política, (Cámara de Diputados 2021) estipulándose que el Gobierno federal es propietario de todas las fuentes de agua, reconociéndose el Derecho Humano al agua y al saneamiento. Las Leyes General de Aguas (Cámara de Diputados 2022) y la Federal de Derechos, Disposiciones Aplicables en Materia de aguas Nacionales (Comisión Nacional de Agua 2022), regulan las disposiciones constitucionales, estableciendo los principios y mecanismos para la gestión de recursos hídricos, siendo la Comisión Nacional de Agua, la que fomenta la participación de usuarios, sociedad civil y sector privado en la gestión del vital líquido.

Los expertos del Panel Intergubernamental sobre el cambio climático (IPPC: 2022) concluyeron en la COP26 que los factores que agravan los impactos del calentamiento, de tal suerte que ya se llegó al 1,1C, a causa de la falta de decisión de los políticos para cumplir con sus compromisos y *la creciente privatización del agua*.

En el caso de México, a partir de los sismos del 85, se detonó el mercado del agua embotellada que ha venido creciendo aceleradamente, como resultado, en gran medida a la debilidad institucional, ya que cedieron ante los intereses mercantilistas de las transnacionales, ya sea por presión o contubernio, derivando en el dominio del mercado del agua embotellada y carbonatada (refrescos).

Por los impactos de los sismos provocaron la rotura de ductos propiciando que se mezclaran las aguas negras y la potable, con potencial para causar enfermedades, según la versión oficial y los medios públicos, además de que los tinacos de agua de edificios y casas, en condiciones de insalubridad, el agua salía sucia lo que causó desconfianza entre la población.

Es entonces cuando las grandes empresas entraron al mercado no solo en la capital del país, sino a escala nacional y tanto las transnacionales especializadas en el servicio como las empresas refresqueras que decidieron aprovechar la coyuntura y lanzaron sus marcas de agua embotellada. PepsiCo y Coca Cola ingresaron en este negocio hasta la década de los noventa. Nestlé hizo lo mismo, primero en alianza con Pepsi como distribuidor.

En tanto las empresas informales se centran en el llenado de garrafones para consumo en el hogar. La NOM-201-SSA-1-2002 (Secretaría de Salud 2002) establece las condiciones en las que debe operar una planta de envasado en cuanto a equipo, tubería, áreas de lavado y llenado, así como las sustancias que se permite utilizar y la presencia máxima permitida de contaminantes, microbiológicos, metales y desinfectantes.

Pero numerosos negocios se establecen en pequeños locales de zonas populares de las grandes ciudades e instalan equipos con los que rellenan garrafones propios o de competidores, dijeron fuentes de la industria.

El problema más serio son los expendios a granel, que ante la poca vigilancia operan fuera de la norma, por lo que es difícil establecer si este desorden ha producido problemas de salud en grupos de población, dado que los malestares intestinales suelen atribuirse a la comida y no al agua.

En un estudio realizado por Euromonitor Internacional (2018) denominado *Soft Drinks Packaging in México*, se observa que el dominio del mercado de bebidas no alcohólicas en nuestro país, es por parte de las bebidas carbonatadas con el 50.54%, en importancia le sigue el agua embotellada en pet con el 22.11%,

sumados representan más del 72% del mercado junto a las bebidas energizantes que alcanzan el 3.5%; en suma tienen más del 75% del mercado de bebidas no alcohólicas, dominado por transnacionales como Coca-Cola y PepsiCo fundamentalmente.

Según la Asociación Nacional de Productores de Refrescos y Aguas Carbonatadas (ANPRAC), este sector representa el 2.8% del PIB manufacturero y el 0.5% del PIB nacional. El crecimiento que muestra este sector alcanza la tasa del 2% anual, pasando de 43 mil millones de unidades en 2017 a 48 mil millones de unidades para este 2022, según cifras aportadas por Euromonitor.

Por su parte, el mercado del agua embotellada, muestra también un crecimiento sostenido, a pesar de que México tiene recursos naturales en tal abundancia, que es considerado un país megadiverso, desde que la World Wildlife Fund (Biodiversidad Mexicana 2022) lo incluyó en el primer mapa de países Megadiversos en 1988; sin embargo el agua embotellada es un mercado dominado por empresas transnacionales, principalmente por Danone con Bonafont, Coca-Cola que comercializa Ciel, mientras que PepsiCo maneja la marca de e-pura, en conjunto estas grandes empresas dominan el 82% del agua embotellada en nuestro país.

Un mercado de más de 10 mil millones de dólares; el precio lo establecen las grandes empresas, por lo que mientras no haya una regulación suficiente, que rescate el sentido social y la condición de derecho humano de este preciado recurso, la población de bajos ingresos verá reducida su participación en el mercado del agua embotellada.

México se ganó a pulso el reconocimiento mundial, a principios de este siglo, como uno de los mayores consumidores de agua embotellada alcanzando un consumo per cápita de 234 lts, y para el 2012 también se le considero como la nación que más agua azucarada consumíamos al registrar un consumo per cápita de 164 lts. (Alejandro Calvillo 2021, pp. 36-39)

El colmo del proceso privatizador es el que a las grandes transnacionales, se les concede el acceso al agua permitiéndoles comercializarla con sus marcas a precios cuyo arbitraje está en manos de esas corporaciones, lesionando los ingresos de los sectores más vulnerables, en un 10% de sus ingresos.

Esta condición del mercado evidencia que el propósito de la comercialización del agua, ya sea azucarada-carbonatada o no, es el incremento de las ganancias, vinculando el proceso de precio de los dos tipos de agua, pues el precio de una bebida determina el precio de la otra, buscando siempre que el consumo del agua azucarada-carbonatada sea mayor, fundamentado en la fidelidad-adicción.

Tanto las estrategias de mercado como las fiscales, han estado articuladas bajo el objetivo de estimular para que el consumo de las bebidas azucaradas sea mayor que el agua sin azúcar, para ello fortalecen sus campañas publicitarias,

En México, según datos de la Comisión Nacional del Agua, el precio promedio de 1.000 litros de agua de la llave es de 25 pesos mexicanos (Mxn), mientras que el precio de 1.000 litros de agua embotellada es de 6.500 pesos mexicanos.

“El mercado del agua embotellada seguirá siendo monumental”, predice Ana Trulin, analista de bebidas de Euromonitor en la Ciudad de México. La gente está acostumbrada a beber agua embotellada y las marcas están haciendo todo lo posible por garantizar que continúe siendo así” (citada por V.A. Pérez Souza 2022).

Las estrategias comerciales se centran en las botellas de 600 ml, de un litro y de 1.5 lts, por su manejo práctico en los jóvenes y niños, sin dejar de comercializar los garrafones de 10 y 20 lts, aunque el consumo en la presentación en 10 lts superan a los de 20 que demandan las familias. El marketing también se ha orientado en la generación de nuevas presentaciones y nuevos sabores

La segmentación demográfica se ha transformado en target mercantiles, por ejemplo los bebés, los jóvenes, y los estudiantes identificados en los diversos niveles educativos, como los que asisten en el kínder, la primaria, secundaria, bachillerato, superior y posgrado. Los productos destinados a estos segmentos de mercado se caracterizan por los sabores edulcorantes y sabores de frutos, generalmente artificiales.

Las estrategias de segmentación son muy variables pero ya están presentes, por ejemplo Coca-Cola, que tiene 22 presentaciones de agua, sumó este año su producto Premium Smart Water y una botella de agua para niños con la marca Ciel Mini, en tanto que su competidor francés lanzó Bonafont Kids; El más dinámico hoy es el segmento de empaques personales.

No obstante, para dichas compañías, el segmento más dinámico y atractivo son las presentaciones personales de 0,5 a 1,5 litros y las familiares de 4 y 20 litros, que representan el 90% del volumen total de ventas. En ese contexto, el agua embotellada tiene proyectado un saludable periodo de crecimiento, con tasas del 4% en promedio anual, para llegar a 25.000 millones de litros en el 2016, según lo prevén estudios de Euromonitor.

La escasez de suministro en algunas zonas, por los procesos de desertificación, las altas temperaturas, por las olas de calor, y que muchas regiones del país y de mundo padecerán días externos de calor afectando la vida de todos sus habitantes, principalmente los niños y los ancianos de las zonas marginadas, lo peor es que no hay solución a la vista puesto que la reducción de los gases de efecto invernadero apenas será de 7.5% para 2030, cuando lo que se necesita es del 55% ( I. Restrepo 2022).

Cabe mencionar que la introducción de botellas reutilizables y el mayor uso de filtros de agua, que usan las familias en sus hogares podría disminuir el consumo de agua embotellada en cualquiera de sus presentaciones, seguramente las embotelladoras transnacionales diseñaran campañas con estrategias que inhiban el uso de estas botellas reutilizables.

El alto consumo de agua por parte de los mexicanos, hace que el mercado mexicano de agua embotellada crezca a un ritmo del 20% anual, lo que lo hace muy atractivo para otras transnacionales que manejan las llamadas marcas *gourmet o premium* como Evian, Perrier, VIS, Pellegrino, Voss, Fiji, B'ui y BLK conocida como agua negra proveniente de Canadá, su color negro, es debido a que es extraída de un manantial artesiano alimentado por diferentes acuíferos, contiene 77 minerales diferentes y ácido fúlvico, su bajo peso molecular favorece la absorción y por tanto hidrata más rápido, no contiene colorantes ni sabores artificiales y cuenta con la certificación kosher.

El segmento de mercado de estas marcas comerciales de agua, que ya tienen el 10% del mercado mexicano (ibid), según la directora general de agua VIS Elba Colliard (Citada por Sara Cantera en Expansión 2014) son los deportistas, y los jóvenes que tienen inclinación hacia alimentos de calidad, funcionales y sobre todo que buscan en el agua que consumen buscando mayor contenido de sales.

El precio del agua en estas marcas extranjeras va de los 15 a más de 50 pesos mexicanos, pero obvio no es para la población de bajos ingresos, los puntos de venta de estas marcas son los restaurantes de lujo, hoteles y clubes principalmente, aunque hay algunas tiendas departamentales que también las ofertan, sobre todo el segmento de los llamados city market o sea tiendas departamentales para niveles de altos ingresos.

El mercado del agua embotellada abarca la gran diversidad de presentaciones y marcas, pero el sentido de mercado como espacio privilegiado de la privatización también incluye espacios como los servicios públicos, por ejemplo en Querétaro el Congreso de diputados panistas aprobaron la privatización del servicio del agua potable, por lo tanto serán las empresas las encargadas de otorgar y cobrar a los ciudadanos,

lo referente a la distribución, drenaje y la obra hidráulica, la explicación, injustificada claro desde el derecho humano, son las llamadas economías de escala, cuando lo que pretenden las transnacionales es monopolizar la mercantilización de recursos fundamentales para la vida.

Para que el agua deje de ser la única alternativa para el consumo humano en los centros poblacionales, es necesario que el “Estado brinde obligatoriamente agua de calidad para beber y que existan programas de promoción de filtros para que estos se vuelvan parte de la utilería de los hogares” (Calvillo A. 2021, pp-39) así como también aplicar el artículo 28 de la Constitución, para establecer tarifas máximas, en defensa de los sectores de población de más bajos ingresos.

La privatización también se observa en otros casos y dimensiones como el que se refiere a la empresa “Aguas de Barcelona” que llegó a México para administrar el agua en Saltillo Coahuila, el pretexto fue garantizar la accesibilidad al agua, para ello modificaron las leyes que les obstaculizaban, hoy enfrentan sequía. Esta empresa controla tres cuencas en el territorio mexicano, cuya concesión es por tres décadas,

En los Cabos Baja California, se registra un déficit de 400 litros de agua por segundo; en Tamaulipas los recibos del agua llegan a las casas, pero el agua no; a la infraestructura de distribución ni se le da mantenimiento, ni se amplía, aunque la población sigue creciendo; se decidió construir una línea de abastecimiento en 2018, pero el Gobernador en ese entonces canceló la obra.

En la ciudad de México el consumo de agua de las colonias populares, es en promedio de 21 mil litros por bimestre, en tanto que en los predios de alta plusvalía supera los 93 mil. La socióloga Elizabeth Barrón Cano (2022), refiriéndose al caso de Nuevo León que registró en los primeros meses del 2022 una fuerte sequía, la cual se vio agravada por el acaparamiento por parte de 15 empresas, transnacionales en su mayoría, de más de 44 millones de metros cúbicos de agua, mientras que el agua destinada a los hogares llega a un poco más de un millón de metros cúbicos, esto es lo que explica la crisis social que por el agua vivió esta entidad

Desde los orígenes de la humanidad y de todo ser viviente, el agua fue el que determinó los asentamientos humanos, como el pilar de su desarrollo, el derecho humano al agua es el derecho a la vida y a la oportunidad de construir un desarrollo, por lo que es un valor social, pero la prevalencia del sentido del libre mercado que exige una intensa y expansiva desregulación, como para de la imposición del capitalismo como modo de producción universal, cuya base es la privatización de todo, incluyendo los recursos naturales, dado que al privatizarse el agua se somete a las fuerzas del mercado, el establecimiento de su precio cuya tendencia es creciente, limita el acceso al agua por parte de los grupos económicamente vulnerables, en este contexto “la valoración sociocultural del agua ..está siendo reemplazada incluso nulificada por una valoración económica” (Ávila García, P. 2006).

México dispone el equivalente al 0.1% de agua dulce del planeta (H. Maguey 2018), lo que lo caracteriza como una zona semidesértica, tan es así que de 2, 458 municipios el 47% están considerados como de baja y muy baja vulnerabilidad hídrica, pero la diferencia 57% están ubicados entre media, alta y muy alta vulnerabilidad, en consecuencia la disponibilidad de agua es considerada como baja, y dado el crecimiento de la población el promedio per cápita ha pasado de 18 mil metros cúbicos en 1950 a 3 mil 692 en 2015. Hugo Maguey afirma que 9 millones de mexicanos no cuentan con acceso a agua potable.

Las condiciones propias de los modos de producción desde el esclavismo, el feudalismo como el capitalismo, incluso en versión más ampliada e intensa como la globalización, proceso que según Octavio Ianni (1999) es un modo de producción capitalista y un proceso civilizador, que aún ante los desarrollos tecnológicos, como el Deep learning y machine learning, y en el contexto del paradigma tecnológico-digital,

no solo prevalece si no que se fortalece la vulnerabilidad social, en la medida en que se consolida y escala la desigualdad socio-económica y socio-tecnológica; en este contexto la vulnerabilidad social es consecuencia histórica fortalecida por los impactos de la economía vigente, evidenciándose la falta de capacidad de los grupos económica y tecnológicamente más débiles de la sociedad global para enfrentarlos, sobre todo en el contexto del libre mercado que segrega a los de más bajos ingresos identificando a la pobreza con la vulnerabilidad social (R. Pizarro 2001).

Patricia Ávila García (2008-p. 48) la vulnerabilidad la define como “el proceso por medio del cual la población humana y los ecosistemas están sujetos a riesgos de sufrir daños o amenazas ocasionadas por factores bilógicos y sociales” profundizando, precisa el concepto de vulnerabilidad hídrica como la relación entre la disponibilidad de agua superficial y subterránea con respecto a los usos, ya sea humanos, industriales y agrícolas, situación que también es conocida como estrés hídrico.

En el caso de México la agricultura y la ganadería son las actividades productivas que más agua utilizan y donde más se desperdicia, esto por falta de un mantenimiento adecuado y oportuno de las redes hidráulicas, son infraestructuras ya obsoletas con numerosas fugas, el abandono prácticamente inicio cuando desapareció la Secretaria de Recursos Hidráulicos en 1976, surgiendo en su lugar la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), como si el agua no requiera de un órgano a nivel de secretaria.

Por lo que la gestión del agua es una actividad de gran trascendencia para revertir o disminuir los efectos negativos que genera la mercantilización de este valioso recurso, las políticas públicas relativas a la gestión de recursos hídricos ha venido cobrando cada vez más importancia, pero hay que observar este fenómeno desde dos ópticas antes y después de los estragos tan profundos que nos ocasiono el Covid y la visualización post pandemia pero frente al cambio climático y los cambios geopolíticos y geo tecnológicos.

En las décadas 80s y 90s del siglo pasado, la Comisión Económica para América Latina (CEPAL, 2021, p-13) impulso aplicar las medidas contempladas en el Plan de Acción del Mar de la Plata, que se referían al desarrollo y administración de los recursos hídricos, teniendo como marco de referencia la iniciativa de ciudades emergentes sostenibles, adoptado en la conferencia de las Naciones Unidas en marzo de 1977, de igual forma la cuestión del agua se incluyó en el capítulo 18 denominado “Protección de la Calidad y suministro de los recursos del agua dulce: aplicación de criterios integrados para el aprovechamiento, ordenación y uso de los recursos de agua dulce, del programa 21 aprobado por la Conferencia de las Naciones Unidas celebrada en rio de Janeiro en 1992.

Cabe precisar que en el Plan del Mar Plata Sostenible en Argentina (BID 2012), que tiene como objetivo fomentar el desarrollo de las ciudades latinoamericanas aplicando políticas públicas orientadas a la sostenibilidad, construyendo para ello la iniciativa de Ciudades Emergentes y Sostenibles (CES), como estrategia de enfrentar los desafíos más complejos como el cambio climático; y sobre todo la escasez del agua, lo que hace necesario evaluar la disponibilidad sostenible, a la luz del incremento en los niveles del mar resultado del deshielo de los polos por el calentamiento provocado por el cambio climático, estos incrementos propiciarán el aumento de salinidad en los acuíferos, aunado a las olas y domos de calor que se han venido registrando, limitará la disponibilidad del agua, lo que propiciará que su valor de mercado se incremente, despertando aún más el interés de las grandes corporaciones trasnacionales por impulsar su privatización y someter a la dinámica del mercado su acceso.

De ahí la importancia del concepto de vulnerabilidad climática que Patricia Ávila la define como “los cambios en el patrón de la precipitación que conllevan sequías e inundaciones” (p.50), en consecuencia

el tema del agua tiene una relevancia cuya tendencia de crisis, hace necesario que toda política pública relacionada con el agua este identificada con el objetivo número 6 de los objetivos del desarrollo sostenible el cual estipula garantizar la disponibilidad y la gestión del agua como el saneamiento para todos, cuya perspectiva no solo se limita al acceso sino también a la gestión sostenible de la oferta del agua con un sentido social y universal.

La pandemia del Covid, evidencio la importancia de contar con sistema de agua potable y saneamiento con amplia cobertura, como una de las estrategias para contener la propagación del virus SARS-Cov2 que generó el Covid, lo que implicó revisar las condiciones de la gestión del agua, ha venido tomando fuerza la *economía circular* como herramienta para avanzar en el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sustentable,

Entender a la Economía Circular implica asimilarla como un proceso de transición a partir del modelo lineal que se identifica en el esquema de la libertad de mercado-neoliberal, que consiste en producir, consumir y desechar; cabe destacar que este esquema la extracción de las materias primas se extraen sin considerar los impactos ambientales generando contaminación y/o depredando los recursos naturales no importando si se llega a su sobreexplotación, dado el tipo de tecnologías que se aplican como el fracking.

La Economía Circular es una concepto que establece las bases para que todas las actividades económicas estén identificadas y articuladas al concepto de sustentabilidad, desde la extracción de las materias primas, sin dañar su condición regenerativa, en caso de recursos renovables y sin dañar el entorno cuando se trata de recursos no renovables, su transformación a través de los procesos productivos, se realiza bajo el diseño de reutilización, cuidando incluso los empaques, en la norma ISO-14040 (ISO-2006) se estipula la regulación referente al *Análisis del Ciclo de Vida* calculando el perfil ambiental de un solo producto o servicio, de hecho es una herramienta para realizar la comparación entre productos.

De hecho la economía circular tiene como propósito mantener los recursos y productos el mayor tiempo posible en los flujos económicos, con carácter de eficiencia ambiental, es decir reducir o eliminar la generación de residuos que dañen al medio ambiente.

En materia del agua parte del principio que es un recurso natural pero finito, de vital importancia para la existencia de toda forma de vida, la cual también genera desechos, uno de ellos son las aguas residuales de las cuales se estima que solo el 35% es colectada y tratada (C.J. Escudero S. 2022), pero si se aplica el modelo de economía circular se puede lograr minimizar el uso de agua tanto en las actividades productivas como en las sociales, por una parte y por otra, de acuerdo al modelo de economía circular se puede valorizar las aguas residuales sometiéndolas a un tratamiento, desarrollando las tecnologías que hagan falta y acorde a la cultura y condiciones de cada sociedad y modelo económico que prevalezca, a partir de mejores prácticas bajo los criterios de la economía circular se puede recuperar el agua residual dotándola de un mayor valor agregado es decir de mayor contenido de conocimiento, esto implicaría pasar de las llamadas plantas de tratamiento a una unidad que depurar el agua residual que operaria bajo 5 procesos básicos (Escudero 2022) recuperar, restituir, reutilizar, reducir y reciclar, estos serían las partes del proceso para la recuperación del agua, transformando efluentes y lodos en recursos procesados con un contenido de conocimiento por las tecnologías que se aplicaron y por el trabajo humano.

Por su parte la Conferencia Nacional de Medio Ambiente (Eduardo Perero Van Hove, de la Fundación CONAMA de España 2019, p. 9-10) que también aplican la economía circular en la gestión del agua en España, sobre todo en el aprovechamiento de las aguas residuales, CONAMA considera que una vez utilizada el agua debe depurarse, para su posterior y mejor aprovechamiento, parten de dos grandes etapas la primera

la potabilización a través de las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) para el abastecimiento para usos comerciales, industriales, y para el consumo humano, en dichos procesos se aplican procesos físico-químicos, como la pre-oxidación, coagulación-floculación, decantación, filtración y desinfección final, todos estos procesos con los que se consigue que el agua sea segura para la salud de la población.

En el proceso de depuración se generan lodos con elevada carga orgánica, de los cuales se derivan diversos subproductos, el principio de re-manufacturación que caracteriza a la economía circular, se aplica en la reutilización del agua, por parte de CONAMA, en virtud de que son muy variados los usos para los que se pueden aplicar el agua regenerada una vez utilizada, como es la recarga de acuíferos, destinar agua regenerada para el sector agrícola, para procesos de refrigeración en el sector industrial, sin quitar el agua regenerada que se aplican en los parques y jardines; el aprovechamiento de las aguas regeneradas tiene como propósito evitar la sobre explotación de los acuíferos naturales, disminuyendo o evitando el uso de agua potable que debe reservarse para el consumo humano.

En el caso de México la gestión del agua es el sector público, a través de la Comisión Nacional del Agua, el principal agente, le sigue en segundo lugar el sector privado, y el tercer componente es la gestión social, la convergencia de estos tres sectores derivan en las normas, leyes y prácticas para dar respuesta a la cada vez más compleja disponibilidad de agua para atender las necesidades de los más de 8 mil millones de habitantes del planeta, además de toda la biodiversidad, que para conservar los niveles actuales, se debe proteger más del 40% de la superficie del planeta equivalente a 64 millones de km<sup>2</sup>, informo James R. Allan (citado por Sarah Romero 2022) de la Universidad de Ámsterdam, en su investigación desarrolló algoritmos geoespaciales para mapear las áreas óptimas para la conservación de especies y ecosistemas terrestres, cuantificando qué parte del planeta estará en riesgo por las actividades humanas para 2030.

Tal parece que el agua está a punto de hacer la diferencia entre el bienestar y la precarización, de caer de manera total en manos de los monopolios transnacionales, será la diferencia entre la vida y la muerte por sed. La peor de las desigualdades, es la desigualdad en el acceso al agua, hoy considerada una mercancía, cuando es un derecho humano.

Desde la perspectiva del Programa Nacional Estratégico Agua (Pronaces Agua), el gobierno federal estableció que la prioridad en el ámbito de la gestión pública, es el abastecimiento urbano, agrícola e industrial, el siguiente tema es el diseño de tarifas para el cobro, la protección del derecho humano al agua y al saneamiento, sin dejar de darle importancia a la infraestructura hidro-sanitaria, y claro no podría faltar el rubro del abastecimiento de las fuentes de agua y el equilibrio de los ecosistemas (Ramírez López M. E. 2021, P. 7-9).

Para el sector privado la prioridad es la expansión de las fronteras de la inversión en sector del agua, pero fundamentalmente el acaparamiento de las concesiones para usos agrícolas e industriales, y mineros del agua, mediante negocios públicos-privados, en este sector el proceso de gestión del agua contempla, sino explícito, sí implícito la apropiación del agua, concentrando las concesiones y el despojo de tierras, fundamentalmente las comunales y las ejidales, es decir la propiedad social, con el argumento de que no pueden desarrollar aplicaciones tecnológicas, es en este esquema de privatización donde se ubica el concepto de agricultura sin agricultores, que impulsa Microsoft-Syngenta-Bayer y otras instituciones financieras (IICA 2022) como el Banco de Desarrollo de América Latina CAF y RaboBank Group.

La contaminación química que también incluye a los pesticidas y herbicidas como el glifosato, el dicamba y los transgénicos, cuya aplicación solo favorece a las grandes transnacionales como Syngenta-Monsanto-



Bayer, la trasnacional química Basf, sin faltar Microsoft con su agricultura sin agricultores, quienes ha iniciado la digitalización de la agricultura.

Tanto los agrotóxicos y como las prácticas productivas de esta naturaleza ponen en alto riesgo toda forma de vida, desde los insectos hasta las especies mayores, sin dejar de considerar a la flora y claro a la humanidad entera, el funcionamiento de los ecosistemas requiere del aire y del agua, para la generación de la vida más allá de la cadena trófica, *todos nos necesitamos para vivir*.

Si la gestión del agua en sector privado no se regula con un sentido social y solo prevalece el criterio de libertad de mercado, seguramente se profundizará la geopolítica de alimentos, es decir las naciones se dividirán en grandes productores unos y otros en grandes consumidores, la producción de alimentos no podrá lograrse sin el agua suficiente en calidad y cantidad, por lo que este recurso alcanza el nivel estratégico entre la vida y la muerte por el acceso a los alimentos, si podemos asegurar el agua podremos asegurar el acceso a los alimentos.

Es importante hacer énfasis que tanto la agudización de los efectos del cambio climático como la disponibilidad del agua están complicando más la agenda internacional relacionada con el acceso y uso de los recursos naturales, principalmente alimentos.

La gestión del agua en el ámbito social, se le ha dado prioridad el diálogo y el debate entre los afectados ambientales y expertos e investigadores, entorno a las políticas públicas relativas a la disposición y distribución de los recursos hídricos. Se debe privilegiar el control social y comunitario del agua en su área de influencia.

El propósito esencial es garantizar la organización social y las condiciones de vida en un escalamiento de bienestar, la gestión social del agua se orienta a desarrollar las eco-tecnologías suficientes que facilite el cuidado de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas como la captación de la proveniente de las lluvias, potabilizando y/o regenerando para su aplicación sea acorde a las necesidades en función de su calidad y disponibilidad.

La parte más importante es garantizar, vía la normativa y una nueva cultura de agua que su acceso no sea de manera exclusiva mediante el mercado, es decir que deje de ser un producto destinado a satisfacer las demandas mercantiles, sino que su acceso sea el medio para la preservación todo tipo de forma de vida en el planeta, el cuidar el agua es un principio de vida, pero mientras prevalezca el sentido mercantil, y solo las corporaciones tengan prioridad en el acceso y acaparamiento del agua, se estará hipotecando un problema social, los conflictos sociales motivados por el agua, surgirán con mayor violencia en aquellas sociedades y aquellas economías que solo vean al agua como un propósito de inversión y de alta rentabilidad.

En la medida que el agua suficiente en calidad y cantidad, su precio de mercado alcanzará niveles hasta hoy nunca vistos, pero también será motivo de efervescencia social y de crisis económicas, políticas y de revoluciones. La cultura del agua es una conciencia política, económica y de sobrevivencia, dejarla a las fuerzas de los mercados, locales, nacionales y globales, es dejar en las grandes corporaciones que decidan entre la vida y la muerte de grandes grupos sociales. Los conflictos políticos no se harán esperar.

Siendo el agua un recurso que por su alto valor de uso es vital, y su escasez incrementará su valor de cambio o sea de mercado, no es de dudar que será otro espacio de actividad de la delincuencia organizada, por ser un recurso cada vez más escaso y codiciado.

Las estrategias socioculturales respecto al uso y manejo del agua se han fundamentado en un lógica comunitaria y ecológica, por ende de sentido social no por dinámica de mercado, en consecuencia el acaparamiento por cualquier mecanismo legal o ilegal es contrario al sentido humano y a su a derecho

natural, el agua es un derecho humano, por lo que no debe ser un producto mercantil sujeto a los intereses de mercado.

Tal parece que el agua está a punto de hacer la diferencia entre el bienestar y la precarización, de caer de manera total en manos de los monopolios transnacionales, será la diferencia entre la vida y la muerte por sed. La peor de las desigualdades, es la desigualdad en el acceso al agua, hoy considerada una mercancía, cuando es un derecho humano.

## Referencias

- Ávila García P. (2008); Vulnerabilidad socioambiental, seguridad hídrica y escenarios de crisis por el agua; en la revista Ciencias de la UNAM, número 90, página web: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/issue/view/980> Recuperado a partir de: <https://www.revistas.unam.mx/index.php/cns/article/view/12149>
- Ávila García, P. (2006); El Valor social y cultural del agua; en Vázquez García, V., Et al, (ed), Gestión Cultural del agua. Tomo II (p. 233-248). México. Instituto Mexicano del Agua (IMTA) / Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas.
- Barrón C. E. (2022); Acaparamiento, falta de infraestructura y saqueo agravan crisis hídrica en México; editorial de la Jornada, 28/4/2022, página web: <https://www.jornada.com.mx/2022/04/28/estados/025n1est>
- Biodiversidad mexicana (2022); México Megadiverso; página web: <https://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees>
- Cámara de Diputados (2021); Artículo 27 Constitucional; Diario Oficial de la Federación 28-05-2021; pp.-30; página web: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- Cámara de Diputados (2022); Ley General de aguas nacionales, reforma publicada el 11 de mayo 2022; Diario Oficial de la Federación, página web: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAN.pdf>
- Cantera Sara (2014); Agua de lujo sacia la sed de mexicanos; Revista Expansión, pagina web: <https://expansion.mx/economia/2014/04/24/marcas-de-agua-039premium039-inundan-mexico#:~:text=Coca%20y%20Pepsi-,Evian%2C%20Perrier%2C%20VIS%2C%20Pellegrino%2C%20Voss%2C%20Fiji%20y,costo%20del%20agua%20embotellada%20regular.>
- Comisión Nacional del Agua (2022), Ley Federal de Derechos, Disposiciones aplicables en materia de aguas nacionales; página web: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723707/Ley\\_Federal\\_de\\_Derechos\\_2022.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/723707/Ley_Federal_de_Derechos_2022.pdf)
- Dutta Sumitra et alt, editors (2022); Global Index 2022, What is the of innovation-driven growth? 15 th Edition; WIPO (World Intellectual Property Organizati3n), pp. 19. Escudero, Santiago Carlos J. (2022); Economía Circular y la Gestión del agua: de residuo a recurso; Universidad Autónoma de Guadalajara, página web: <https://www.uag.mx/es/mediaHub/economia-circular-y-la-gestion-del-agua-de-residuo-a-recurso#:~:text=Por%20lo%20que%2C%20con%20la,h%3%ADdricos%20minimizando%20el%20impacto%20ambiental.>
- Euromonitor Internacional (2022), Bebidas no alcohólicas; página web: <https://www.euromonitor.com/http://go.euromonitor.com/top-five-beverage-trends-by-country-in-north-and-south-america.html>

Gerencia de Comunicación Institucional IICA (2022); Cumbre Ministerial África- Américas; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura; página web: <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/organismos-multilaterales-de-credito-y-sector-privado-ratifican-alianza-y-trabajo>

Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (2022); IMPI en Cifras desde 1993 hasta el 3er Trimestre del 2022; página web: <https://drive.google.com/file/d/1Buc3A3BQnKD9ix75EbDGJRM0bBqJ8zCO/view?pli=1>

Ianni O. (1999); la era del globalismo; Siglo XXI editores.

IPCC (2022); Lo que nos dice el informe del IPCC sobre la necesidad de una acción climática radical; página web: <https://www.weforum.org/agenda/2022/03/what-the-ipcc-report-tells-us-about-the-need-for-radical-climate-action>

Jouravlev, A., Saravia Matus, S., y Gil Sevilla M., (2021); Reflexiones sobre gestión del agua en América Latina: Textos relacionados 2002-2020; CEPAL

LAC. Equity Lab: Plataforma de análisis de pobreza y desigualdad; página web: <https://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/lac-equity-lab1/overview>

López, Ramírez M.,E. (2021); La Gestión del agua en México y el Pronaces Agua; Revista Ciencias y Humanidades, número 1, bimestre septiembre-octubre, CONACyT.

Maguay Hugo (2018); Crisis del agua: más del 80% se va en usos agrícola y de la industria; Gaceta UANAM, página web: <https://www.gaceta.unam.mx/crisis-agua-industria/>

Perero Van Hove Eduardo (2019); Agua y Economía Circular: Informe; Fundación CONAMA.

Pizarro R. (2001); La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina; CEPAL, Santiago de Chile

Restrepo Iban (2022); El gran problema es el calentamiento global; nota periodística en la jornada del 25/7/2022, página web: <https://www.jornada.com.mx/2022/07/25/opinion/018a1pol>

Romero, Sarah, (2022); Casi la mitad del planeta necesita protección de biodiversidad; Madrid, página web: <https://www.madrinasd.org/notiweb/noticias/casi-mitad-planeta-necesita-proteccion>

Secretaría de Salud (2002); Norma Oficial Mexicana Nom-201-SSAI-2002, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados a granel. Especificaciones sanitarias; Diario Oficial de la Federación, página web: <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69601.pdf>

Souza Pérez V., A. (2022); Consumo de Agua embotellada crece en México; Legiscomex, página web: <https://www.legiscomex.com/Documentos/agua-embotellada-mexico-virginia-perez-actualizacion>

## La importancia de los ríos pequeños: el caso del río Nexapa

*Amado Enrique Navarro Frómata*

*Juan Ricardo Cruz Aviña*

### **Resumen**

Partiendo del carácter finito del recurso hídrico y la necesidad de conservar en las corrientes pequeñas de agua superficial el flujo ecológico, se aborda la clasificación de dichas corrientes, su importancia biológica y sus funciones ecológicas. Considerando el caso del río Nexapa en Puebla se señalan los principales problemas que lo afectan: No se respeta el caudal ecológico y el río es completamente desviado para riego en ciertos puntos. El uso de técnicas inadecuadas de riego rodado además de problemas de pérdidas en la conducción del agua por canales de riego en mal estado. Cerca de un 40-60% del agua no se aprovecha y además los cultivos sufren de estrés hídrico. Uso de aguas servidas para riego; El trasvase de  $4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de agua fuertemente contaminada del río Atoyac después de su paso por la ciudad de Puebla. Un tratamiento insuficiente de las aguas municipales y la existencia de descargas

clandestinas directamente al río o sus corrientes afluentes; No se respeta la zona federal establecida en los márgenes del río y se sigue incrementando la presencia de construcciones de casa-habitación y negocios. En la misma no se respeta la vegetación riparia que es eliminada para el uso agrícola del suelo e incluso se queman árboles con el perjuicio que esto ocasiona al río. Finalmente se señalan como acciones posibles para restaurar estas pequeñas corrientes la protección de la vegetación riparia y la utilización de sistemas basados en la naturaleza, por ejemplo los humedales de tratamiento para mitigar la contaminación del agua.

## **Introducción**

El agua es un recurso finito y para su correcta gestión hay que atender diferentes aspectos: su disponibilidad (atendiendo a la cantidad), su estado en relación con su uso (o sea la calidad) y las incertidumbres generadas por los cambios en el clima a nivel planetario, regional y local (Vázquez et al., 2021). Más allá de las fronteras planetarias, es necesario atender con urgencia los límites regionales y locales de este recurso: si dispongo de agua superficial o subterránea en mi región/localidad, ¿cuánto de este recurso puedo utilizar sin comprometer su estado y la disponibilidad para futuras generaciones? (Navarro, 2022). Con frecuencia se atiende la planeación del uso del recurso hídrico partiendo de las necesidades y no de las disponibilidades y necesidades del medio ambiente. Por ello se ha definido el caudal ecológico como el volumen y calidad mínimos que una corriente de agua debe tener para conservar las funciones vitales de los ecosistemas a ella asociados. Se han desarrollado diferentes métodos para el cálculo del flujo ecológico (hidráulicos, hidrológicos, combinaciones de estos, entre otros), con especificidades que dependen de las circunstancias específicas para las cuales se hace el análisis (Karakoyun et al., 2018; Książek et al., 2019). Considerando la norma mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 (SE, 2012), cuya vigencia se estableció en el propio año (DOF, 2012): “Es la calidad, cantidad y régimen del flujo o variación de los niveles de agua requeridos para mantener los componentes, funciones y procesos de los ecosistemas acuáticos epicontinentales”. Aunque los criterios establecidos en la norma han sido aplicados para algunos ríos importantes de acuerdo con su caudal, se han realizado estudios referentes a la misma en varias estaciones hidrométricas por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y se refiere que integra a valoración social del agua en el ambiente para asegurar su disponibilidad para el consumo y bienestar de comunidades rurales (menores a 2,500 habitantes), el problema del desconocimiento de la variabilidad espaciotemporal de las corrientes de aguas superficial sigue vigente (Zorrilla et al., 2017; de la Lanza et al., 2018; PNUD, 2019).

Lo anterior, pese a que se han evaluado adecuaciones para corrientes intermitentes (Reyes, 2018), a criterio de los autores, es especialmente crítico cuando hablamos de las corrientes de agua superficial pequeñas, por lo general sometidas en la actualidad a múltiples presiones derivadas de los cambios hidrogeomórficos, el manejo de su vegetación riparia, el cambio climático, en general de la presión antrópica sobre estos ecosistemas y de la insuficiente atención a la restauración ecológica (Calva & Pavón, 2018; Saklaurs et al., 2022; Royall, 2022), siendo el objeto de la atención del presente trabajo y, en específico, el caso del río Nexapa en el Estado de Puebla.

## Clasificación de las corrientes de agua superficial

La clasificación de las corrientes es una herramienta muy útil para distinguir disparidades espaciales y temporales, y es una forma básica de reconocer sus complejidades siendo como un componente fundamental de su gestión pues, entre otros aspectos, proporciona una unidad básica para la gestión de las corrientes de agua al dividir la red fluvial en tramos con estructuras y funciones similares, elige tramos típicos para monitorear, comprender sus estructuras, comportamientos y características de funcionamiento, que finalmente se extrapolan y aplican a otros tramos similares y utilizando diferentes métodos que incluyen la estadística multivariable y métodos de la inteligencia artificial, proporcionan una importante base científica para la gestión de las corrientes de agua (Zhao et al., 2016; McManamay & DeRolph, 2019).

Para este trabajo resulta útil considerar las clasificaciones más sencillas de las corrientes de agua superficial (Zaimas & Emanuel, 2006):

A) Clasificación basada en patrón de flujo, en esencia en la forma planimétrica de la corriente

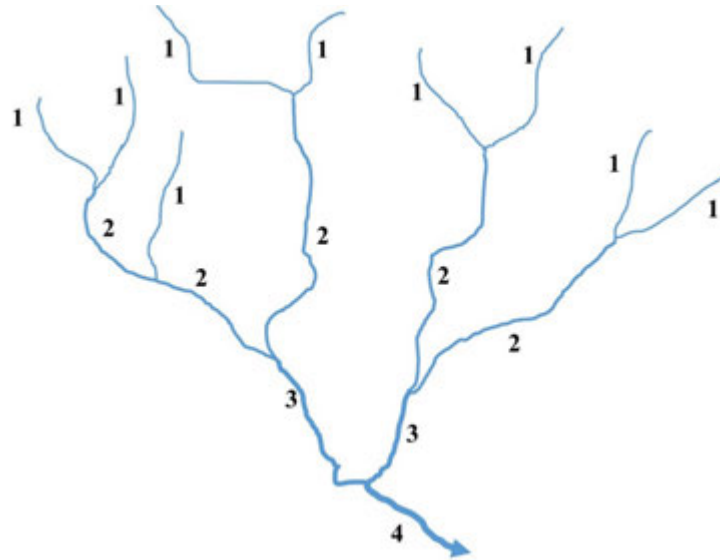
- Recto: corrientes con un solo hilo que es recto.
- Meandros: corrientes con un solo hilo, pero el cauce tiene muchas curvas.
- Trenzado: los corrientes tienen múltiples hilos con muchos bancos de arena que migran con frecuencia.
- Anastomosados: corrientes que también tienen múltiples hilos pero que no migran lateralmente.

B) Clasificación basada en las condiciones de flujo de la corriente y la conectividad entre el agua de la corriente y el agua subterránea.

- Las corrientes perennes tienen agua que fluye en el canal durante todo el año y está en contacto directo con el nivel freático.
- Las corrientes intermitentes tienen agua que fluye solo una parte del año, pero el arroyo todavía está en contacto directo con el nivel freático.
- Las corrientes de agua efímeras fluyen con agua solo después de eventos de precipitación y se localizan por encima del nivel freático.

C) Clasificación basada en el orden de flujo que se fundamenta en el tipo y número de afluentes que componen una red de canales. Los órdenes de corrientes proporcionan una forma de clasificar e identificar los tamaños relativos de los canales en una cuenca de drenaje. Se asignan números de orden más pequeños a las corrientes de cabecera más pequeñas que normalmente se encuentran en los tramos superiores de una cuenca. La más utilizada es la de Strahler, también denominada Horton-Strahler (Figura 1).

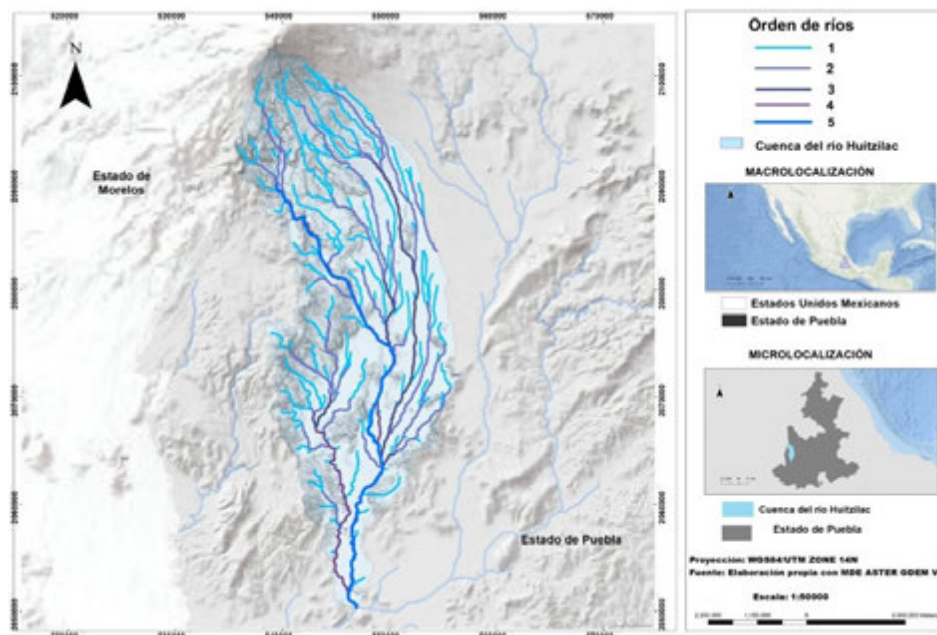
Figura 1. Clasificación de las corrientes de agua según Strahler.



Fuente: Elaboración propia.

Para ilustrar como opera esta clasificación en su aplicación a las cuencas, en la figura 2 se muestra la clasificación del río Huitzilac de Puebla (Tomé, 2022). Si atendemos a las grandes cifras del agua en México, los principales ríos de México abarcan 74,640 km<sup>2</sup> con sus cuencas y tienen un escurrimiento anual medio de 3,148 millones de m<sup>3</sup> anuales (SEMARNAT, 2022). Sin embargo, si analizamos las cifras del Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), figura 3, es evidente la relevancia de las cuencas más pequeñas.

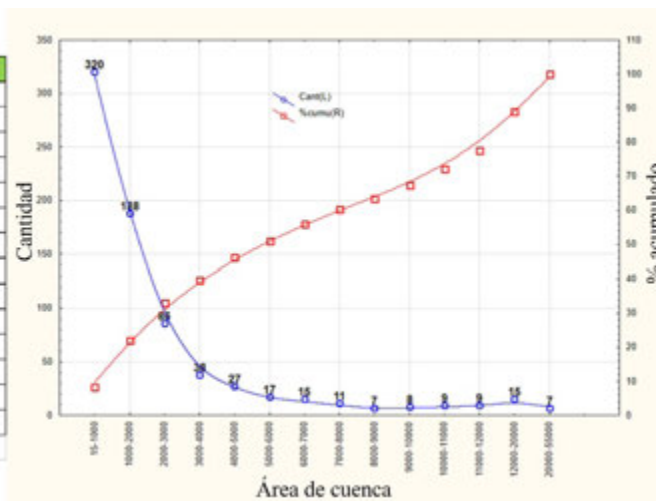
Figura 2. Clasificación del río Huitzilac.



Fuente Tomé et al., 2022.

Figura 3. Distribución tabular y gráfica de las cuencas de México.

AreaC	Cant	AreaT	%
15-1000	320	161341	8.33
1000-2000	188	267805	13.83
2000-3000	86	211898	10.94
3000-4000	38	129711	6.70
4000-5000	27	123391	6.37
5000-6000	17	92720	4.79
6000-7000	15	96738	5.00
7000-8000	11	84017	4.34
8000-9000	7	59793	3.09
9000-10000	8	75847	3.92
10000-11000	9	96093	4.96
11000-12000	9	103776	5.36
12000-20000	15	222050	11.47
20000-55000	7	211491	10.92
	757	1936671	



Fuente: elaboración propia según los datos del SINA, 2022.

### Importancia biológica de los ríos cortos, manantiales y veneros

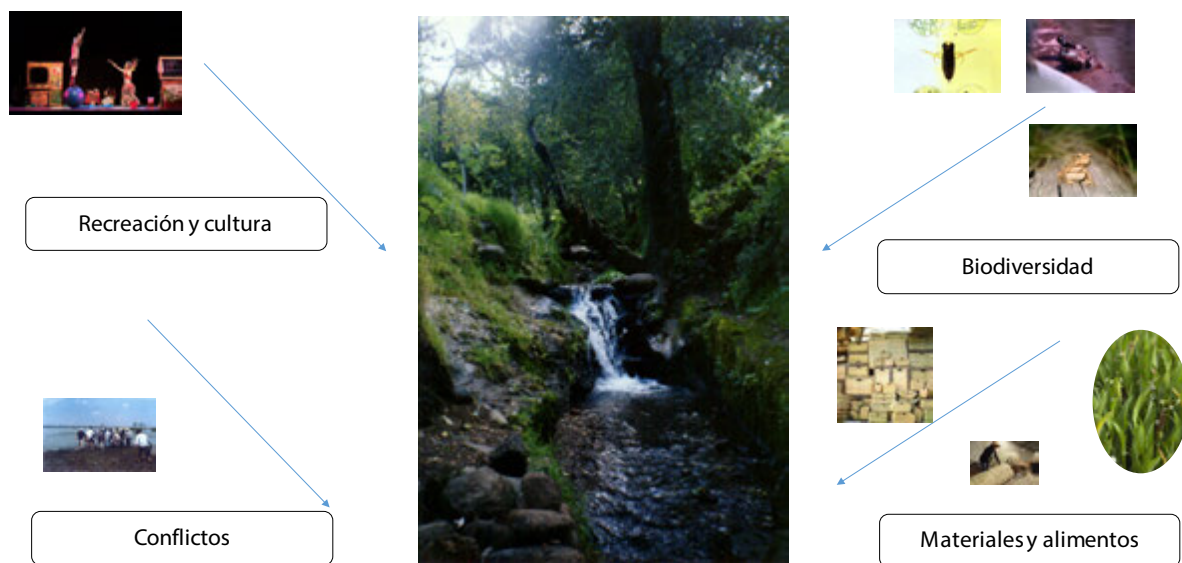
El agua y sus diferentes dinámicas o formas han tenido históricamente, desde la aparición de la humanidad, una importancia total en el desarrollo de la sociedad. Los ríos cortos, en un amplio sentido físico, han sido objeto de leyendas (la de la llorona, las sirenas, las ninfas etc.), de inspiraciones (canciones poemas, libros), de cultos (coras, huicholes tlapanecas, aztecas etc.), también han servido como división política de poblaciones, comunidades, municipios y estados; como linderos de territorio o de regiones de gestión hidrográfica, del mismo han sido fuentes de abastecimiento para proteína animal (larvas de insectos, charales, ajolotes, acociles, aves, etc.) y vegetal (papa de agua, alga espirulina, etc.), así como de diferentes materias primas para el intercambio comercial o para su uso en el traspatio (madera de sauce, de ahuehuete, de ahuejote, anís, tule, cola de caballo etc.) así como medicinal (cola de caballo, tequesquite, ajolotes etc.), es decir lo que se conoce como servicios ecosistémicos.

Del mismo modo desde tiempos remotos han sido proveedores refugio para larvas y juveniles de diferentes especies de invertebrados y vertebrados, así como fuente de alimentos y nutrientes para otros organismos de la trama trófica de este sistema epicontinental (microorganismos, protozoarios, peces, anfibios, reptiles y aves, etc.) así, como fuente de materiales para la construcción, la vivienda, el ornato o para la caza y pesca, de igual forma para diferentes tipos de producción de energía y como sumideros locales de los ciclos biogeoquímicos. En contraste, los ríos han sido utilizados como vías de comunicación lugares de encuentro y refugio por su control de flujos y dar una sensación de bienestar a la sombra y fresca de su microambiente y foco de conflictos socio ambientales, espacios de recreación, la cultura, guerras y amenazas naturales (Rodríguez-Labajos & Martínez-Alier, 2015). Para ilustrar esta importancia y su complejidad se pueden apreciar las fotografías en la Figura 3 donde se destacan de manera resumida algunos aspectos de su importancia para la biodiversidad (diversos taxones), bio-cultura (obras de teatro sobre el nacimiento de un nuevo río), recreación (natación), conflictos (distritos agrícolas vs distritos de riego y cultivos de acuacultura extensiva,) así como sus servicios ambientales en la variedad de materiales y alimentos (tule, carrizo, papa de agua etc.).



En esta forma de entender y mirar a los ríos cortos como sistemas dinámicos con ritmos complejos nos brinda una mejor oportunidad de interacción y comprensión de la relación hombre-naturaleza-sociedad y biodiversidad, al entender al movimiento del agua y su circulación como formador de vida autosostenido (Aragón & Arrojo Agudo, 2018). Es decir, las características biofísicas y limno-ecológicas, juegan un papel clave en el entendimiento de la conservación de suelo y depuración del aire, así como una forma emergente de reaprender a mirar a estos cuerpos de agua lenticos como algo vivo y tal vez más que humano para la sustentabilidad de la presente y generaciones futuras.

**Figura 4. Resumen gráfico de la importancia biológica de los ríos cortos: recreación y cultura, biodiversidad, conflictos, materiales y alimentos.**



Fuente: elaboración propia.

Este contraste entre los ríos cortos y los caudalosos, es que los primeros son parte fundamental del ciclo hidrológico del agua y se consideran sistemas lenticos particulares (limnológicamente hablando), que en su recorrido y circulación cumplen una función suprema y especializada desplegando un trabajo selectivo de productividad primaria y secundaria, la erosión selectiva, y de transporte, arrastre, sedimentación de nutrientes, cuenca abajo.

En este sentido la vegetación sumergida y flotante de los ríos cortos tiende a ser comparativamente pobre, pero, curiosamente, en esas corrientes la productividad primaria es relativamente alta debido al arrastre mecánico de nutrientes desde las partes más altas y lo es especialmente en los rápidos, donde el crecimiento de algas es conspicuo, formando comunidades biológicas conocidas como periphyton (Marcus, 1980, Toledo, 2003).

Diversas especies (protozoarios, rotíferos, diatomeas, insectos, anfibios y peces, entre otras) han logrado adaptarse a estas condiciones *sui generis*, aprovechando la energía de la fotosíntesis y la aportación de los nutrientes orgánicos. Estas especies son estrictamente dependientes de esas condiciones ambientales e incluso, pueden ser microendémicas a esos lugares. (Sánchez, 2007).

En estos ríos cortos, manantiales, arroyos y veneros se forman con el tiempo pozas naturales, con características microambientales y con el paso del tiempo fomentan la conformación de sistemas y ensamblajes de microorganismos endémicos. En contraste, la construcción de una presa artificial significa un cambio drástico en el entorno. Por lo que existe un factor de escala directamente relacionado al tamaño de la presa y represa, bordos o jagüey construido.

Por ejemplo, los camarones langostinos (*Macrobrachium*), tienen ciclos de vida que requieren movimientos dinámicos a lo largo de la playa de los ríos; siguiendo su programación evolutiva, durante la época de estiaje los langostinos de ambos sexos pueden concentrarse en pozas río arriba y posteriormente las hembras bajarán río abajo y depositarán los huevos en otras áreas. Por lo que la presa funciona en este caso como barrera para su reproducción y desove, siguiendo con este ejemplo de ecosistema tenemos que la nutria (*Lontra longicaudis*) se alimenta de estos langostinos, por lo que la alteración de su hábitat afectará también negativamente en su alimentación, en una especie de efecto dominó (Gallo, 1989). esta especie se considera amenazada, en la (NOM Semarnat-059-2001). Por lo que la desaparición de cualquiera de esas dos especies da como resultado un daño irreversible al ecosistema. Por lo que en la conservación de la biodiversidad de ríos cortos podemos apreciar también que existe un factor de escala y de espaciotemporal (alpha, beta y gamma), (Sánchez, 2007). Con este sencillo ejemplo nos podemos dar cuenta de la importancia de los ríos cortos, por lo que en un futuro la interrupción y la contaminación de estos ríos puede modificar y alterar el flujo normal del ciclo hidrológico del agua provocando serios trastornos en el microclima.

## **Funciones ecológicas de las corrientes de agua pequeñas**

Las corrientes pequeñas, de orden hasta 3, y las comunidades de plantas a lo largo de ellas son ecosistemas valiosos porque (Wohl, 2017; Nordin et al., 2017; Kelly-Quinn et al., 2019):

- Componen alrededor del 70%-80% de la longitud de canal total las redes fluviales.
- Sustentan una diversidad de vegetación, invertebrados y vertebrados que no se encuentran en otras áreas de una cuenca, sosteniendo conjuntos únicos de especies de plantas y animales con interconexiones complejas.
- Se ha demostrado que funcionan como “guarderías de peces”.
- Ya sea que contengan peces o no, todas las corrientes pequeñas contribuyen con agua, sedimentos, nutrientes y materia vegetal para tramos con peces río abajo.
- Contribuyen a la depuración y amortización de los diferentes ciclos geomorfológicos.
- La remoción de nitratos del agua es mayor en las corrientes pequeñas, que tienen una mayor cantidad de sedimentos y suelos de planicies aluviales por unidad de longitud de la corriente. Esto estabiliza los niveles de oxígeno disuelto a lo largo de la microcuenca.

Estos aportes se consideran cada vez con mayor importancia para la condición y función general de una cuenca, y son particularmente sensibles a los cambios en la calidad del agua, los cambios en el hábitat físico y las actividades antropogénicas en sus pequeñas cuencas (Liao et al., 2018). En este sentido, la evaluación de la presencia de contaminantes y en especial de microcontaminantes orgánicos (emergentes) es muy importante, pues su flujo pequeño los hace más sensibles a una carga determinada de impurezas. En este sentido, una buena estrategia de monitoreo y de análisis multivariable de sus resultados resulta valiosa (Hohrenk-Danzouma et al., 2022). Aunque no son precisamente microcontaminantes orgánicos, pero sí





El río Nexapa nace aproximadamente a 20 km al norte de la ciudad de Atlixco, sobre las faldas del volcán Popocatepetl, a una elevación de 4,610 metros sobre el nivel del mar y desemboca a 677 msnm en la *Subcuenca Bajo Atoyac* en el municipio de Cohetzala, Puebla, en un trayecto de longitud de 217.5 km. La cuenca del río Nexapa tiene una superficie de 4,440.54 km<sup>2</sup>, un perímetro de 407.6 km, un volumen de escurrimiento anual de 342.5 hm<sup>3</sup> y una extracción de agua superficial de 595.6 hm<sup>3</sup> por lo que presenta un déficit de 4.3 hm<sup>3</sup> (Navarro et al., 2013; Navarro & Navarrete, 2020; DOF, 2020). Los principales aspectos edafoclimáticos de la Cuenca del río Nexapa han sido descritos en el Estudio Regional Forestal UMAFOR Izúcar de Matamoros (Argos, 2007).

Al igual que sucede en otras localidades que cuentan con una infraestructura de riego que data de tiempos coloniales o prehispánicos, muchos canales de riego se han integrado ya al paisaje por lo que resulta necesario incorporarlos a la red de pequeñas corrientes de agua superficial (Navarro & Navarrete 2020), contando incluso con la presencia de majestuosos ahuehuetes que remedan a los “ents” de JRR Tolkien, como se muestra en la figura 5.

**Figura 6. Canal de riego con ahuehuetes.**



Fotografía de los autores.

Los principales problemas en la cuenca de este río pequeño son (Navarro & Navarrete 2020; Navarro et al., 2020):

- No se respeta el caudal ecológico y el río es completamente desviado para riego en ciertos puntos. El uso de técnicas inadecuadas de riego rodado además de problemas de pérdidas en la conducción del agua por canales de riego en mal estado. Cerca de un 40-60% del agua no se aprovecha y además los cultivos sufren de estrés hídrico. Uso de aguas servidas para riego.

- El trasvase de  $4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  de agua fuertemente contaminada del río Atoyac después de su paso por la ciudad de Puebla. Un tratamiento insuficiente de las aguas municipales y la existencia de descargas clandestinas directamente al río o sus corrientes afluentes.
- No se respeta la zona federal establecida en las márgenes del río y se sigue incrementando la presencia de construcciones de casa-habitación y negocios. En la misma no se respeta la vegetación riparia que es eliminada para el uso agrícola del suelo e incluso se queman árboles con el perjuicio que esto ocasiona al río (Figura 6).

**Figura 7. Pérdida y quema de vegetación riparia.**

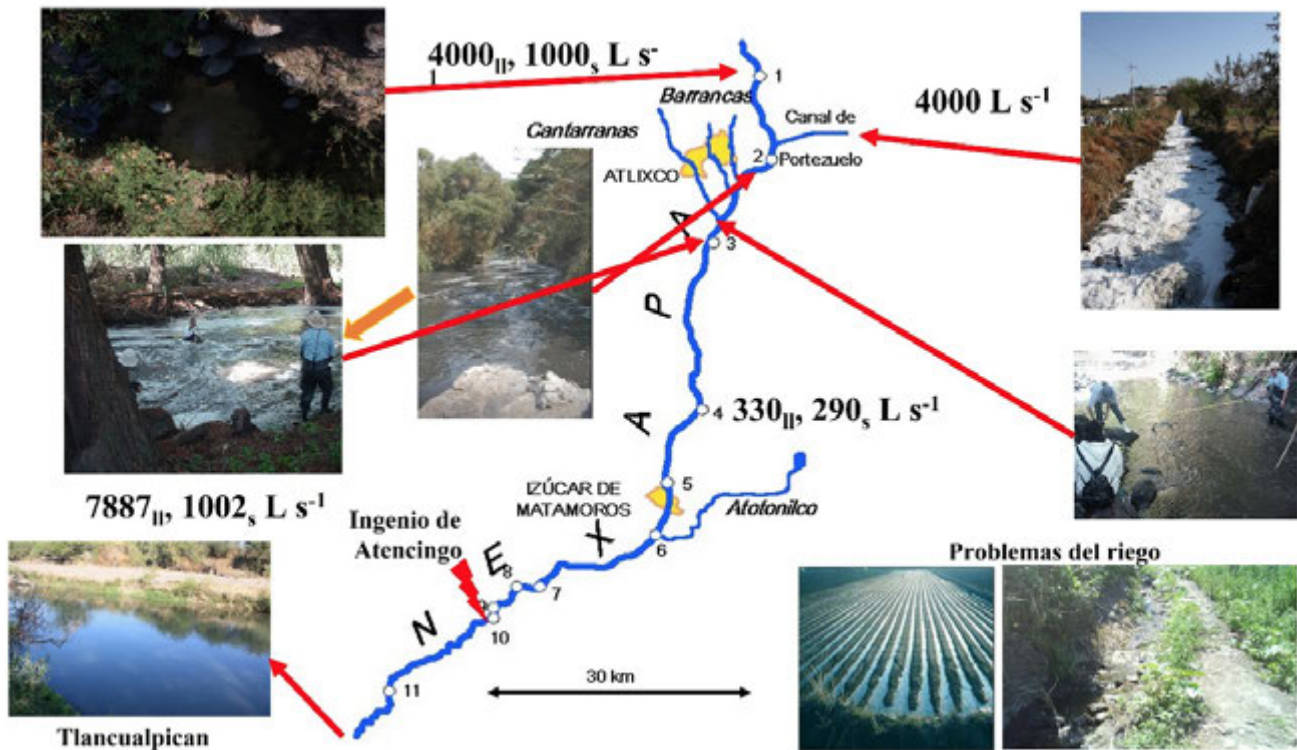


En la parte inferior derecha se observan cultivos en la zona federal.

Fotografía de los autores.

Los problemas existentes se resumen gráficamente en la figura 7. Debido a ellos, se observan valores elevados de las concentraciones de microcontaminantes orgánicos en las aguas del río, de riego y subterráneas (Navarro et al., 2014; Navarro 2019; Navarro et al., 2020).

Figura 8. Resumen de los principales problemas del río Nexapa.



En algunos puntos se indican los flujos en época de lluvia y de seca (ll y s respectivamente). Después del ingenio de Atencingo el río se desvía completamente para riego.

Fuente: Elaboración propia.

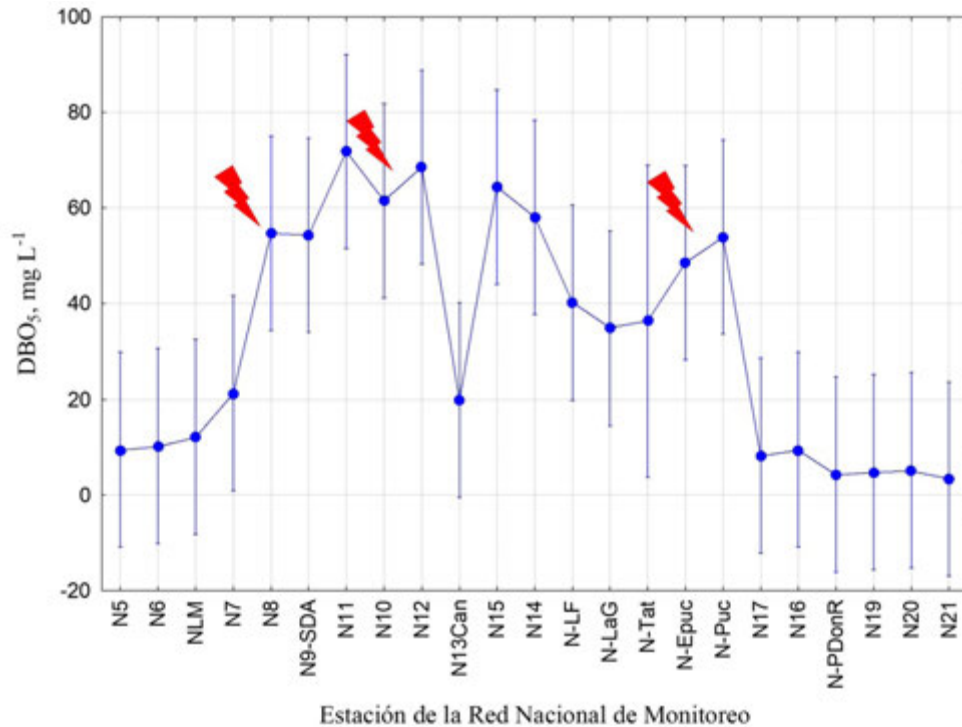
Atendiendo a los principales indicadores de la contaminación, en la figura 8 se muestra el análisis de varianza de la  $DBO_5$  a lo largo de las diferentes estaciones, considerando los datos reportados en las diferentes estaciones de la Red Nacional de Monitoreo en el período 2012-2016. La numeración y denominación de las estaciones de Monitoreo pueden ser consultadas en la página del Sistema Nacional de Información del Agua.

Como se puede observar los puntos de impacto del trasvase de las aguas a través del canal de Portezuelo y de las ciudades de Atlixco e Izúcar de Matamoros (indicadas en rojo en ese orden), presentan los niveles más elevados de la  $DBO_5$ . De manera similar se comportan la Demanda Química de Oxígeno y los Sólidos Suspendedos Totales.

Con respecto a la contaminación fecal, evaluada a través de los coliformes fecales, se observan valores entre  $1.2 \times 10^3$  y  $1 \times 10^7$  UFC, correspondiendo los mayores valores a los mismos puntos en que presentan los mayores valores los demás índices fisicoquímicos. Esto indica que uno de los mayores problemas del agua del río Nexapa en el tramo que corresponde al valle de Atlixco-Izúcar es la contaminación fecal.



Figura 9. Análisis de varianza de los valores de la DBO5 reportados para las diversas estaciones de la Red Nacional de Monitoreo. N – Nexapa; SDA – Santo Domingo Atoyatempan; Can – Cantarranas (no se ubica en el cauce del río Nexapa); LF – Las Fajanas; LaG – La Galarza; Tat – Tatetla; Epuc – Entrada a Puctla; Puc – Puctla; PdonR – Puente Don Roque.



### Importancia biológica y su relación con el entorno y sentido de territorialidad del río Nexapa

En los sistemas epicontinentales conocidos como ríos pequeños, actualmente se conoce su papel total en la dinámica de conformación de suelo y cambio del paisaje por la columna freática (servicios ambientales). En ellos se presenta también procesos de depuración bioquímica del suelo, del agua y purificación del aire (Espinosa et al., 2002). Del mismo modo la flora y fauna de estos riachuelos es resultado histórico-evolutivo de múltiples factores e interacciones complejas. Esta zona riparia se caracteriza por una flora y una fauna particular cuya composición está fuertemente determinada por la iluminación o penumbra, la calidad del agua y la calidad del suelo, así como sus interacciones. Las zonas de transición entre este medio terrestre ribereño y los limnoecosistemas acuáticos riparios se caracterizan por poseer un “poder tampón”, es decir, cuentan con la capacidad de amortiguar, absorber y acumular elementos, como un sistema de almacenamiento o secuestro autosustentable.

### Vegetación riparia en el río Nexapa

La vegetación riparia de los ríos cortos, se caracteriza por especies vegetales y formas de vida que son diferentes a las de los bosques adyacentes. Destacándose árboles deciduos de los géneros *Alnus*, *Populus* y *Quercus* (ahuehuetes, ahuejotes, sauces etc.). Este marcado contraste entre la vegetación riparia y la de las tierras altas, produce una diversidad de ensamblaje estructural y de características complejas que realzan de

manera significativa el efecto-borde, que es de gran utilidad para la fauna silvestre, ya que funcionan como guaridas y “guarderías” de crías, ya que las raíces de estos árboles funcionan como redes de protección contra depredadores. Por su parte la diversidad de la vegetación riparia también tiene un efecto de borde de tipo vertical; ya que desde la superficie del agua hasta la parte superior del dosel, se encuentran diversas capas conspicuas de sombras y vegetación, que, dependiendo de la entrada de luz, penumbra y su incidencia sobre el suelo, presenta una heterogeneidad de nichos para especies de flora (epifitas, orquídeas etc.) y fauna, como anfibios, reptiles, mamíferos pequeños y aves. Esta diversidad riparia es realzada, además, por diferencias en el hábitat a todo lo largo de los escurrimientos, por lo que los movimientos hacia abajo de las líneas del agua, en donde la flora cambia de manera evidente, y algunos animales también las aprovechan como zonas de forrajeo, como las larvas y adultos de insectos (odonatos) y anfibios típicos de arroyos (ajolotes y renacuajos), referido en Granados et al, 2006.

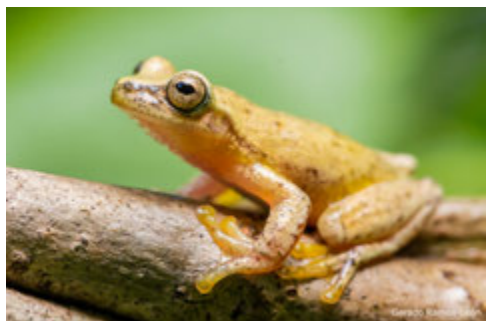
En contraste, la principal fuente de materia orgánica es la proveniente de hojas, caídas, ramas, piñones etc., que serán de utilidad nutritiva para una amplia variedad de microorganismos e invertebrados que a *posteriori* serán alimento de otros consumidores de esta cadena trófica riparia. De esta conformación y del ensamblaje de la zona riparia y del *continuum* con la vegetación adyacente de la tierra firme o de los bosques (de montaña o selva baja), es que se reconfiguran y retroalimentan sistemáticamente de manera resiliente por lo que de ahí radica su gran importancia. Por tanto, en el supuesto de que un arroyo o río corto que se desecara o desapareciera, esto implica un gran cambio en el equilibrio de estos microambientes y dependiendo de su gravedad este proceso sería irreversible (Wetzel, 2001).

### **Biodiversidad en el río Nexapa**

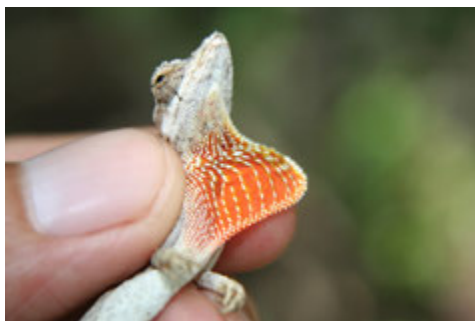
Con respecto a estudios sobre biodiversidad riparia, destacan los trabajos de Tenorio-Mendoza et al., 2019, para la Cuenca del Río Necaxa. Estos autores publicaron un listado herpetofaunístico para la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (APRN-CHRN), Sierra Norte de Puebla, reportando 1119 registros con 57 especies (21 anfibios y 36 reptiles). De las cuales 24 spp son endémicas de México, detectándolas en zonas riparias en bosque de coníferas. En contraste para el Río Nexapa no hay trabajos sistemáticos de riqueza ni distribución, durante 2019 Cruz et al., realizó un trabajo breve de la herpetofauna de la región cercana a Izúcar de Matamoros, encontrando algunas especies de interés herpetológico que funcionan como bioindicadores de calidad del agua en zonas riparias (Cruz et al., 2022), Figura 10.



**Figura 10. Se realizó un trabajo herpetofaunístico en una zona riparia del río Nexapa, encontrándose especies de interés.**



*Exerodonta smaragdina*



*Anolis microlepidotus*



*Oxybelis aeneus*



*Eosonora michoacensis*

Fuente CONABIO 2022,  
modificada por los autores

Fuente CONABIO 2022.

En este sentido, recientemente se realizó una búsqueda sistemática y conforme a la Amphibia Web y Enciclovida (CONABIO, 2022), encontrándose un listado de 15 especies de anfibios (ranas y sapos) y 28 especies de reptiles (17 lagartijas, 10 serpientes y 1 tortuga) todas asociadas a ambientes riparios de la región, haciendo un total de 43 especies que corresponde al 17% de la riqueza herpetofaunística para el estado. Si comparamos la riqueza herpetofaunística encontrada de manera parcial entre la microcuenca riparia (43 spp) y la Cuenca Hidrográfica (57 spp) podríamos destacar la importancia de estos sistemas riparios ya que el número de especies es muy parecido independientemente de la escala como puede apreciarse en la Tabla 1.

### **¿Hay esperanza? La restauración de las pequeñas corrientes de agua.**

Por supuesto que sí. La restauración de las cuencas de las pequeñas corrientes de agua y por consiguiente de ellas mismas es una acción necesaria (aunque parezca decepcionante) e incluye medidas de protección de la vegetación riparia, la creación de las franjas tampón (“buffer strips”), cuyo largo es más importante que su ancho para la protección de las corrientes, el respeto al caudal ecológico, entre otras (Feld et al., 2018; Lind et al., 2019; Hilary et al., 2021; Pasternack, 2022).

Además, se pueden utilizar los sistemas basados en la naturaleza, en específico los humedales de tratamiento para mejorar la calidad del agua en las corrientes de agua superficial, especialmente si se trata de las pequeñas (Ahmed et al., 2020; Bai et al., 2020). La utilización de estas soluciones requiere de estudio y concertación ciudadana para establecer cuáles son las opciones de tales sistemas, los mejores lugares para su aplicación y su gestión y gobernanza ulterior (Albert et al., 2021; Schmidt et al., 2022)

Lo anterior debe ser acompañado de una mayor densidad de la red de monitoreo, incluyendo la participación ciudadana en la evaluación de las corrientes de agua pequeñas y en la inclusión de índices adecuados para evaluar la “salud” de estos importantes ecosistemas (Su et al., 2021). Esto por supuesto tiene que ver también con la educación formal y no formal de los niños, jóvenes y adultos para que puedan apreciar estos índices

**Tabla 1. Listado de especies de anfibios y reptiles del río Nexapa.**

<b>Nombres científicos de anfibios</b>	<b>Nombres científicos de reptiles (Cont.)</b>
1.- <i>Agalychnis dacnicolor</i>	6.- <i>Aspidoscelis communis</i>
2.- <i>Eleutherodactylus nitidus</i>	7.- <i>Hemidactylus frenatus</i>
3.- <i>Hypopachus variolosus</i>	8.- <i>Phyllodactylus tuberculatus</i>
4.- <i>Spea multiplicata</i>	9.- <i>Sphaerodactylus glaucus</i>
5.- <i>Exerodonta smaragdina</i>	10.- <i>Ctenosaura pectinata</i>
6.- <i>Tlalocohyla picta</i>	11.- <i>Sceloporus gadoviae</i>
7.- <i>Tlalocohyla smithii</i>	12.- <i>Sceloporus horridus</i>
8.- <i>Craugastor augusti</i>	13.- <i>Sceloporus jalapae</i>
9.- <i>Lithobates pustulosus</i>	14.- <i>Sceloporus ochoteranae</i>
10.- <i>Anaxyrus speciosus</i>	15.- <i>Sceloporus siniferus</i>
11.- <i>Incilius marmoratus</i>	16.- <i>Urosaurus bicarinatus</i>
12.- <i>Incilius occidentalis</i>	17.- <i>Anolis microlepidotus</i>
13.- <i>Incilius perplexus</i>	18.- <i>Holcosus undulatus</i>
14.- <i>Dryophytes arenicolor</i>	19.- <i>Enulius flavitorques</i>
15.- <i>Dryophytes eximius</i>	20.- <i>Leptodeira splendida</i>
	21.- <i>Masticophis mentovarius</i>
<b>Nombres científicos de reptiles</b>	22.- <i>Oxybelis aeneus</i>
1.- <i>Kinosternon integrum</i>	23.- <i>Pseudoficimia frontalis</i>
2.- <i>Aspidoscelis costatus</i>	24.- <i>Salvadora hexalepis</i>
3.- <i>Aspidoscelis sackii</i>	25.- <i>Salvadora mexicana</i>
4.- <i>Aspidoscelis gularis</i>	26.- <i>Senticolis triaspis</i>
5.- <i>Aspidoscelis deppii</i>	27.- <i>Sonora (Eosonora michoacanensis)</i>
	28.- <i>Trimorphodon tau</i>

Fuente: Enciclopedia (CONABIO, 2022) y Amphibia Web (2022), modificado por los autores.

## Conclusiones

Las corrientes de agua superficial pequeñas: manantiales, veneros, arroyos, ríos cortos son imprescindibles para la salud de las cuencas hidrográficas. Las mismas contribuyen sustancialmente a los servicios ecosistémicos de estas cuencas.

En regiones en las que se han derivado las aguas superficiales para riego, la red de canales de riego se ha integrado al paisaje y es conveniente considerarlas en los programas de atención y restauración de las pequeñas corrientes de agua.

El río Nexapa en el tramo del valle de Atlixco-Izúcar, está fuertemente contaminado por el trasvase de aguas del Atoyac después de su paso por la ciudad de Puebla y las descargas de aguas residuales con insuficiente tratamiento a lo largo de este tramo. Esto se refleja en los índices de la contaminación en especial en lo relacionado con la contaminación fecal.

## Bibliografía

- Ahmed, S. D., Agodzo, S. K. , & Adjei, K. A. (2020). Designing River Diversion Constructed Wetland for Water Quality Improvement. In A. Devlin, J. Pan, & M. M. Shah (Eds.), *Inland Waters - Dynamics and Ecology*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92119>.
- Albert, C., Hack, J., Schmidt, S., & Schröter, B. (2021). Planning and governing nature-based solutions in river landscapes: Concepts, cases, and insights. *Ambio*, 50(8), 1405–1413. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01569-z>.
- Argos consultores ambientales S.A. de C.V. (2007). Estudio regional forestal, UMAFOR Izúcar de Matamoros. Asociación de Silvicultores de la Mixteca A. C. 221 p. Recuperado de [http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1100erf\\_umafor2104.pdf](http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/9/1100erf_umafor2104.pdf).
- Bai, X., Zhu, X., Jiang, H., Wang, Z., He, C., Sheng, L., & Zhuang, J. (2020). Purification effect of sequential constructed wetland for the polluted water in Urban River. *Water*, 12(4), 1054. doi:10.3390/w12041054
- BID (2015). Banco Interamericano de Desarrollo, Nota Técnica 864: Programa Nacional de Reservas de Agua en México: Experiencias de caudal ecológico y la asignación de agua al ambiente / J. Eugenio Barrios Ordóñez, Sergio A. Salinas Rodríguez, Mario López Pérez, Ricardo Alain Villón Bracamonte, Fabiana Rosales Ángeles, Adriana Guerra Gilbert, Rafael Sánchez Navarro.
- Calva-Soto, Karina, & Pavón, Numa P. (2018). La restauración ecológica en México: una disciplina emergente en un país deteriorado. *Madera y bosques*, 24(1), e2411135. Epub 09 de marzo de 2018. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2411135>
- CONABIO (2022). Enciclovida, <https://enciclovida.mx/>
- Cruz, A. J. R., Tenorio, A. M. G., Valera, P. M. A., & Cruz, A. G. (2022). El monitoreo de la herpetofauna como estrategia de conservación para la biodiversidad en el municipio de Izúcar de Matamoros, Puebla. *Puebla. MIX TEC*, 1(2), 24-31.
- Cruz-Flores, G., & Guerra-Hernández, E. A. (2017). *Ecosistemas Ribereños de Montaña: Descripción y Estudio*. CDMX, México: Universidad Nacional Autónoma de México - Facultad de Estudios Superiores Zaragoza ISBN: 978-607-02-9875-2.
- De la Lanza Espino, G., González Villela, R., González Mora, I. D., & Hernández Pulido, S. (2018). Caudal ecológico de ciertos Ríos Que Descargan al Golfo de México y al pacífico mexicano. *Ribagua*, 5(1), 3-15. doi:10.1080/23863781.2018.1442187

- DOF (2012). Diario Oficial de la Federación. Declaratoria de vigencia de la Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012. Disponible en: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5269489&fecha=20/09/2012#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5269489&fecha=20/09/2012#gsc.tab=0)
- DOF (2020). Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Medio Ambiente Y Recursos Naturales 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. Recuperado de: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600849&fecha=21/09/2020#gsc.tab=0)
- Espinosa, D., Morrone, J.J., Llorente-Bousquets, J., Flores-Villela, O. (2005). Introducción al análisis de patrones en biogeografía histórica. Las prensas de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 133 p.
- Feld, C. K., Fernandes, M. R., Ferreira, M. T., Hering, D., Ormerod, S. J., Venohr, M., & Gutiérrez-Cánovas, C. (2018). Evaluating riparian solutions to multiple stressor problems in river ecosystems - A conceptual study. *Water research*, 139, 381–394. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.014>
- García, V. A., & Agudo, P. A. (2018). La ideología del agua en España: desmontando el discurso. *Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica*, 28, 37-51.
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M. Á., & López-Ríos, G. F. (2006). Ecología de las Zonas Ribereñas Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 12, núm. 1, 2006, pp. 55-69 Universidad Autónoma de Chapingo, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 12(1), 55-69.
- Hilary, B., Chris, B., North, B. E., Angelica Maria, A. Z., Sandra Lucia, A. Z., Carlos Alberto, Q. G., Beatriz, L. G., Rachael, E., & Andrew, W. (2021). Riparian buffer length is more influential than width on river water quality: A case study in southern Costa Rica. *Journal of environmental management*, 286, 112132. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112132>.
- Hohrenk-Danzouma, L. L., Vosough, M., Merkus, V. I., Drees, F., & Schmidt, T. C. (2022). Non-target Analysis and Chemometric Evaluation of a Passive Sampler Monitoring of Small Streams. *Environmental science & technology*, 56(9), 5466-5477. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c0801>
- Karakoyun, Y., Dönmez, A. H., & Yumurtaci, Z. (2018). Comparison of environmental flow assessment methods with a case study on a runoff river-type hydropower plant using hydrological methods. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(12). doi:10.1007/s10661-018-7107-3
- Kelly-Quinn, M., Bruen, M., Carlsson, J., Gurnell, A., Jarvie, H., & Piggott, J. (2019). Managing the small stream network for improved water quality, biodiversity and Ecosystem Services Protection (SSNet). *Research Ideas and Outcomes*, 5. doi:10.3897/rio.5.e33400
- Książek, L., Woś, A., Florek, J., Wyrębek, M., Młyński, D., & Wałęga, A. (2019). Combined use of the hydraulic and hydrological methods to calculate the environmental flow: Wisłoka River, Poland: Case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(4). doi:10.1007/s10661-019-7402-7
- Liao, H., Sarver, E., & Krometis, L. H. (2018). Interactive effects of water quality, physical habitat, and watershed anthropogenic activities on stream ecosystem health. *Water research*, 130, 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.11.065>
- Lind, L., Hasselquist, E. M., & Laudon, H. (2019). Towards ecologically functional riparian zones: A meta-analysis to develop guidelines for protecting ecosystem functions and biodiversity in

- agricultural landscapes. *Journal of environmental management*, 249, 109391. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109391>.
- McManamay, R. A., & DeRolph, C. R. (2019). A stream classification system for the conterminous United States. *Scientific Data*, 6(1). doi:10.1038/sdata.2019.17
- Marcus, M. D. (1980). Periphytic community response to chronic nutrient enrichment by a reservoir discharge. *Ecology*, 61(2), 387–399. <https://doi.org/10.2307/1935196>
- Navarro A., Herrera J., Caso L., Marrugo J., 2013. Calidad del agua del río Nexapa: Tendencias espaciotemporales y sus implicaciones. En M. Ramos., V. Aguilera., (eds.) .Ciencias Naturales y Exactas, Handbook T-I. -©ECORFAN- Valle de Santiago, Guanajuato, pp. 83-97. Disponible en: <https://www.ecorfan.org/handbooks/pdf/CNc8.pdf>.
- Navarro Frómata A.E. (2019). Consideraciones sobre el estudio de los microcontaminantes orgánicos en México En Memorias del Noveno Minisimposio Internacional Sobre Remoción De Contaminantes De Aguas, Atmósfera Y Suelos. Eds. Arturo Garrido-Mora, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa. Pp. 143-152. Disponible en <https://ambiental.unam.mx/albunimagenes/Libro-e-Book%202019%20IX%20MSI-9th%20IMS.pdf>.
- Navarro Frómata, A.E. (2022) “El agua dulce y su frontera planetaria.,” En M. del C. Durán Domínguez (ed.) *Sustentabilidad y desarrollo: 2. Aspectos Socioeconómicos*. Ciudad de México, CDMX: Clave Editorial, pp. 73-92. Disponible en: <https://ambiental.unam.mx/albunimagenes/2021%20DAAD/SUSTENTABILIDAD%20Y%20DESARROLLO%20VERSI%C3%93N%20FINAL.pdf>
- Navarro-Frómata, A.E., Herrera-López, H., Castro-Bravo, C. (2020). Irrigation Water Challenges: A Study Case in the State of Puebla, Mexico. In: Otazo-Sánchez, E., Navarro-Frómata, A., Singh, V. (eds) *Water Availability and Management in Mexico*. Water Science and Technology Library, vol 88. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5_12).
- Navarro-Frómata, A.E., Navarrete-Rosas, D. (2020). Addressing Stressors to Riverine Waters Quality: The Case of the Nexapa River. In: Otazo-Sánchez, E., Navarro-Frómata, A., Singh, V. (eds) *Water Availability and Management in Mexico*. Water Science and Technology Library, vol 88. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24962-5_6)
- Pasternack, G.B. (2022). 9.03 - 6.56 - River Restoration: Disappointing, Nascent, Yet Desperately Needed. In J. F. Schroder (Ed.), *Treatise on Geomorphology* (Second ed.), pp. 1296-1324). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12449-2>.
- PNUD, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2019). Mejora en el manejo de plantas acuáticas exóticas invasoras (2015- 2019). Proyecto GEF00089333 “Aumentar las Capacidades de México para el Manejo de las Especies Exóticas Invasoras (EEI) a través de la Implementación de la Estrategia Nacional de EEI”. 373pp. + 3 anexos. Dra. Maricela Martínez Jiménez. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, Jiutepec, Morelos. México.
- Reyes Cedeño, I. (2018). *Propuesta de metodología de alteración hidrológica y modelación eco-hidráulica para determinar el régimen de caudal ecológico en cauces intermitentes* (Unpublished master’s thesis). Universidad Autónoma de Aguascalientes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11317/1563>
- Reynoso, J. P. G. (1997). Situación y Distribución de las Nutrias en México, con Énfasis en *Lontra longicaudis annectens* Major, 1897. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 2, 10-32.

- Rimondi, V., Monnanni, A., De Beni, E., Bicocchi, G., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Fratini, S., Martellini, T., Morelli, G., Venturi, S., Lattanzi, P., & Costagliola, P. (2022). Occurrence and quantification of natural and microplastic items in urban streams: The case of mugnone creek (Florence, Italy). *Toxics*, 10(4), 159. doi:10.3390/toxics10040159
- Rodríguez-Labajos, B., & Martínez-Alier, J. (2015). Political ecology of water conflicts. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 2(5), 537-558.
- Royall, D. (2022). 9.03 - Land-Use Impacts on the Hydrogeomorphology of Small Watersheds. In J. F. Schroder (Ed.), *Treatise on Geomorphology* (Second ed., pp. 34-64). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818234-5.00010-9>.
- Saklaurs, M., Dubra, S., Liepa, L., Jansone, D., & Jansons, Ā. (2022). Vegetation Affecting Water Quality in Small Streams: Case Study in Hemiboreal Forests, Latvia. *Plants (Basel, Switzerland)*, 11(10), 1316. <https://doi.org/10.3390/plants11101316>
- Sánchez, O. (1992). *Estudio específico sobre los mamíferos silvestres del área de influencia del Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa*.
- Sánchez, O. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Schmidt, S., Guerrero, P., & Albert, C. (2022). Advancing Sustainable Development Goals with localised nature-based solutions: Opportunity spaces in the Lahn river landscape, Germany. *Journal of environmental management*, 309, 114696. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114696>
- SE, 2012. Secretaría de Economía (2012). Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 Que Establece El Procedimiento Para La Determinación Del Caudal Ecológico En Cuencas Hidrológicas. Disponible en: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166834/NMX-AA-159-SCFI-2012.pdf>.
- Semarnat, 2022. Dimensión y escurrimiento de los ríos principales 2019. Recuperado de: [http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D3\\_AGUA01\\_05&IBIC\\_user=dgeia\\_mce&IBIC\\_pass=dgeia\\_mce](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D3_AGUA01_05&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce)
- SINA(2022).SistemaNacionaldeInformacióndelAgua.DetalledelascuensahidrológicasenMéxico.Recuperado de: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=cuencas&ver=reporte&o=2&n=nacional>
- Su, Y., Li, W., Liu, L., Hu, W., Li, J., Sun, X., & Li, Y. (2021). Health assessment of small-to-medium sized rivers: Comparison between comprehensive indicator method and biological monitoring method. *Ecological Indicators*, 126, 107686. doi:10.1016/j.ecolind.2021.107686
- Tenorio-Mendoza, R., Martínez-Coronel, M., & López-Ortega, G. (n.d.). *Hazarmabeth Salgado-Ugarte I Áreas Naturales Protegidas Riqueza herpetológica de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa*.
- Toledo A., (2003). Ríos, costas y mares. Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. Eds. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, el Colegio de Michoacán. 114 p.
- Tomé Hernández, G., Caracterización morfométrica de la cuenca del Río Huitzilac, Puebla, México. Boletín Geográfico [en línea]. 2022, 44(1), 41-48[fecha de Consulta 22 de Octubre de 2022]. ISSN: 0326-1735. Disponible en: <http://portal.amelica.org/amei/journal/344/3443321005/>
- Tripp, D., Nordin, L., Rex, J., Tschaplinski, P., & Richardson, J. (2017). *The Importance of Small Streams nn British Columbia*. FREP Extension Note #38 Official website of the Government of British Columbia. Retrieved September 15, 2022, from <https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/farming-natural-resources-and-industry/forestry/frep/extension-notes/frep-extnt38-smallstreams.pdf>

- Vázquez-Ochoa, L. A., Correa-Sandoval, A., Vargas-Castilleja, R. D. C., Vázquez-Sauceda, M. D. L. L., & Rodríguez-Castro, J. H. (2021). Modelo hidrológico, calidad del agua y cambio climático: soporte para la gestión hídrica de la cuenca del río Soto la Marina. *Ciencia UAT*, 16(1), 20-41. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v16i1.1498>
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*.
- Wohl, E. (2017). The significance of small streams. *Frontiers of Earth Science*, 11(3), 447-456. doi:10.1007/s11707-017-0647-y
- Zaimes, G. & Emanuel, R. (2006) *Streams Processes for Watersheds Stewards, Cooperative Extension*. The University of Arizona. Recuperado de: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1378g.pdf>.
- Zhao, Y., & Ding, A. (2016). A decision classifier to classify rivers for river management based on their structure in China: An example from the Yongding River. *Water Science and Technology*, 74(7), 1539-1552. doi:10.2166/wst.2016.333
- Zorrilla Domínguez, M.A., G. de la Lanza Espino, I. D. González Mora, A. I. Martínez Pacheco y S. Hernández Pulido, 2017. Enfoque integrado ambiental de la determinación del caudal ecológico y su asociación con la conservación de cuencas hidrográficas: ejemplo de caso río Verde Atoyac, en el estado de Oaxaca. Universidad Autónoma de Campeche. 78 p.



## Medición del estrés hídrico mediante modelos matemáticos en la Zona Metropolitana de Pachuca Hidalgo, México

*Juan Bacilio Guerrero Escamilla  
Sócrates López Pérez*

### **Resumen**

En el presente trabajo de investigación se plantean la metodología y las herramientas matemáticas y estadísticas necesarias para estimar el comportamiento que conlleva un fenómeno complejo.

Bajo este contexto, se plantea el caso del estrés hídrico en la Zona Metropolitana de Pachuca, cuyo objetivo es el predecir el estado hídrico (déficit de agua) a partir de la eficiencia del abastecimiento.

Se parte de la necesidad de construir dos indicadores: el primero, en referencia a la eficiencia de abastecimiento del agua; y el segundo, en construir un algoritmo (ecuación) de estrés hídrico, a partir de eficiencia del abastecimiento.



Para la construcción de estos indicadores se recurrió a las técnicas de escalamiento multidimensional (para el indicador de eficiencia de abastecimiento del agua) y de regresión gamma (para el algoritmo de déficit de agua).

Con estos indicadores se pudo identificar lo siguiente:

- La tendencia que está siguiendo el abastecimiento del agua, así como, los elementos que inciden en su comportamiento.
- El escenario que prevalece dentro del déficit del agua, en referencia a los elementos que inciden en el abastecimiento.

## 1. Planteamiento de problema

Para CAASIM (Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistemas Intermunicipales) el analizar y estimar el estrés hídrico involucre a 16 variables (que van desde los sistemas de bombeo, tomas, redes, consumo de energía, caudales, y horas de bombeo, entre otros), las cuales no son homogéneas, es decir, carecen de simetría, tienen problemas de varianza, y muchas de ellas, están altamente correlacionadas, esto complica el entendimiento de la información debido a la complejidad del fenómeno en estudio.

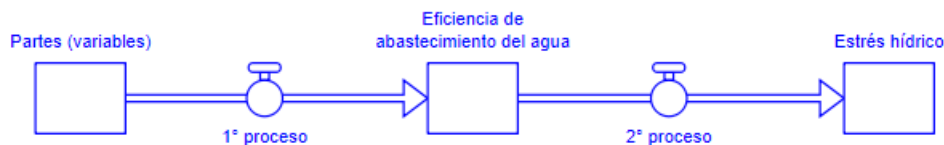
De acuerdo al diccionario de la real académica española un “fenómeno” es la manifestación de un orden natural que presenta un comportamiento o dinámica y que es resultado de factores (variables) interdependientes. Los fenómenos se clasifican en dos grupos (Hernández, 2013):

- Antrópicos: son aquellos donde existe la intervención del hombre.
- Naturales: son aquellos que se manifiestan por los ciclos de la naturaleza.

Un fenómeno es complejo cuando su comportamiento se desprende de un sistema, en el cual, intervienen infinidad de factores que interactúan entre sí. Un sistema es un conjunto organizado de cosas o partes interdependientes, que se relacionan formando un todo unitario y complejo, donde cada parte que lo componen son funciones básicas realizadas por el sistema (Bertalanffy, 1976).

Con base en lo anterior, el estado hídrico (déficit de agua) es un fenómeno complejo que está en función de un sistema denominado eficiencia de abastecimiento del agua, donde cada una de sus partes (16 variables), siguen el siguiente proceso (figura 1):

**Figura 1. Diagrama de flujo.**



**Fuente.** Elaboración personal

- Entrada, son las partes o variables que estiman la eficiencia de abastecimiento del agua.
- Procesos, en ellos se utilizan las técnicas matemáticas (escalamiento multidimensional y regresión gamma) para obtener un indicador eficiencia de abastecimiento del agua, y un algoritmo (ecuación) que prediga el estrés hídrico.

- Salida, es la predicción del estrés hídrico, a partir de los elementos que estiman a la eficiencia de abastecimiento del agua.

Partiendo de la figura 1, el objetivo del presente trabajo de investigación es el siguiente:

- Estimar el estrés hídrico (déficit de agua), a partir de la eficiencia del abastecimiento del agua en la Zona Metropolitana de Pachuca, en el periodo de 2019 a 2021.

Donde:

- El estrés hídrico se presenta cuando la demanda del agua es superior a la cantidad disponible durante un periodo determinado (Moreno, 2009).
- El espacio muestral del fenómeno en estudio es:

**Tabla 1. Marco muestral**

<b>Sistemas Operación Hidráulica</b>	<b>Plantas de Bombeo</b>	<b>14 municipios</b>	
		Pachuca de Soto	El Arenal
Sistema Pachuca - Mineral de la Reforma	33	Mineral de la Reforma	Tlanalapa
Sistema Real del Monte	9	Zempoala	Mineral del Chico
Sistema Epazoyucan	7	Epazoyucan	Tepeapulco
Sistema Matilde - Zempoala	13	Mineral del Monte	Zapotlán de Juárez
Sistema Singuilucan	14	Singuilucan	Villas de Tezontepec
		San Agustín Tlaxiaca	Tolcayuca

**Fuente.** Elaboración personal

Esto implicó:

1. Desarrollar un indicador de eficiencia de abastecimiento del agua.
2. Construir un algoritmo (ecuación) del estrés hídrico, a partir de la eficiencia de abastecimiento de Agua

El desarrollo de estos dos modelos se sustenta en la metodología de investigación de operaciones, en donde cada modelo sigue con las siguientes etapas (Hillier y Lieberman, 2010):

- Etapa 1 (formulación matemática). Se plantea las variables que intervienen en ambos modelos.
- Etapa 2 (cálculo de parámetros). Se plantean las técnicas matemáticas y estadísticas que se utilizan para la estimación de los parámetros de cada modelo.
- Etapa 3 (validación de modelos). Consiste en el cumplimiento de los supuestos de inferencia que engloban a cada modelo estimado.
- Etapa 4 (interpretación de resultado). Se interpretan los parámetros de cada modelo, y con ello, se hacen las estimaciones correspondientes.

## 2. Formulación matemática

Mediante la siguiente expresión algebraica se tiene que:

$$\text{Def} = f(\text{IEFA}) \quad (1)$$

Donde:

- Def es el déficit de agua
- IEFA es la eficiencia del abastecimiento del agua.

Tal que:

$$\text{IEFA} = f(X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}) \quad (2)$$

Donde:

- IEFA = Indicador de Eficiencia del Abastecimiento del Agua

**Tabla 2. Variables para el primer modelo**

• $X_3$ = Caudal	• $X_{11}$ = $M^3$ Distribuidos
• $X_4$ = Horas de Bombeo	• $X_{12}$ = Volumen de Perdida en Tomas ( $M^3$ )
• $X_6$ = Fugas en Tomas	• $X_{13}$ = Volumen de Perdida en Líneas ( $M^3$ )
• $X_7$ = Total de Tomas	• $X_{14}$ = Perdida Comercial Teórica Calculada ( $M^3$ )
• $X_8$ = Kms de Líneas	• $X_{15}$ = Volumen de Agua Entregada con Pipas ( $M^3$ )
• $X_9$ = Kms de Tomas	• $X_{16}$ = Facturados Total (todos los sistemas) ( $M^3$ )
• $X_{10}$ = Total de KW	

**Fuente.** Elaboración personal

El sustento teórico de ambos indicadores se da a través de las técnicas de escalamiento multidimensional y de regresión gamma.

El **escalamiento multidimensional** es una técnica multivariante de reducción de la dimensión de datos es una generalización de la idea componentes principales, pues en lugar de disponer de una matriz de observaciones por variables, se dispone de una matriz  $D$ , cuadrada de distancias entre los elementos de un conjunto. Estas distancias pueden obtenerse a partir de ciertas variables, o pueden ser el resultado de una estimación directa (Peña, 2012).

El objetivo de esta técnica es representar esta matriz de distancias mediante un conjunto de variables ortogonales  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , donde  $k < n$ , es decir, a partir de la matriz  $D$  se pretende obtener una matriz  $X$ , de dimensiones  $n \times k$ , que se pueden interpretarse como la matriz de variables en los individuos, y donde la distancia euclídea entre los elementos reproduzca la matriz de distancias  $D$  inicial (Peña, 2012).

El escalamiento multidimensional comparte con componentes principales el objetivo de describir e interpretar los datos. Si existen muchos elementos, la matriz de similitudes será muy grande y la representación por unas pocas variables de los elementos permitirá su estructura, es decir, que elementos tienen propiedades similares, si aparecen grupos entre los elementos y si hay elementos atípicos.

El escalamiento multidimensional representa un enfoque complementario a componentes principales. Para los componentes principales se considera la matriz de correlaciones (o covarianzas) entre variables, en tanto, el escalamiento multidimensional considera la matriz de correlaciones (o covarianzas) entre individuos (Peña, 2012).

Para la construcción del modelo general de escalamiento multidimensional, se parte de una matriz de proximidades (Guerrero & Ramírez, 2012):

$$\Delta \text{ } M \text{ } , \text{ tal que "n" es el número de estímulos} \quad (3)$$

Tal que:

$$\Delta \begin{matrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \dots & \delta_{1n} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \dots & \delta_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n1} & \delta_{n2} & \dots & \delta_{nn} \end{matrix} \quad (4)$$

Cada elemento de  $\delta$  de  $\Delta$  representa la proximidad entre el estímulo  $i$  y el estímulo  $j$ . A partir de esto, la salida sería la matriz:

$$X \text{ } M \text{ } , \text{ tal que "m" es el número de dimensiones} \quad (5)$$

Para cada valor  $x_{ip}$  esto significa la coordenada del estímulo  $i$  en la dimensión  $p$ . Con base a la matriz  $X$ , se calcula la distancia entre dos estímulos  $i$  y  $j$ , tal que  $i \neq j$ , es decir (Guerrero & Ramírez, 2012):

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{p=1}^m (x_{ip} - x_{jp})^2} ; 1 \leq i, j \leq n \quad (6)$$

Con estas distancias se obtiene la matriz  $D \text{ } M \text{ } :$

$$D \begin{matrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{matrix} \quad (7)$$

Por tanto, la solución que proporción el escalamiento multidimensional es la máxima correspondencia entre la matriz de proximidades inicial  $\Delta$  y la matriz  $D$ .

Existen dos modelos básicos del escalamiento multidimensional (Guerrero & Ramírez, 2012):

- Escalamiento métrico (los datos están a una escala de razón o de intervalo).
- Escalamiento no métrico (los datos están medidos en escala ordinal).

En el escalamiento métrico se parte del hecho de  $X \in \mathbb{R}^m$ , es decir, de la idea de que las distancias son una función de las proximidades, talque:

$$d_{ij} = f(\delta_{ij}) \quad (8)$$

Bajo el supuesto de que la relación entre las proximidades y las distancias son lineales:

$$d_{ij} = a + b\delta_{ij} \quad (9)$$

Cuyo procedimiento consiste en (Guerrero & Ramírez, 2012):

1. A partir de una matriz de distancias  $\Delta$   $M \times M$ , se obtiene una matriz  $B$   $M \times M$  de productos escalares entre vectores.
2. Se transforma la matriz  $\Delta$   $M \times M$  en una matriz de distancias  $D$   $M \times M$ , en la cual, se verifique los siguientes axiomas de la distancia euclídea (Guerrero & Ramírez, 2012):

$d_{ij} \geq 0$	$d_{ij} = d_{ji}$	No negatividad
$d_{ij} = d_{ji}$	$d_{ij} = d_{ji}$	Simetría
$d_{ij} \leq d_{ik} + d_{kj}$		Desigualdad triangular

Partiendo de la desigualdad triangular, se hace la estimación de la constante, tal forma que:

$$c = \max_{(i,j)} (\delta_{ij} - \delta_{ij} - \delta_{ij}) \quad (10)$$

Por tanto, las distancias se obtienen sumando a las proximidades de la constante  $c$ :

$$d_{ij} = \delta_{ij} + c \quad (11)$$

Si se parte de la matriz  $D$   $M \times M$  y se transforma en una matriz  $B$   $M \times M$  de productos escalares entre vectores a través de (Guerrero & Ramírez, 2012):

$$b_{ij} = -\frac{1}{2} (d_{ij}^2 - d_{i.}^2 - d_{.j}^2 + d_{..}^2) \quad (12)$$

$$d_{i.}^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}^2 \quad \text{Distancia cuadrática media por fila} \quad (13)$$

$$d_{.j}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}^2 \quad \text{Distancia cuadrática media por columna} \quad (14)$$

$$d_{..}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}^2 \quad \text{Distancia cuadrática media de la matriz} \quad (15)$$

Al llegar en este punto, se transforma la matriz  $B$   $M \times M$  en una matriz  $X$   $M \times M$  tal que  $B = X X'$ , donde  $X$  es la matriz de las coordenadas de cada uno de los estímulos en cada una de las dimensiones.

En el escalamiento no métrico no presupone una relación lineal entre las proximidades y las distancias, en ella se establece una relación monótona creciente entre ambas. Su procedimiento se basa en lo siguiente (Guerrero & Ramírez, 2012):

- Transformación de la matriz de proximidades en una matriz de rangos:  $1$  a  $\frac{n(n-1)}{2}$ .
- Obtención de la matriz  $X$   $M \times M$  de coordenadas aleatorias, que da las distancias entre los estímulos.
- Comparación de las proximidades con las distancias, dando como resultado las disparidades  $d'_{ij}$ .
- Definición y minimización del Stress.

En ambos modelos (métrico y no métrico) es de suma importancia obtener coeficiente que informe sobre la bondad del modelo. Se sabe que las distancias son una función de las proximidades, tal que  $d_{ij} = f(\delta_{ij})$ , si  $d_{ij} \approx f(\delta_{ij})$ , a las transformaciones de las proximidades por  $f$  se le denomina *disparidades*, por tanto, el error cuadrático sería (Guerrero & Ramírez, 2012):

$$e_{ij}^2 = [f(\delta_{ij}) - d_{ij}]^2 \quad (16)$$

Por tanto, el Stress se define como (Guerrero & Ramírez, 2012):

$$\text{Stress} = \sqrt{\frac{\sum_{ij} [f(\delta_{ij}) - d_{ij}]^2}{\sum_{ij} d_{ij}^2}} \quad (17)$$

Mientras mayor sea la diferencia entre las disparidades y las distancias ( $f(\delta_{ij})$  y  $d_{ij}$ ) mayor será el Stress, y por tanto, peor será el modelo, es decir (Guerrero & Ramírez, 2012):

0.20	→	Pobre ajuste	0.025	→	Muy buen ajuste
0.10	→	Aceptable ajuste	0.00	→	Excelente ajuste
0.05	→	Buen ajuste			

Aunado a lo anterior, se tiene el coeficiente de correlación al cuadrado (RSQ), el cual informa de proporción de variabilidad de los datos, tal que  $0 \leq \text{RSQ} \leq 1$ , tal que:

$$\text{RSQ} = \frac{[\sum_i \sum_j (d_{ij} - \bar{d}_{.j})(f(d_{ij}) - f(\bar{d}_{.j}))]^2}{[\sum_i \sum_j (d_{ij} - \bar{d}_{.j})^2][\sum_i \sum_j (f(d_{ij}) - f(\bar{d}_{.j}))^2]} \quad (18)$$

Tal que:

- Si  $\text{RSQ} \sim 1$  indica que el modelo es bueno.
- Si  $\text{RSQ} \sim 0$  indica que el modelo es malo.

La aplicación de esta técnica dará elementos necesarios la construcción y estimación del indicador de eficiencia de abastecimiento del agua (IEFA).

Si el déficit del agua ( $\text{Def}$ ) es una variable aleatoria continua (v.a.c.), de tal forma que  $\text{Def}$  se aproxima a distribución gamma, es decir:  $\text{Def} \sim \Gamma(\alpha, \lambda)$ , su forma de modelamiento se basaría en la regresión lineal gamma, la cual, forma parte de los Modelos Lineales Generalizados (GLM).

Los Modelos Lineales Generalizados (GLM) son una extensión de los modelos lineales y se aplican en datos donde no hay normalidad y homocedasticidad. Los GLM tiene tres componentes (aleatorio, sistemático y la función link) (Dobson y Barnett, 2008):

- **Componente aleatorio.** Si  $\text{Def} \sim \text{fexp}$  su función de densidad es:

$$f_X(X, \theta) = h(X) * \exp\{h(\theta)T(X) - A(\theta)\} \quad (19)$$

Donde:

- $T(X)$ ,  $h(X)$ ,  $h(\theta)$  y  $A(\theta)$  son funciones conocidas (logístico, probit, binomial negativa, poisson, gamma, y exponencial, entre otros).
- **Componente sistemático.** Si  $\text{Def} \sim \text{fexp}$ , su forma de regresión lineal es:

$$E(\text{Def}_a) = \mu_{\text{Def}_a} = g^{-1}(XB) \quad (20)$$

Donde:

- $E(\text{Def}_a)$  es el valor esperado del déficit del agua.
- $XB = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_k X_k$  (componente lineal).
- $g^{-1}$  es la función link
- **Función link.** Permite modelar relaciones no lineales, sus funciones más comunes son las siguientes:

Tabla 1. Funciones link

Función Link	Identidad	Logaritmo natural	Logit	Reciproca	Raíz cuadrada	Exp.
Fórmula	$\mu_{Def_a}$	$\ln(\mu_{Def_a})$	$\ln\left(\frac{\mu_{Def_a}}{n - \mu_{Def_a}}\right)$	$\frac{1}{\mu_{Def_a}}$	$\sqrt{\mu_{Def_a}}$	$\mu_{Def_a}^2$

Fuente. An Introduction to Generalized Linear Models (Dobson y Barnett, 2008).

Los GLM deben cumplir con los siguientes supuestos (McCullagh y Nelder, 1983):

- **Supuesto 1.** Selección del modelo de mayor ajuste, a través del AIC (Criterio de Información Akaike).

$$AIC = 2p - 2lm \quad (21)$$

Donde:

- $2p$  es el número de parámetros estimados.
- $lm$  es la verosimilitud del modelo actual.

Con al AIC se comparan modelos, y el que contenga menor AIC, mayor será su ajuste.

- **Supuesto 2.** Los residuales de devianza se aproximan a sus grados de libertad.

Prueba de hipótesis:

$$H_0: u_i \sim gl \text{ vs. } H_a: u_i \neq gl$$

Si su  $P$  - valor es menor 0.05, se rechaza  $H_0$ , por tanto, se acepta  $H_a$ , es decir, los residuales se alejan de sus grados de libertad.

- **Supuestos 3.** Los residuales deben aproximarse a una distribución normal.

Prueba de hipótesis:

$$H_0: u_i \sim N(\mu, \sigma^2) \text{ vs. } H_a: u_i \neq N(\mu, \sigma^2)$$

Si el  $p$  - valor es mayor a 0.05, se acepta  $H_0$ , es decir, los residuales se aproximan a una distribución normal.

- **Supuesto 4.** No de existir colinealidad entre las variables independientes (solo se aplica en los casos donde las variables independientes son paramétricas).

$$H_0: \text{Cor}(X, X) \sim 0 \text{ vs. } H_a: \text{Cor}(X, X) \neq 0$$

Mediante el criterio del VIF (Factor de Inflación de Devianza), si el VIF es mayor a 5, existe colinealidad entre las variables independientes.

Con base en los supuestos de inferencia, el grado de ajuste de los modelos GLM es mediante la devianza (McCullagh y Nelder, 1983):

$$D^2 = \frac{D - D}{D}; 0 \leq D^2 \leq 1 \quad (22)$$

Donde:

- $D$  es la devianza nula.
- $D$  es la devianza de los residuales.

Con base en lo anterior, si  $Def \sim \Gamma(\infty, \lambda)$  tal que  $0 \leq f(Def_a) \leq 1$ , su forma de regresión lineal es

(McCullagh y Nelder, 1983):

$$\text{Def}_a = g^{-1} \left[ B_0 + \left( \sum_{i=1}^k B_i X_i \right) + u_i \right]; i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (23)$$

Donde:

- $g^{-1}$  Es la función link.
- $B_0 + \left( \sum_{i=1}^k B_i X_i \right)$  Son los parámetros a estimar.

Mediante máxima verosimilitud, se tiene que (McCullagh y Nelder, 1983):

$$g^{-1}(\text{Def}_a) = \left[ B_0 + \left( \sum_{i=1}^k B_i X_i \right) + u_i \right]; i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (24)$$

Tal que (McCullagh y Nelder, 1983):

**Tabla 2. Funciones link de la regresión gamma.**

Función link	Ecuación	
Logaritmo natural	$\ln(\text{Def}) = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_k X_k + u_i$	(25)
Raíz	$\sqrt{\text{Def}_a} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_k X_k + u_i$	(26)
Inversa	$\frac{1}{\text{Def}_a} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_k X_k + u_i$	(27)
Identidad	$\text{Def} = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_k X_k + u_i$	(28)

Fuente. Generalized Liner Models (McCullagh y Nelder, 1983).

Con el análisis de regresión gamma, se puede predecir los efectos que producen los factores de la eficiencia de abastecimiento del agua (EFA) sobre el déficit del agua (). Esto implica que se tenga que hacer una selección adecuada del modelo de mejor ajuste, a partir de las distintas funciones link que se puede utilizar, tomando como base, el cumplimiento de los supuestos de inferencia que engloban a los Modelos Lineales Generalizados (GLM).

### 3. Indicador de eficiencia de abastecimiento del agua

Con base en lo anterior, se estandariza la información con el fin de hacer simétrica y homogénea la información (Veras, 2006):

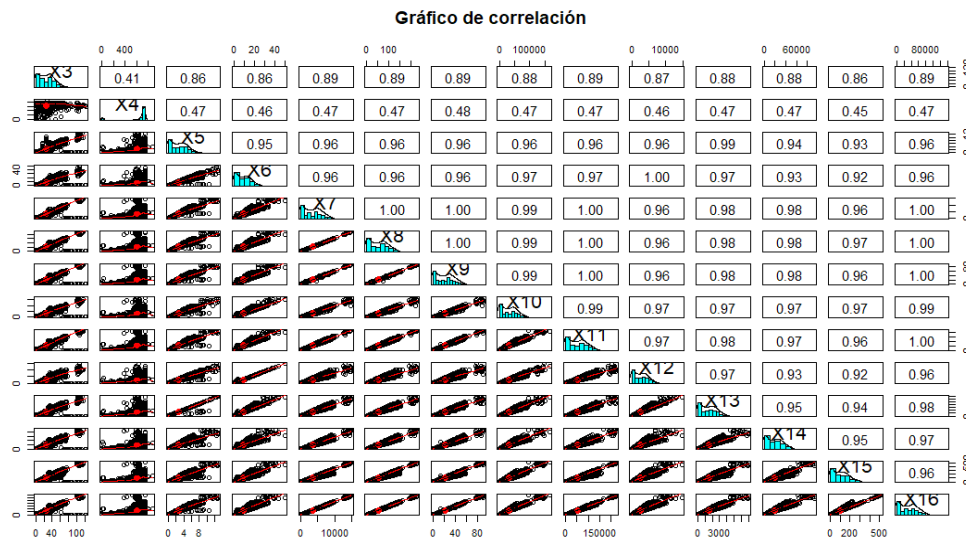
$$\text{Est}(X_i) = \left[ \frac{\ln(X_i + C)}{\ln(\sum_{i=1}^n (X_i + C))} \right] * 100; \text{ tal que } C \in \mathbb{R} \quad (29)$$

Partiendo de la matriz correlación (figura 2), se observa que existe mucha relación lineal entre las variables



independientes, dando presencia a problemas de multicolinealidad<sup>11</sup>.

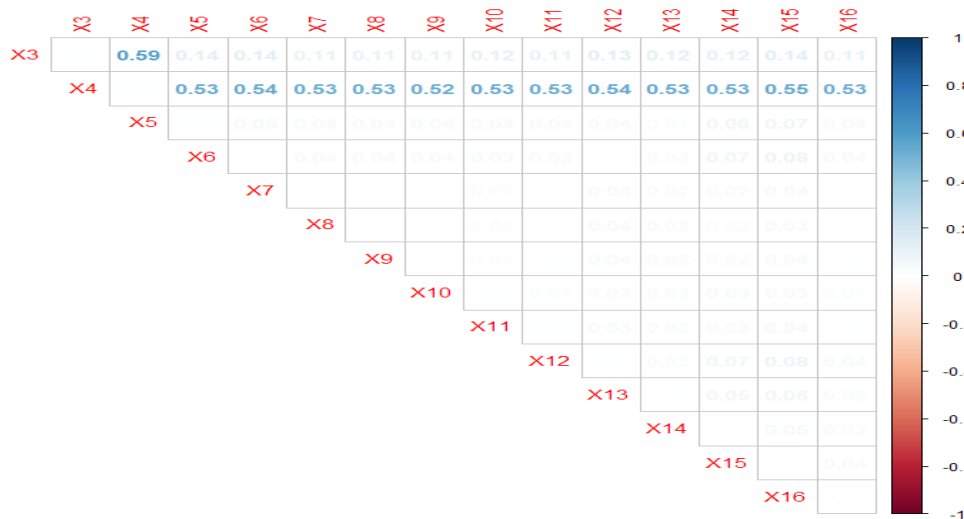
**Figura 2. Matriz Correlación I**



Fuente. Elaboración personal

Mediante la matriz de distancias (figura 3) y el diagrama de conglomerados (figura 4), y al aplicar la expresión algebraica (29) para la estandarización de los datos, se puede apreciar la existencia de seis nuevas variables:

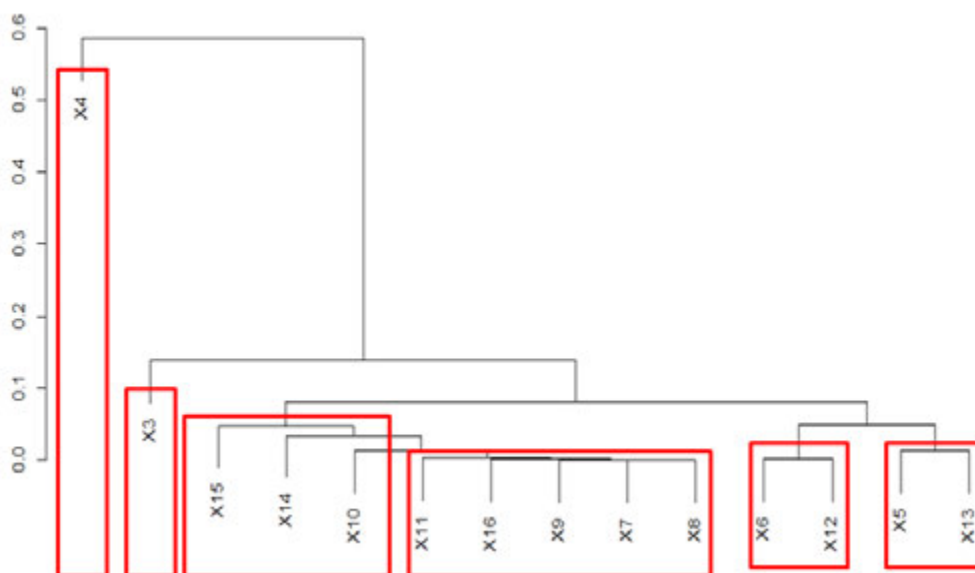
**Figura 3. Matriz de distancias**



Fuente. Elaboración personal

11 La multicolinealidad es el alto grado de asociación entre las variables independientes (Gujarati y Porter, 2010).

Figura 4. Diagrama de conglomerado de variables



Fuente. Elaboración personal

Con base en lo anterior, el Indicador de Eficiencia del Agua (IEFA) se expresa de la siguiente forma:

$$IEFA = \sqrt[6]{(IRAL)(IRAT)(IDTyL)(IDF)(ICD)(IHB)} \quad (30)$$

Donde:

- **IRAL** es la perdida de agua en líneas

Este indicador se conforma por  $X_5$  (fugas en líneas) y  $X_{13}$  (volumen de pérdidas en líneas ( $M^3$ )), por tanto:

$$IFL = \sqrt[2]{\prod_{i=1}^2 X_i}; \text{ tal que } X_i > 0 \quad (31)$$

Donde IFL es la perdida de agua de en líneas, es decir “A mayor pérdida de agua en líneas, menor eficiencia del agua”, por tanto, la inversa del indicador es:

$$IRAL = 100 - IFL \quad (32)$$

Tal que IRAL es el indicador de recuperación de agua en líneas, es decir “A mayor recuperación de agua, mayor eficiencia del agua”

- **IRAT** es la perdida de agua en tomas

Este indicador lo conforman  $X_6$  (fugas en tomas) y  $X_{12}$  (volumen de pérdidas en tomas ( $M^3$ )), por tanto:

$$IFT = \sqrt[2]{\prod_{i=1}^2 X_i}; \text{ tal que } X_i > 0 \quad (33)$$

Donde IFT es el indicador de perdida de agua en tomas. Es decir “A mayor pérdida de agua en tomas,

menor eficiencia del agua”, por tanto, la inversa del indicador es:

$$\text{IRAT} = 100 - \text{IFL} \quad (34)$$

Donde IRAT es el Indicador de Recuperación de Agua en Tomas, es decir “A mayor Recuperación de Agua, mayor Eficiencia del Agua”.

- **IDTyL** es la distribución de tomas en líneas

Lo conforman las variables  $X_{11}$  ( $M^3$  distribuidos),  $X_{16}$  (facturados total de todos los sistemas  $M^3$ ),  $X_9$  (Kms de tomas),  $X_7$  (total de tomas) y  $X_8$  (Kms de líneas), por tanto:

$$\text{IDTyL} = \sqrt[5]{\prod_{i=1}^5 X_i}; \text{ tal que } X_i > 0 \quad (35)$$

Donde IDTyL es el Indicador Distribución en Tomas y Líneas, es decir “A mayor Distribución en Tomas y Líneas, mayor Eficiencia del Agua”.

- **IDF** es la distribución en físico

Lo conforman las variables  $X_{15}$  (volumen de agua en pipas  $M^3$ ),  $X_{14}$  (perdida comercial teórica calculada  $M^3$ ) y  $X_{10}$  (total de KW), por tanto:

$$\text{IDF} = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 X_i}; \text{ tal que } X_i > 0 \quad (36)$$

Donde IDF es el Indicador Distribución en Físico, es decir “A mayor Distribución Físico, mayor Eficiencia del Agua”.

- **ICD** es el caudal de agua

Lo conforma la variable  $X_3$  (el caudal), por tanto:

$$\text{ICD} = \left[ \frac{\ln(X_{31})}{\ln(\sum_{i=1}^n X_{3i})} \right] * 100; \text{ tal que } X_i > 0 \quad (37)$$

Donde ICD es el indicador del Caudal de Agua, es decir “A mayor Infraestructura en los Caudales, mayor Eficiencia del Agua”.

- **IHB** son las horas de bombeo

Lo conforma la variable  $X_4$  (horas de bombeo), por tanto:

$$\text{IHB} = \left[ \frac{\ln(X_{4i})}{\ln(\sum_{i=1}^n X_{4i})} \right] * 100; \text{ tal que } X_i > 0 \quad (38)$$

Donde IHB es el indicador de Horas de Bombeo, es decir “A mayor horas de Bombeo, mayor Eficiencia del Agua”.

Con base en lo anterior, el Indicador de Eficiencia del Agua (IEFA) se expresa de la siguiente forma:

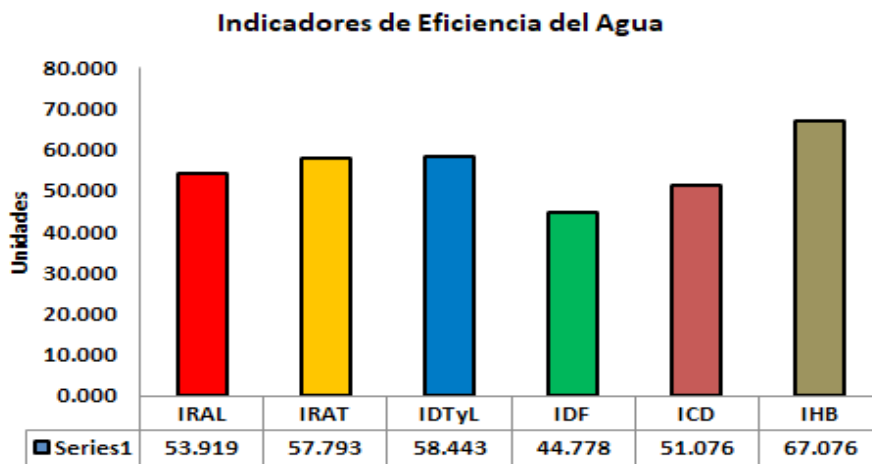
$$IEFA = \sqrt[6]{(IRAL)(IRAT)(IDTyL)(IDF)(ICD)(IHB)} \quad (39)$$

Donde:

- IEFA >0
- 0 < IEFA ≤ 100      Eficiencia baja      ■
- 0 < IEFA ≤ 25      Eficiencia regular      ■
- 25 < IEFA ≤ 50      Eficiencia moderada      ■
- 50 < IEFA ≤ 75      Eficiencia alta      ■
- 75 < IEFA ≤ 100

Con base en lo anterior:

**Figura 5. Indicadores de la eficiencia del agua**



Fuente. Elaboración personal

Estimando el indicador de eficiencia del abastecimiento del agua:

Donde:

- IRAL = 53.919
- IDF = 44.778
- IRAT = 57.793
- ICD = 51.076
- IDTyL = 58.443
- IHB = 67.076

Sustituyendo en la expresión algebraica (37), se tiene que:

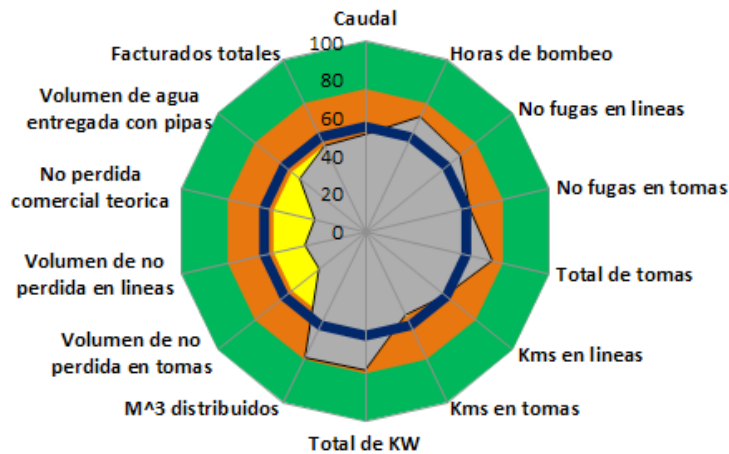
$$IEFA = \sqrt[6]{(53.919)(57.793)(58.443)(44.778)(51.076)(67.076)} \quad (40)$$

Por tanto:

$$IEFA = 55.084$$

Gráficamente esto es:

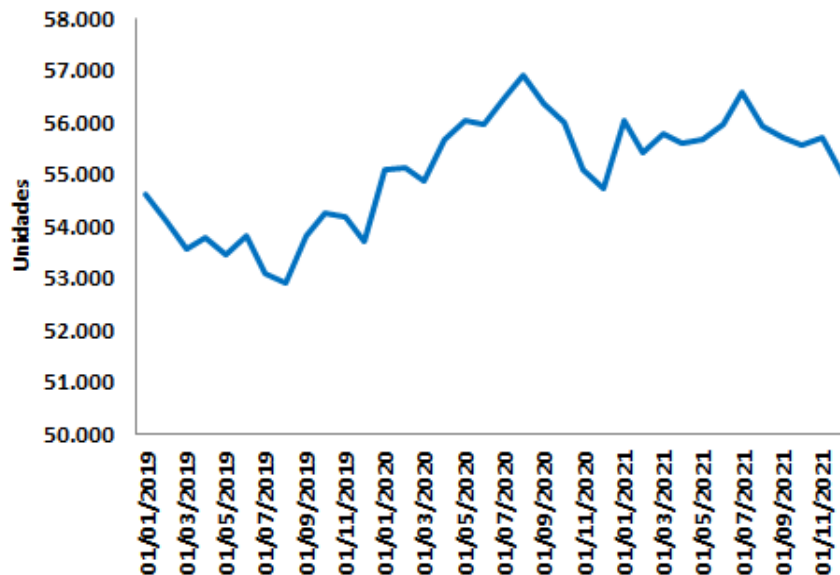
Figura 6. Indicador de la eficiencia del agua



Fuente. Elaboración personal

Con base en la figura 6, se puede ver que las variables de volumen de no recuperación tanto en tomas como en líneas, son factores que han incidido en la caída de la eficiencia del agua, a este comportamiento, también se le ha sumado la baja Recuperación Comercial Teórica Calculada, por lo tanto, es fundamental que a través del segundo modelo, se pueda estimar y predecir el grado de incidencia que tienen estos indicador sobre el Déficit de Agua, y con ello, poder minimizar el comportamiento del fenómeno, con el objetivo de tomar las acciones correspondiente de dicho estudio.

Figura 7. Dinámica del Indicador de la Eficiencia del Agua en el tiempo



Fuente. Elaboración personal

En la figura 7 se puede observar que la eficiencia del abastecimiento del agua (IEFA) dentro de los 14 municipios ha presentado comportamiento oscilante, es decir, en el mes de enero de 2019 presentó un decrecimiento, el cual alcanza su mínima expresión en septiembre de ese mismo año, posterior a esa fecha, su crecimiento fue constante, hasta alcanzar su máximo nivel en julio de 2020, después de esa fecha hasta la actualidad, el comportamiento ha sido variante.

#### 4. Estimación del estrés hídrico

Con base en lo anterior y partiendo de los indicadores que conforman a la Eficiencia del Abastecimiento del Agua (EFA), el modelo del Déficit de Agua, se expresa de la siguiente forma:

$$\text{Def} = f(\text{TP}, \text{SOH}, \text{IRAL}, \text{IRAT}, \text{IDTyL}, \text{IDF}, \text{ICD}, \text{IHB}) \quad (41)$$

Donde:

- Y = Déficit del agua
- Timp = Tiempo de Meses (2019 - 2021)
- SOH = Sistema de Operaciones Hidráulicas
- IRAL = Indicador de Recuperación de Agua en Líneas.
- IRAT = Indicador de Recuperación de Agua en Tomas.
- IDTyL = Indicador de Distribución en Tomas y Líneas.
- IDF = Indicador de Distribución Física.
- ICD = Indicador de Caudal de Distribución.
- IHB = Indicador de Horas de Bombeo.

En forma de regresión lineal:

$$\text{Def}_a = \hat{\beta}_0 + \sum_{i=1}^k \hat{\beta}_i I_i + u_i \quad (42)$$

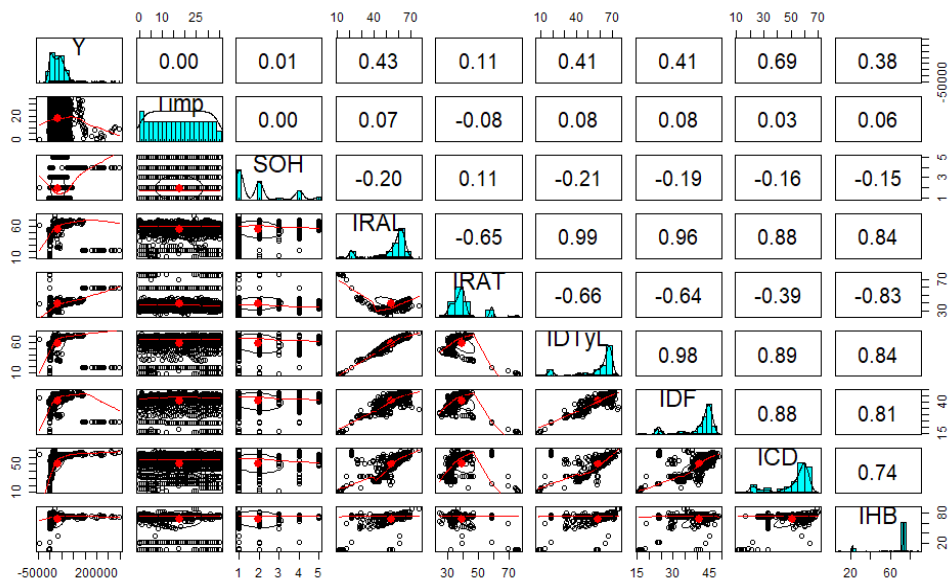
Tal que:

- E(Y) = es el valor esperado del Déficit del agua
- $\hat{\beta}_i$  donde  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ . Son los parámetros a estimar
- $u_i$  es margen de error que no puede ser explicado por el modelo de regresión.

Si Def es una variable aleatoria continua (v.a.c.), su forma de modelamiento sería a través de una regresión gamma, tal que  $Y > 0$ .

Con base en lo anterior y partiendo de la matriz correlación se tiene lo siguiente:

Figura 8. Gráfica de correlación lineal entre el Déficit del agua (Y) y los indicadores del Eficiencia del Abastecimiento del Agua (EFA).



Fuente. Elaboración personal.

Partiendo de la figura 8, se puede observar que con un nivel de confianza del 0.95 y un nivel de significancia del 0.05, los indicadores:

- Timp = Tiempo de Meses (2019 a 2021).
- SOH = Sistema de Operaciones Hidráulicas.
- IRAT = Indicador de Recuperación de Agua en Tomas.

No son significativos para estimar el comportamiento del Déficit de Agua del organismo, por tanto, su expresión algebraica sería de la siguiente forma:

$$E(\text{Def}_a) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \text{IRAL} + \hat{\beta}_2 \text{IDTYL} + \hat{\beta}_4 \text{IDF} + \hat{\beta}_5 \text{ICD} + \hat{\beta}_6 \text{IHB} + u_i \quad (43)$$

Mediante el método de máxima verosimilitud (calcula el valor estimado del parámetro que tiene mayor probabilidad de ocurrencia de un determinado fenómeno). Al estandarizar la información, el modelo sería de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \ln [E(\text{Def} + 44003)] \\ = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \ln(\text{IRAL}) + \hat{\beta}_2 \sqrt{\text{IDTYL}} + \hat{\beta}_4 \sqrt{\text{IDF}} + \hat{\beta}_5 \ln(\text{ICD}) \\ + \hat{\beta}_6 \ln(\text{IHB}) + u_i \end{aligned} \quad (44)$$

Con las siguientes corridas, se tiene que:

Figura 9. Corrida de modelos con variables de significancia.

Modelo - 1

**Deviance Residuals:**

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.6563	-0.1468	-0.0338	0.1070	1.0216

**Coefficients:**

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	6.22986	0.27915	22.317	< 2e-16 ***
log(IRAL)	0.63194	0.12466	5.069	4.29e-07 ***
sqrt(IDTyL)	-0.31108	0.03932	-7.912	3.82e-15 ***
sqrt(IDF)	-0.01975	0.03500	-0.564	0.573
log(ICD)	1.53812	0.02923	52.623	< 2e-16 ***
log(IHB)	-0.01690	0.01967	-0.860	0.390

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 0.03925329)  
**Null deviance:** 344.54 on 2447 degrees of freedom  
**Residual deviance:** 113.01 on 2442 degrees of freedom  
**AIC:** 54229

Modelo - 2

**Deviance Residuals:**

Min	1Q	Median	3Q	Max
-4.5891	-0.1179	-0.0059	0.0956	1.0355

**Coefficients:**

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t )
(Intercept)	6.36567	0.08967	70.99	<2e-16 ***
log(IRAL)	2.10002	0.10450	20.10	<2e-16 ***
log(IDTyL)	-2.24743	0.08427	-26.67	<2e-16 ***
log(ICD)	1.42153	0.02214	64.22	<2e-16 ***

(Dispersion parameter for Gamma family taken to be 0.03241757)  
**Null deviance:** 344.537 on 2447 degrees of freedom  
**Residual deviance:** 96.953 on 2444 degrees of freedom  
**AIC:** 53847

Fuente. Elaboración personal

A partir de la figura 9, se puede observar que en modelo 1, con un nivel de significancia al 0.05, las variables Indicador de Caudal de Distribución (ICD) e Indicador de Horas de Bombeo (IHB), no son significativas para predecir la dinámica del Déficit del Agua.

Por tanto, la ecuación lineal sería de siguiente forma:

$$\ln[E(\text{Def}_a + 44003)] = 6.37 + 2.10 \ln(\text{IRAL}) - 2.25 \sqrt{\text{IDTyL}} + 1.42 \ln(\text{ICD}) \quad (45)$$

Partiendo de la expresión algebraica 43, se procede la validación del modelo, es decir al cumplimiento de los siguientes supuestos de inferencia:



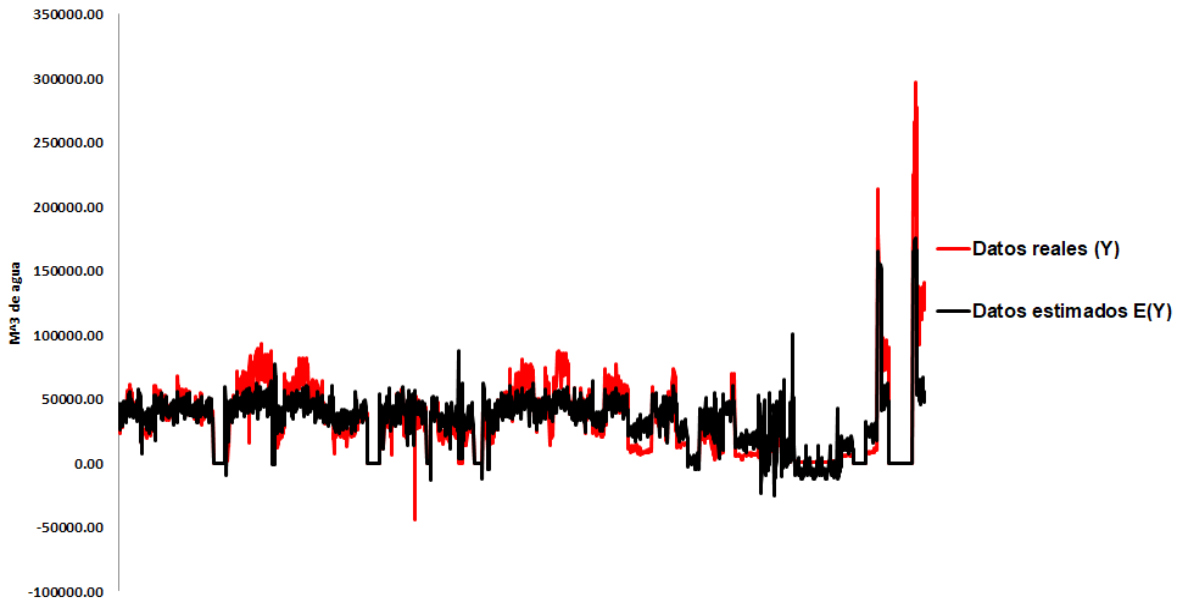
**Tabla 3. Supuestos a cumplir**

	<p><b>Null deviance:</b> 344.537 on 2447 degrees of freedom</p> <p><b>Residual deviance:</b> 96.926 on 2443 degrees of freedom</p>
Los residuales (ui) deben aproximarse a sus grados de libertad.	<p><b>Hipótesis:</b></p> <p>Ho: ui ~ GL vs. Ha: ui ≠ GL</p> <p>Si el P - Valor es mayor a 0.05 se rechaza Ha y se acepta Ho, por tanto, los ui se aproximan a sus grados de libertad. Con base a los resultados, el P - Valor es igual a uno, por tanto, se acepta Ho, es decir, los residuales de aproximan a sus grados de libertad.</p>
Factor de Inflación de la Varianza (VIF)	<p>Si el VIF es mayor a cinco unidades, va a existir colinealidad entre las variables independientes. Partiendo de los resultados obtenidos:</p> <p><b>sqrt(IRAL) sqrt(IDTyL) sqrt(IDF) sqrt(ICD) sqrt(IHB)</b></p> <p><b>VIF 4.513 2.573 2.338 3.686 3.412</b></p> <p>Se puede ver que no existe colinealidad entre las variables independientes.</p>
Devianza (D <sup>2</sup> )	$D^2 = \frac{\text{Devianza nula-residuales de la devianza}}{\text{Devianza nula}}$ <p>Sustituyendo:</p> $D^2 = \frac{344.537-96.926}{344.537} = \frac{248.311}{344.537} = 0.72071$

Fuente. Elaboración personal

Con un nivel de confianza al 0.95, con un nivel de significancia del 0.05 y con el cumplimiento de los supuestos de inferencia estadística, el presente modelo conserva el 72.07% de la variabilidad de los datos, es decir, la expresión algebraica 43 explica en un 72.07% el comportamiento del déficit del Agua (Figura 36).

Figura 10. Ajuste del modelo estimado con respecto a los datos reales



Fuente. Elaboración personal

Con base en lo anterior, el retroceso de la ecuación es:

$$E(\text{Def} + 44003) = \exp\{6.37 + 2.10 \ln(\text{IRAL}) - 2.25\sqrt{\text{IDTyL}} + 1.42\ln(\text{ICD})\} \quad (46)$$

Despejando a Def :

$$E(\text{Def}_a + 44003) = 584e^{2.10 \ln(\text{IRAL}) - 2.25\sqrt{\text{IDTyL}} + 1.42\ln(\text{ICD})} \quad (47)$$

Por tanto:

$$E(\text{Def}_a) = 584e^{2.10 \ln(\text{IRAL}) - 2.25\sqrt{\text{IDTyL}} + 1.42\ln(\text{ICD})} - 44003 \quad (48)$$

Partiendo de la ecuación 46, en el siguiente apartado se hace la lectura de los parámetros y de las tendencias que se tendrían sobre el comportamiento del fenómeno en estudio. Por tanto, la interpretación de sus parámetros es la siguiente:

Si  $\text{IRAL} = \text{ICD} = 1$ , y  $\text{IDTyL} = 0$ , sin tomar en cuenta la constante ( $C = -44003$ ), el valor esperado de Déficit de Agua sería ( $\text{Def}$ ) de  $584\text{M}^3$ , equivalentes a 584 mil litros al día.

Tabla 4. Interpretación de la ordenada al origen

Sustituyendo en la ecuación 46	$E(\text{Def}_a) = 584e^{2.10 \ln(1) - 2.25\sqrt{0} + 1.42\ln(1)} = 584$
--------------------------------	--------------------------------------------------------------------------

Fuente. Elaboración personal

Si IRAL = 2 y ICD = 1, y IDTyL = 0, sin tomar en cuenta la constante (C = -44003):

**Tabla 4. Interpretación del parámetro IRAL**

$\Delta E(\text{Def}_a) = 1,920 \quad \Delta E(\text{Def}_a) = 3.287$	<p>Sustituyendo en la ecuación 46:</p> $E(\text{Def}_{a\text{IRAL}}) = 584e^{2.10 \ln(2) - 2.25\sqrt{0} + 1.42 \ln(1)}$ $= 584e^{2.10 \ln(2)}$ <p>Por tanto:</p> $E(\text{Def}_{a\text{IRAL}}) = 2,503.66 \sim 2,504$ <p>Tal que:</p> $\Delta E(\text{Def}_a) = E(\text{Def}_{a\text{IRAL}}) - E(Y) = 2,504 - 584$ $= 1,920$ <p>En términos porcentuales:</p> $\Delta E(\text{Def}_a) = \frac{1,920}{584} = 3.287$
-----------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente. Elaboración personal

Por cada unidad que se incremente el Indicador de Recuperación de Agua en Líneas (IRAL), el déficit de Agua (Def<sub>a</sub>), se va a incrementar en 1,920M<sup>3</sup>, equivalentes a 1.92 millones de litros al día, esto corresponde a más de tres veces el valor esperado del déficit.

Si IRAL = 1 y ICD = 1, y IDTyL = 1, sin tomar en cuenta la constante (C = -44003):

**Tabla 5. Interpretación del parámetro IDTyL**

$E(\text{Def}_a) - 522 = 1 - E(\text{Def}_a)$ $= 0.1061$	<p>Sustituyendo en la ecuación 46:</p> $E(\text{Def}_{a\text{IDTyL}}) = 584e^{2.10 \ln(1) - 2.25\sqrt{1} + 1.42 \ln(1)}$ $= 584e^{-2.25\sqrt{1}}$ <p>Por tanto:</p> $E(\text{Def}_{a\text{IDTyL}}) = 61.55 \sim 62$ <p>Tal que:</p> $\nabla E(\text{Def}_a) = E(\text{Def}_{a\text{IDTyL}}) - E(\text{Def}_a) = 62 - 584$ $= -522$ <p>En términos porcentuales:</p> $1 - \nabla E(\text{Def}_a) = 1 - \frac{522}{584} = 0.1061$
----------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente. Elaboración personal

Por cada unidad que se incremente el Indicador de Distribución sobre Tomas y Líneas (IDTyL), va a decrecer en 522M<sup>3</sup>, equivalentes a 522 mil litros al día, esto corresponde a un decremento del 10.61% sobre el valor esperado del déficit.

Si IRAL = 1 y ICD = 2, y IDTyL = 0, sin tomar en cuenta la constante (C = -44003):

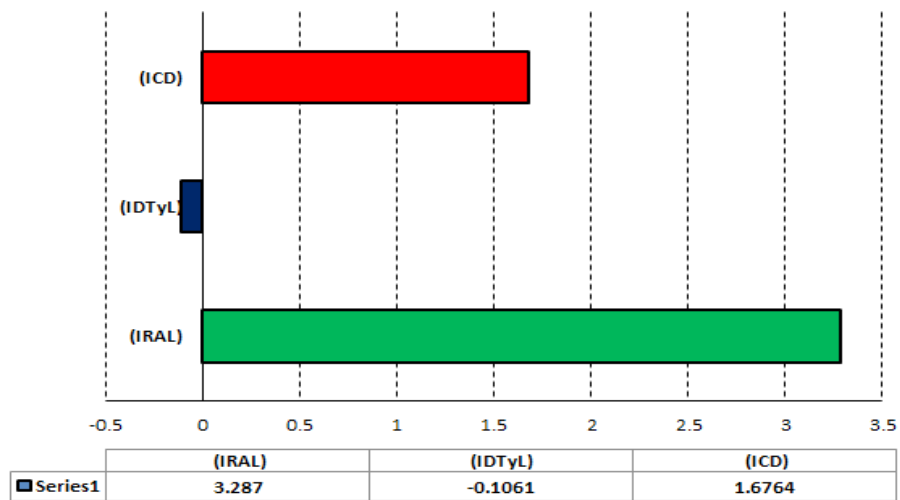
**Tabla 6. Interpretación del parámetro ICD**

$\Delta E(\text{Def}_1) = 1563 - 584 = 979$ $\Delta E(\text{Def}_2) = 1563 - 584 = 979$ $\Delta E(\text{Def}_2) / \Delta E(\text{Def}_1) = 1.6764$	<p>Sustituyendo en la ecuación 24:</p> $E(\text{Def}_{1\text{ICD}}) = 584e^{2.10 \ln(1) - 2.25\sqrt{1} + 1.42 \ln(2)}$ $= 584e^{1.42 \ln(2)}$ <p>Por tanto:</p> $E(\text{Def}_{2\text{ICD}}) = 1562.69 \sim 1563$ <p>Tal que:</p> $\Delta E(\text{Def}_2) = E(\text{Def}_{2\text{ICD}}) - E(\text{Def}_2) = 1563 - 584 = 979$ <p>En términos porcentuales:</p> $\Delta E(\text{Def}_2) = 1 - \frac{584}{1563} = 1.6764$
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente. Elaboración personal

Por cada unidad que se incremente el Indicador de Caudal de Distribución (ICD), el déficit de Agua (Y), se va a incrementar en 979M<sup>3</sup>, equivalentes a 979 mil de litros al día, esto corresponde a más de 1.5 veces el valor esperado del déficit.

**Figura 11. Peso de parámetros**



Fuente. Elaboración personal

Con base en la figura 37, se puede observar el peso que y la tendencia que ejerce cada parámetro sobre la dinámica del Déficit del Agua (Y):

- “A mayor recuperación de agua en líneas (IRAL), mayor Déficit del Agua (Y)”.
- “A mayor distribución en tomas y líneas (IDTyL), menor Déficit de Agua (Y)”.
- “A mayor distribución del caudal (ICD), mayor Déficit de Agua (Y)”.

## Conclusiones finales

Como se pudo observar, en el presente capítulo se desarrollaron dos modelos:

- En el primero, se construyó un Indicador de Eficiencia de Abastecimiento del Agua (EFA), pues con nivel de confianza al 0.95 y con un nivel de significancia del 0.05, se pudo identificar el comportamiento que ha presentado el fenómeno en estudio, y con ello, se construyeron seis indicadores, mediante la agrupación de variables, tomado como base la homogeneidad entre ellas.
- En el segundo, se creó un algoritmo con el cual se pudo estimar la dinámica que ha presentado el Déficit del Agua (Y), pues con un nivel de confianza al 0.95 y con un nivel de significancia del 0.05, y con el cumplimiento de los supuestos de inferencia, el modelo presentó una devianza del 0.7207, es decir, la expresión algebraica 21 predice el comportamiento del fenómeno en un 72.07.

Entre los resultados destacados se encuentran los siguientes:

- “A mayor recuperación de agua en líneas (IRAL), mayor Déficit del Agua (Y)”.
- “A mayor distribución en tomas y líneas (IDTyL), menor Déficit de Agua (Y)”.
- “A mayor distribución del caudal (ICD), mayor Déficit de Agua (Y)”.

Es fundamental que el organismo (CAASIM: Comisión de Agua y Alcantarillado de Sistema Intermunicipal) ponga énfasis en estos resultados, pues en la medida que se creó un reglamento que permita la intervención de cambiar la tendencia de estos parámetros, va a mejorar su eficiencia de abastecimiento, y con ello, podrá minimizar su déficit de agua.

## Referencias bibliográficas

- Bertalanffy, L. (1976). *Teoría General de los Sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones*. México. Fondo de Cultura Económica.
- Dobson, A. and Barnett, A. (2008). *An Introduction to Generalized. Linear Models*. USA. CRC Press. Taylor & Francis Group. A Chapman & Hall Book.
- Guerrero, M. y Ramírez, J. (2012). “El análisis de escalamiento multidimensional: una alternativa y un complemento a otras técnicas multivariante”. España: Universidad Pablo de Olavide.
- Gujarati, D. y Porter, D. (2010). *“Econometría”*. México. Mc Graw Hill.
- Hernández, L. (2013). *Los fenómenos y sus causas. Una oportunidad para aprender a hacer ciencia y ejercitar la imaginación*. Disponible en: <https://rodin.uca.es/bitstream/handle/10498/15713/6-469-Hdez-Villalobos.pdf>
- Hillier, F. y Lieberman, G. (2010). *“Introducción a la Investigación de Operaciones”*. México. Mc Graw Hill.
- McCullagh, P. and Nelder, J. (1983). *“Generalized Linear Models”*. USA. Chapman and Hall.
- Moreno, L. (2009). *Respuestas de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión*. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v27n2/v27n2a06.pdf>
- Peña, D. (2002). *“Análisis de Datos Multivariantes”*. España: Universidad Carlos III de Madrid.
- Veras, E. (2006). *“Diseño de un índice para la medición del desarrollo humana”*. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/301/30113807015.pdf>



## Representaciones tradicionales y contemporáneas del agua en la danza

*Cynthia Jeannette Pérez Antúnez  
Beatriz Julieta Galindo Zavala  
Ricardo Campos Castro*

### **Resumen**

En este texto compartimos algunas representaciones del agua que se han trabajado en la danza. Ya sea como entidad anímica, elemento escénico, detonador creativo y de investigación, o como herramienta en el ámbito educativo, el agua está presente en las prácticas dancísticas tradicionales y contemporáneas. En los ciclos agrícolas de las comunidades rurales e indígenas de México, el agua es un elemento central para su entendimiento del mundo y la práctica de rituales; dancísticamente, este recurso natural es representado a través de imágenes, movimientos o símbolos, destacando su importancia social y cultural. Las danzas escénicas retoman al agua desde diferentes perspectivas, una de las cuales es la emergencia del cambio climático actual. Docentes y estudiantes del Instituto de Artes de la UAEH se han sumado a

estas investigaciones - creaciones, resaltando la importancia del ámbito educativo. Presentamos aquí una breve revisión de dicha diversidad de abordajes dancísticos que tiene como eje principal el agua para la vida.

## **Introducción**

Sin duda, la gravedad del cambio climático actual obliga a diferentes grupos sociales y profesionales a manifestarse al respecto desde sus herramientas, reflexiones, prácticas y perspectivas. Las aportaciones del arte a este conjunto de problemáticas son múltiples, heterogéneas y valiosas en muchos sentidos. En principio tienen que ver con la experiencia estética que provocan, posicionándose no sólo artística, sino incluso políticamente, contribuyendo a la difusión sensible y ética de sus mensajes. Uno de los aspectos más preocupantes del cambio climático que nos está tocando vivir actualmente tiene que ver con la escasez del servicio de agua potable en comunidades indígenas, rurales y urbanas por igual, así como cada vez más dramáticos desequilibrios en las lluvias, ya sea por sequía o por inundaciones.

La danza, como una importante representante de las artes escénicas, a través de sus diferentes representaciones y alcances, visibiliza en la esfera pública todo aquel fenómeno, práctica y/o problemática de la que se ocupe. El agua en la danza se ha trabajado de distintas maneras. En este texto, a propósito del Coloquio “Agua para la vida” de la Feria Universitaria del Libro (FUL) 2022 de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), presentamos tres de ellas: el agua como entidad sagrada; el agua como elemento escénico, detonador creativo y de investigación; y el agua como herramienta en el ámbito educativo dancístico relacionado con las dos primeras.

En el primer apartado presentamos el agua como entidad sagrada en relación con tradiciones de comunidades indígenas y rurales. Expondremos algunos ejemplos de danzas que, mediante parafernalia, movimientos corporales, sonidos y una gran diversidad de manifestaciones y representaciones, simbolizan el agua y su importancia para la vida en estrecha relación con los ciclos agrícolas así como con sus sistemas de creencias.

En el segundo apartado abordaremos el agua y algunas de sus representaciones en la danza escenificada. A través de algunos ejemplos de obras y procesos, ubicamos tres maneras en las que el agua se ha representado en escena: danza *con* agua, danza *en* el agua y danza *por* el agua. Aterrizaremos con un caso reciente de proceso creativo interdisciplinario realizado en Monterrey, Nuevo León, México.

En el tercer apartado hablaremos de la importancia de la perspectiva educativa en el abordaje del cambio climático relacionado con el agua. Nos ubicaremos en el Instituto de Artes de la UAEH para exponer algunas obras y/o procesos creativos en danza que ahí se han gestado. Las implicaciones éticas y sensibles que desde el ámbito educativo dancístico se propician son fundamentales para reflexionar, entender y accionar problemáticas sociales y ambientales.

A propósito de todo lo compartido en cada uno de los tres apartados mencionados, problematizamos los conceptos de tradición, contemporaneidad y rituales. Pues la investigación y la creación dancísticas también hacen aportaciones epistemológicas en relación con las realidades con las que se involucra.

## **El agua como entidad sagrada**

El devenir de las sociedades en el mundo se cimenta sobre su entendimiento del agua como líquido vital. La abundancia o escasez del recurso hídrico es, y seguirá siendo, determinante para la subsistencia del hombre como especie, al satisfacer necesidades básicas como el autoconsumo y la producción de alimentos.

De hecho, su uso en la agricultura transformó la realidad del hombre errante y sentó las bases para la consolidación de sociedades complejas con estructuras propias, diversas y en estrecha relación con el espacio geográfico habitado. Al respecto, el historiador francés Fernand Brudel (1979) postula que el cultivo de trigo, arroz y maíz, fue crucial para el desarrollo de las civilizaciones de Europa, Asia y América, al grado de organizar la vida material y psíquica de los hombres (p.78). Dicha reflexión, aunque centrada en el papel de los granos en la historia de la humanidad, invita a considerar las formas en que las sociedades acceden al agua y los nexos que este elemento establece con otras esferas de la vida social.

Así, al prestar atención a la dimensión sociocultural del agua entre las culturas agrícolas de México, se torna imprescindible referir el conjunto de expresiones que se configuran a su alrededor, entre las que se ubican: el reconocimiento de ciclos de siembra-cosecha que, aunque depende de factores abióticos, son interpretados a partir de un conocimiento empírico basado en la observación y la experiencia; la realización de rituales petitorios de lluvia que, desde la incapacidad del hombre para poder controlar su actuar, hace necesario el despliegue de prácticas que permitan establecer comunicación con las entidades sagradas que la resguardan para solicitar su favor; la existencia de sistemas de creencias que conciben el agua como una entidad sagrada<sup>12</sup> de cualidades benévolas o perjudiciales que debe ser respetada, temida y ofrendada; finalmente, la diversidad de representaciones simbólicas que se hacen sobre ella y sus cualidades. Cabe aclarar que, debido a la diversidad condiciones naturales del medio físico, el acceso al agua, así como las técnicas y saberes para su aprovechamiento, son variables dentro de cada comunidad, por esta razón, las formas en que se representa también lo son.

### **a) La danza entre los pueblos agrícolas**

Entre la diversidad de rituales asociados a la petición de lluvias, la danza ocupa un lugar indispensable. Desde tiempos prehispánicos, la danza formó parte de una filosofía de vida en relación con el cosmos, moverse era sinónimo de vida; su realización era obligada y operaba como canal de comunicación entre los hombres y las deidades.

Aunque las referencias sobre la danza en ese periodo son escasas, el trabajo de María Sten arroja una diversidad de referencias a ocasiones festivas en las que la acción de bailar se vincula con la fertilidad de la tierra<sup>13</sup> y, aunque no se menciona puntualmente, la presencia del agua es innegable a través de las alusiones a los cerros como contenedores de agua; al maíz como grano vital; a la luna como entidad encargada de regular los ciclos de fecundidad de la mujer y de la tierra; a la serpiente como símbolo del agua celeste y terrestre y, su movimiento zigzagueante, representación del poder fecundante; a los puntos cardinales a través de los cuales los vientos deben viajar para hacerla llegar y a las diosas de la fertilidad, mujeres serpiente que son las madres de la humanidad (1990, pp. 69-129).

---

12 Joana Broda (2016) apunta que, desde tiempos mesoamericanos, el agua junto con otros elementos naturales y meteorológicos, como los cerros y los vientos, eran asumidos como “seres vivos” por el lugar que ocupaban dentro de su cosmovisión, “como fundamento de la vida y de la reproducción de la naturaleza y la sociedad” (p. 26)

13 Como ejemplo, las siguientes referencias obtenidas en la fiesta Izcalli, cuyo propósito era hacer crecer rápidamente lo que crecía en el campo, se ofrecía al dios del fuego Xiuhtecuhtli las aves “de todo género y también peces y culebras” (p.95-96); “en la fiesta Huey Tecuillhuil “gran fiesta de los señores”, Sahagún y Durán coinciden que se festejaba a Xilonen, Centeotl y Chicomecoátl, “Siete Culebra”. Esta fiesta tiene como fin preparar la cosecha y proteger la mazorca tierna” (Sten, 1990, p.98)



A pesar del proceso de colonización y los intentos evangelizadores para erradicar estas estructuras ideológicas desde el siglo XVI, es bien sabido, que este proceso no fue uniforme y muchos pueblos indígenas lograron mantener prácticas rituales que, aunque reconfiguradas a lo largo del tiempo y adaptadas a otras realidades, siguen manifestando una relación sensible con el entorno a partir de la necesidad de líquido vital.

Hacer una revisión de dicho proceso requeriría un análisis más profundo; sin embargo, la finalidad de esta breve introducción, persigue el objetivo de dimensionar la danza como una actividad de relevancia para los pueblos agrícolas en su carácter de plegaria dancística<sup>14</sup> ya que la danza no solo se centra en el movimiento sino en su concatenación con otra serie de acciones y elementos que la sacralizan para lograr su cometido: reforzar la comunicación con las entidades sobrenaturales del agua.

Por otra parte, es necesario tener presente que el agua se asocia, directa o indirectamente, con otros fenómenos de la naturaleza como rayos, nubes, arcoíris, granizo, neblina, rocío y lluvia, mismas que, se convierten en referencias signicas para su integración a la danza en forma de símbolos, movimientos y sonidos.

## **b) La presencia del agua en las danzas tradicionales**

En nuestro país son numerosas las danzas vinculadas a ceremonias agrícolas; Mompradé y Gutiérrez (1981) registran algunas de ellas, entre las que podemos mencionar: la *Danza del Balché* en la zona lacandona de Chiapas, la *Danza del Bolonchón* entre los chamulas, la *danza de los Sembradores* en Zacatecas, las *danzas de Arcos* con presencia en Puebla, Tlaxcala, el Estado de México e Hidalgo. Es preciso mencionar que, las representaciones del agua no se limitan a la petición de lluvias pero nos permiten contextualizar algunas generalidades.

Bajo este esquema, centramos la atención en explorar 3 estudios que consideran la presencia del elemento natural o sus cualidades en la dimensión dancística, ya sea como discurso kinético o representación simbólica. En cada caso, haremos breve mención al contexto y referencias que permitan dimensionar su trascendencia.

*Danza de tejoneros.* Ampliamente difundida en la región del Totonacapan, esta danza se fundamenta en el mito de origen del maíz que refiere lo siguiente:

en una era anterior a la nuestra un niño, que más tarde se convertiría en el sol, sabiendo de una catástrofe provocada por un diluvio, mandó a los animales que le ayudaran a ocultar el maíz en un cerro [...] los primeros pobladores de esta tierra ya no conocían el maíz [...] fueron convertidos en animales, perdieron la memoria y no supieron que el maíz era bueno para sus sustento; solo la hormiga sabía la existencia del maíz [...] La hormiga arriera pidió ayuda a los demás animales para sacar el maíz del interior del cerro [...] entonces el [...] “pájaro carpintero” ofreció su ayuda para romper el cerro con su pico [...] De este modo, gracias a él y a la hormiga arriera los demás animales tuvieron el maíz; por eso hacen su fiesta (Croda, 2005, p.71)

Durante la ejecución de la danza, en el centro de la plaza o junto a la iglesia del pueblo, se coloca un tronco ahuecado en posición vertical forrado con papel china u hojas de plátano, dispuesto con una serie de

---

14 Para Jaureguí las prácticas musicales y dancísticas, como lenguajes no verbales con características propias, pueden ser consideradas plegarias corporales si se ejecutan dentro de un contexto ritual, de manera periódica, y atendiendo a reglas convenidas colectivamente, cuya finalidad es establecer comunicación con lo divino y activar sus potencias en favor de la realidad cotidiana (1997, p.79)

poleas a través del que ascenderán y descenderán un pájaro carpintero hecho de madera y un tejón disecado. Este mástil está cercado por estructura de varas que se forra con una manta para crear una circunferencia, alrededor de la que se dispondrán los danzantes, representa al cerro sobre el cual asciende el pájaro carpintero para anunciar, con su picoteo, la presencia del tejón en los cultivos. Al llegar a la cima, el *chenbere*<sup>15</sup> abre un guaje<sup>16</sup> del que brotan trocitos de papel metálico de diversos colores en forma de lluvia<sup>17</sup>. Cabe agregar que en algunas comunidades, además de agua se traduce como la liberación del grano de maíz en sus diferentes colores. Aquí el agua se presenta en dos formas, a través del cerro<sup>18</sup> como contenedor de las aguas o del maíz y su caída en forma de lluvia representando su acción fertilizadora sobre la tierra.<sup>19</sup>

**Figura 1. Danza de Tejoneros, Santa María Tepetzintla Puebla (2012)**



Fotografía: Ricardo Campos Castro

Del lado derecho se observa la representación del guaje de donde cae el confeti que representa la lluvia; del lado izquierdo el momento donde ocurre en la ejecución.

---

15 Nombre dado al pájaro carpintero en regiones de habla totonaca.

16 En otros pueblos se trata de una bandera o de una sombrilla del que también se deja caer confeti o pedazos de papel metálico de colores.

17 La descripción es similarmente descrita en la investigación de Croda sobre el totonacapan veracruzano y el de Galicia (2009) sobre el pueblo totonaca asentado en la localidad de San Juan Ozelonacxtla, Puebla. Dicha descripción, también se encuentra basada en las experiencias etnográficas en la fiesta de Corpus Christi en de Santa María Tepetzintla, Puebla.

18 Broda (2016), apunta que los cerros se concebían “como si fuesen vasos grandes de agua, o como casas llenas de agua”. Contenían las aguas subterráneas que llenaban el espacio debajo de la tierra. Este espacio era el Tlalocan —el paraíso del dios de la lluvia— y de él salían las fuentes para formar los ríos, los lagos y el mar. (p.14)

19 Esta versión pertenece a la comunidad nahua de Santa María Tepetzintla durante visitas de campo en el año 2012. La descripción es parcial, solo para enfatizar el momento en donde el elemento hídrico se hace evidente.

*Danza de la Culebra.* Los pueblos asentados en las faldas de la Matlalcueyetl<sup>20</sup> se autonombran hijos de la diosa de las faldas de jade y mantienen una relación estrecha con la montaña; en sus terrenos se recoge la leña para el desarrollo de las actividades diarias, se extrae el aguamiel para el pulque de los magueyes que ahí crecen y se siembra maíz en sus llanuras. Antes de que comience el periodo de siembra, los campesinos acuden a verla para dejarle una ofrenda y compartir los alimentos con ella, con la finalidad de solicitar que sus nubes traigan buenas aguas.

Durante la época de carnaval, en Papalotla las camadas de Charros en compañía de los Vasarios, las Doncellas y la Nana, salen a recorrer las calles del pueblo a ritmo de banda. Uno de los momentos más esperados por los asistentes, es la Danza de la Culebra, donde los Charros realizan una serie de acciones coreográficas que evocan el proceso de la lluvia. De acuerdo con Serrano (2013), “cuando comienza la danza, los Charros realizan un par de vueltas alrededor del espacio dancístico. Dicha acción corresponde a la agitación y conglomeración de las nubes para formar las víboras de agua” (p. 170); posteriormente, se realiza una batalla a cuartazos<sup>21</sup> entre parejas de Charros evocando, con el movimiento y el sonido resultante del choque del chicote contra el viento, los rayos y truenos que vaticinan la lluvia. Apoyando esta interpretación, Serrano recupera el testimonio de un campesino de Papalotla que señala que, “cuando vas enojado (al campo), te vas a encontrar con una chirrionera<sup>22</sup> y te va a golpear. Se enreda en la pierna y chicotea con la cola” (170); este argumento, explica la relación entre la serpiente, el agua, la cuarta y los rayos. La cuarta; además de representar la culebra y a los truenos que cortan el cielo para que caiga la lluvia, desempeña un papel importante en la siembra pues con ella se arrea el ganado.

**Figura 2. Cuartazos entre Charros. Danza de la Culebra, Papalotla, Tlaxcala**



Fuente: <https://www.lineadecontraste.com/tomaran-previsiones-en-papalotla-por-charros-carnavalescos/>

20 Nombre en náhuatl con el que se reconoce al Volcán La Malinche por los pobladores de Tlaxcala que habitan las zonas circundantes.

21 Látigo elaborado con mecatillo teñido con anilina en diversos colores, mismo que hace alusión a la diversidad de especies de serpientes.

22 Especie de serpiente común en la región también nombrada serpiente látigo.

*Danza de los Urraqueros (ve`me)*. En la región del Gran Nayar, Maira Ramírez realiza un estudio sobre la danza de urraqueros entre diversas comunidades coras. Este hecho dancístico se fundamenta sobre el relato mítico de cómo los dioses ofrecieron el agua a los hombres. Su realización forma parte del “costumbre”<sup>23</sup> y se ajusta al ciclo agrícola anual marcado por dos momentos: cuando comienza la temporada de lluvias entre mayo y junio, y al término, en forma de agradecimiento por los beneficios obtenidos entre septiembre y octubre.

En el análisis que ofrece Ramírez, las urracas representan a los hombres-nube, deidades fluviales encargadas de traer la lluvia y favorecer el crecimiento del maíz. Respecto al movimiento, los danzantes se distribuyen en dos líneas paralelas en estrecha relación kinética. En la fila oriental, se ubica el danzante de mayor experiencia con el nombre de Hatsikan, quien es la estrella matutina, seguido de Téxkame, la madre tierra, representada por una niña; en la fila contraria, se coloca Sautari, la estrella vespertina, quien debe seguir las indicaciones de su hermano mayor. Detrás de ellos se colocan otros *ve`me*, representando a los difuntos convertidos en estrellas; también los acompaña Xáyaca, el viejo de la danza, encargado de custodiar el espacio donde se realiza el ritual kinético (pp. 389-395).

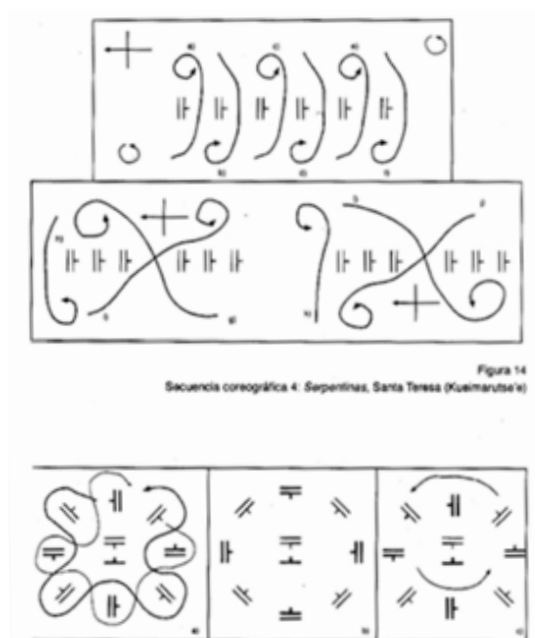
En los urraqueros la presencia del agua se da a partir de la convergencia de diversos elementos; a nivel coreográfico, destacan los movimientos en espiral y zigzag que transitan por las direcciones del cosmos que los vientos deben seguir para propiciar la formación de las nubes que contienen el agua (ibidem, p. 394); en la indumentaria, los danzantes portan una compleja corona de flores de la que penden listones de varios colores que emulan el arcoíris, un velo elaborado con cuentas de chaquira que representan gotas y, en conjunto, a la lluvia (Preuss citado por Ramírez, p.400) y un manojo de plumas que se relaciona con las nubes; entre los personajes, se encuentra el viejo que, al comandar los desplazamientos, encarna a la nube más oscura (Ramírez, op cit, p.394); finalmente, todo esto se enmarca por un canto que invoca a los dioses de la lluvia y externa los porqués de los desplazamientos y las acciones de los urraqueros<sup>24</sup>.

---

23 Término empleado en diversos pueblos de México para referir al conjunto de prácticas rituales interrelacionadas y necesarias para la reproducción cultural de los pueblos.

24 Para consultar el canto, ver Ramírez 2003, pp. 402-409

**Figura 3. Espirales, zig zag y cruces.**



Movimientos que hacen alusión al comportamiento de los fenómenos meteorológicos

Tomado de *Flechadores de estrellas* (p.408), por Maira Ramírez, INAH (2003)

Para cerrar este primer apartado, es menester reconocer que, la aproximación a estas expresiones es parcial y centra su atención en la presencia del agua como símbolo, acción o referencia dentro de la danza en su sentido más amplio. Aunque las referencias son acotadas, esta lectura permite evidenciar el grado de conciencia que los pueblos agrícolas tienen sobre la importancia del agua para la vida; asimismo, invita a recuperar esa conexión sensible con nuestro entorno frente a las problemáticas de escasez e inestabilidad ecológica derivadas del calentamiento global.

### **El agua en la danza escenificada**

La importancia de la perspectiva dancística en el abordaje de diferentes fenómenos, prácticas y problemáticas tiene que ver con la experiencia estética y la sensibilización que ésta provoca, pero también con hacer evidentes los diferentes procesos sociales y, en este caso, ambientales. La escena dancística funge como un importante y multiforme foro en la esfera pública, desde el cual se aborda y se difunde todo lo que ella se proponga con sus herramientas técnicas, creativas y de investigación, así como con sus fundamentos éticos.

Pero, ¿qué es la danza escenificada? Según Margarita Tortajada (2001), la escenificación de la danza en Occidente se remonta a un largo y complejo proceso que inicia en el siglo XV. Hasta antes de ese momento, la danza era una práctica popular basada en el goce, la pasión, el impulso irresistible y la espontaneidad. Pero el refinamiento de las cortes aristocráticas fue requiriendo y conformando un importante proceso de profesionalización y tecnificación que sigue hasta nuestros días. La aparición de la figura del maestro de danza vino a reforzar este proceso. Aquella danza impulsiva se convirtió en un producto a la vez artístico y artificial basado en reglas señaladas, refinamiento corporal y depuración motriz. De tal manera que la danza escenificada viene de un complejo proceso de transformación y estilización de lo popular (Tortajada, 2001).

Sin embargo, este proceso ha enriquecido de muchas maneras a la danza misma y al cómo se le recibe y percibe. Su escenificación en formatos performativos, teatrales, somáticos, visuales y digitales (videodanza, etc.), por mencionar algunos, ha permitido que sus diferentes tipos de representaciones hayan alcanzado la esfera pública, así como los temas y problemas a los que aborda.

Las danzas tradicionales expuestas en el apartado anterior también hacen representaciones en la esfera pública, pero tienen que ver más con rituales correspondientes con entendimientos del mundo y festividades específicas. En contextos urbanos y escénicos estas representaciones no pertenecen a ciclos festivos ni agrícolas, tienen que ver más con la estetización de conceptos, vivencias y procesos sociales emergentes.

Esto puede llegar a relacionarse fuertemente con el *artivismo* (Centella, 2015; Delgado, 2013) que es un neologismo que combina las palabras “arte” y “activismo” y que trata de creaciones artísticas comprometidas fuertemente con lo social, lo teórico y lo estético, asumiendo las implicaciones ideológicas que le correspondan. Si bien, no todas las danzas se identifican con el enfoque artivista, algunas de ellas que han abordado el cambio climático y las problemáticas asociadas al agua lo retoman como una posibilidad de expresión. Y es que las circunstancias actuales del agua en relación con el cambio climático afectan gravemente, no sólo a comunidades específicas, sino que amenazan la existencia de muchas de las especies vivas, incluyendo la nuestra.

A propósito de la pandemia y el cambio climático, la filósofa Judith Butler (2021) en la conferencia “Feminism of our Times”<sup>25</sup> de la Cátedra Alfonso Reyes del Tecnológico de Monterrey, pone sobre la mesa la interconexión democrática en la que vivimos. Que, si bien muchas cosas nos separan incluyendo la especie, los niveles socioeconómicos, las diferencias socioculturales y las ubicaciones geográficas, por mencionar algunas, si la escasez del servicio de agua potable afecta a unos, puede afectarnos a todos; si COVID-19 aparece en China, también hay contagios y muertes en todas partes del mundo; si hay sequía y/o inundaciones con las lluvias en el hemisferio Sur, es muy probable que las haya también en el Norte. La cuestión es que, si bien hay muchas cosas que nos separan, es palpable que procesos emergentes como estos también nos unen, así que desde la danza es importante tomarlos como ejes de creación e investigación.

Aquí mencionaremos brevemente algunos ejemplos de obras y procesos creativos que han tomado específicamente al agua como uno de sus ejes para presentarse en diferentes escenas. A partir de esta somera exploración, hemos ubicado tres maneras en las que el agua se ha representado en la danza escénica: danza *con* agua, danza *en* el agua y danza *por* el agua.

### ***Danza con agua***

Respecto a la primera clasificación de danza *con* agua, tenemos múltiples ejemplos, tanto de danzas tradicionales en entornos indígenas o rurales como urbanos, en los que el agua se representa a partir de elementos como velos, cántaros y un sinfín de objetos que a manera de metáforas nos refieren al líquido vital y su importancia. Pero también puede presentarse el agua literalmente en escena, incluso en escenarios totalmente teatrales. Está la conocida obra de Pina Bausch quien, considerada la máxima representante e incluso creadora del género Danza Teatro, cubría el suelo entero del escenario a manera de piscina o hacía llover o sus bailarines se aventaban cubetas llenas de agua entre sí como parte importante de la obra. El elemento literal del agua solía representar la profundidad de ciertas emociones trabajadas durante el proceso creativo.

---

25 <https://youtu.be/ntOYqnMlDdo>

## *Danza en el agua*

Actualmente son múltiples las obras que se han hecho en el agua, posibilidad reforzada sobre todo por las tecnologías audiovisuales de registro que la *videodanza*<sup>26</sup> ha sabido aprovechar. Ya sea en el mar, en alguna laguna o río, o literalmente dentro de piscinas iluminadas, la danza se ha hecho presente fuera de los teatros, incluyendo a sus técnicas de movimiento los recursos que la apnea propicia para bailar dentro del agua. Basta con hacer una somera búsqueda en la plataforma audiovisual YouTube para encontrar vastos trabajos de videodanza en el agua. Sin duda, ésta es una de las posibilidades que la danza escénica tiene para trabajar con el agua.

## *Danza por el agua*

Definitivamente esta clasificación tiene que ver directamente con el *artivismo* anteriormente definido. Son múltiples las obras y/o procesos que toman el agua como su eje para creación, denuncia y reflexión relacionadas con el cambio climático. Vamos a ejemplificar con la organización Global Water Dances<sup>27</sup> que mediante su página de Internet reúne el trabajo dancístico de diferentes personas alrededor del mundo y se organiza para recaudar fondos en acciones contra los desequilibrios provocados por el estrés hídrico.

Aterrizaremos en un ejemplo que nos parece que de alguna manera engloba estas tres clasificaciones de *con, en y por* el agua. Es parte de un proceso creativo que ha impulsado el artista multidisciplinario Luis Frías de Monterrey, Nuevo León<sup>28</sup>, que lleva por nombre *Hacer llover* a propósito de la sequía y escasez del servicio de agua potable que han vivido en esta zona de México desde hace varios años, pero que se agravó de manera importante en este 2022. Con diferentes acciones performativas que incluyen el diseño y difusión de *stickers* o calcomanías con el *hashtag* #hacerllover por toda la ciudad de Monterrey y la propuesta de participación con otros artistas de su ciudad, plantea un ritual contemporáneo multiforme con el fin de, precisamente, hacer llover. Específicamente en relación con la danza, hizo una colaboración con estudiantes y maestros de la Escuela Superior de Música y Danza de Monterrey (ESMDM) para hacer una intervención performativa en la Presa La Boca, en los alrededores de la ciudad.

La consigna fue visitar el lugar, empaparse de la sequía que la falta de agua provocaba en el espacio (en el que antes incluso podían hacerse paseos en barco y en ese momento solamente se podían apreciar las grietas de la tierra seca) y en sus cuerpos, y combinar todo esto con la sensibilización de convivir con otras especies como los patos que siguen viviendo ahí con prácticamente nada de agua. Así, expresaron todo esto a través del cuerpo bailante. Luis Frías documentó en fotografía y video todo este proceso de exploración corporal y a partir de ahí hizo propuestas gráficas desde las artes visuales con unos de los personajes que más ha trabajado en su carrera: los manilargos<sup>29</sup>.

---

26 Formato creativo que conjunta la danza con propuestas cinematográficas desarrolladas paulatinamente durante el siglo XX y que sobre todo durante la cuarentena de la pandemia coronavírica actual se ha disparado impresionantemente.

27 <https://globalwaterdances.org/>

28 El cual se puede seguir en sus redes sociales a manera de bitácora, principalmente en Instagram con su perfil @luisfriasleal y el hashtag #hacerllover

29 También dispuestos para consulta en @luisfriasleal de Instagram.



Figura 4. Intervención performativa dancística del proyecto *Hacer llover*.



Registro elaborado por Luis Frías Leal, julio 2022.

Encontrar las conexiones entre el performance desde la conciencia y sensibilización social y ambiental, así como los cruces entre las artes escénicas y visuales, es uno de los grandes aportes del proceso creativo *Hacer llover*. Además de la posibilidad de implicarse en la configuración de un ritual contemporáneo y urbano de petición de lluvias. Lo curioso es que estas intervenciones dancísticas se hicieron a mediados del mes de julio de 2022, y menos de una semana después comenzó a llover en Monterrey, después de una de las peores sequías en su historia, situación agravada por supuesto por la escasez en el servicio de agua potable. Lamentablemente ya para el mes de agosto las lluvias se recrudecieron con tal fuerza que derivaron en fuertes inundaciones con graves consecuencias económicas para buena parte de la población, así como algunas muertes.

Definitivamente, tanto la sequía como las inundaciones son parte de esta misma situación del cambio climático. Y las carencias en el servicio de agua potable para la mayoría de la población, exceptuando por supuesto a ciertos sectores privilegiados como las clases dirigentes y los empresarios, también dan muestras de en dónde hay que poner atención para que el agua siga siendo un recurso para la vida. La danza es un poderoso vehículo en los procesos de difusión y sensibilización en el entendimiento de estos procesos sociales, económicos, políticos, culturales y ambientales.



## **Sensibilización medio ambiental en el contexto educativo**

Como se ha mencionado anteriormente el entendimiento de que el agua es un líquido vital para la existencia humana, ha influido en las manifestaciones socioculturales vinculadas a las expresiones artísticas, tanto en las prácticas cotidianas como las extra cotidianas; algunas vinculadas a las necesidades básicas, otras a las necesidades estéticas. Hoy ante una realidad anunciada sobre la escasez de este recurso, además de los innumerables retos que demandan acciones contundentes y de un alcance global, que implican gestiones gubernamentales a escala mundial, también es preciso plantear la trascendencia de acciones encaminadas hacia una sensibilización de este recurso.

En el Informe Mundial de la UNESCO sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos (2021), se señala la complejidad sobre la valoración de este recurso, dejando ver cómo el valor cultural que se le da afecta directamente su uso, por un lado se estima que un 80% de aguas residuales son vertidas en el medio sin un tratamiento adecuado, por otro lado rescata el valor que diversas culturas otorgan a este elemento como un ente vivo, por lo que su uso se hace con la plena consciencia de su existencia (también como se ha ilustrado anteriormente en el presente trabajo), en este informe Gilbert F. Hounghbo, Presidente de ONU-Agua y Presidente del Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, afirma que “gran parte de nuestros problemas surgen porque no valoramos el agua lo suficiente; de hecho, cada vez con más frecuencia no se valora en absoluto a los recursos hídricos” (p. vii).

Siguiendo con este mismo informe se señala la influencia de la cultura en la forma en la que se percibe y se valora en agua, en este sentido la cultura influye en la forma en la que se usa el agua, a través de las prácticas culturales se van interiorizando los valores que resultan en acciones específicas de cada individuo en la sociedad, en este punto resulta relevante mencionar la importancia de las instituciones educativas dentro de la sociedad y por consecuencia la educación ambiental.

De acuerdo con la UNESCO (2021) la Educación para el Desarrollo Sostenible, debe empoderar a los estudiantes para la toma de decisiones informadas, responsables y conscientes de la trascendencia de las acciones para el presente y el futuro, donde el recurso hídrico y el medio ambiente sean prioridad, de este modo es posible pensar en impulsar iniciativas educativas y artísticas de sensibilización medio ambiental, donde el agua tenga un lugar central y elemental para la continuidad de la existencia humana.

Es entonces que resaltar la relevancia de la educación ambiental dentro de las instituciones educativas, es una tarea urgente en todos los espacios y niveles, para encontrar una nueva ética en las relaciones del ser humano con el medio ambiente, una ética donde la sostenibilidad sea prioridad dentro de todo el proceso de desarrollo curricular (Silva, et. al., 2021).

Actualmente existen diversas propuestas e investigaciones al respecto, entre ellas se encuentra el proyecto interdisciplinario “Poéticas del agua” de la Universidad de los Andes en Venezuela (Virginia, Carrillo y Pena, 2017), donde además de la formación lectora, se promueve la conciencia ambiental a través de diversas experiencias literarias, plásticas y corporales. En esta perspectiva el abordaje que se hace es desde una visión constructivista, donde se propicia una actitud sensible, creativa y reflexiva para la valoración de este líquido vital.

Por otro lado García-González (2020) ahonda sobre la importancia de la educación ambiental dentro de las escuelas, sobre todo a partir de las reflexiones y cuestionamiento que trajo consigo la pandemia, como la valoración de los espacios abiertos y naturales para reconfigurar las prácticas de enseñanza-aprendizaje vinculadas al medio ambiente. En este mismo sentido Silva et. al. (2021) exponen la importancia de la educación ambiental en el contexto universitario.

Entendiendo la relevancia de las acciones encaminadas a la valoración del recurso hídrico en los espacios educativos, es que resulta importante exponer tres trabajos realizados dentro de la Licenciatura en Danza de la UAEH. Aunque dichos trabajos forman parte de procesos distintos, todos están atravesados por una formación creativa y la necesidad de sensibilización ambiental, que de acuerdo con Galindo y Ramírez (2022) pueden ser ubicados como Práctica Escénica con dos vertientes distintas; las actividades creativo-formativas que enfatizan el proceso de aprendizaje, y las actividades creativo-formativas con énfasis en el resultado, en las primeras lo importante es la adquisición de conocimiento, en las segundas lo importante es la aplicación del conocimiento y la experiencia estética que resulta de la obra en sí misma, aunque los procesos implicados no son mutuamente excluyentes.

Como práctica escénica con énfasis en el proceso, podemos ubicar el video experimental “Liquid work” de Julieta Galindo Zavala y el performance “Agua” de Teresa Sánchez Cruz y Julieta Galindo Zavala, más adelante ahondaremos en ellas. Por otro lado la Práctica Escénica con énfasis en el resultado se puede ubicar la videodanza “Añoranza” creada por Guadalupe Hernández e Ian de la Cruz como parte de su examen final de carrera y en medio de una pandemia donde las funciones escénicas presenciales estaban prohibidas, como resultado del confinamiento ocasionado por SARS-Cov2.

### **a) Añoranza**

“Añoranza”, fue resultado del Examen General de Egreso de Licenciatura (EGEL) en su sección Práctica, requisito indispensable para la obtención de grado de Licenciatura en Danza. Esta obra surge de una inquietud personal relacionada con la escasez del agua que detona un proceso creativo, materializado a través de una forma de plegaria dancística, en una hibridación entre danza contemporánea y folclórica. Desde este abordaje resulta imprescindible subrayar dos aspectos; por un lado la relación sensible del ser humano con el medio ambiente, mediada por prácticas culturales específicas y por otro lado, reconocer los espacios educativos como potencializadores de las capacidades individuales con ayuda de las herramientas disciplinares, que se amalgaman en experiencias profesionalizantes como esta y que aportan un valor social indiscutible. Cito a Guadalupe Hernández en relación al contexto personal-cultural que detonó esta propuesta:

La mayor parte de mi vida ha transcurrido en el Valle del Mezquital, esta zona es semidesértica, motivo por el cual la carencia del agua ha sido constante... el agua ha sido motivo de súplicas y acercamiento a una divinidad. Existió un ritual dedicado a la petición del agua, el cual era realizado por muchas comunidades, que consistía en ir en peregrinación al cerro del Tothié con cántaros de barro para traer agua de un pozo, que cuida la serpiente sagrada, rindiendo así culto a los dioses viejos Hñähñu de la lluvia; este fue modificado como instrumento de evangelización, ahora tiene una connotación religiosa al que se le llama “El lavatorio”; que consiste en ir por agua a un cerro cercano para lavar la ropa de la Virgen de la comunidad de El Rosario, lugar al que pertenezco. Esta historia, al igual que la práctica, ha pasado de generación en generación resistiendo el desaparecer. Lo que busco es transmitir ese sentimiento de veneración y respeto hacia este elemento vital, pues hemos perdido esa conexión con la naturaleza. (En Hernández y de la Cruz, 2021, p. 18)

**Figura 5. Añoranza 2021. Dirección escénica e interpretación: Guadalupe Hernández e Ian de la Cruz.**



Fotografía: Nereida Hernández Cruz

Esta obra se compone de cuatro momentos; la “contextualización” que remite a un escenario de sequía en un peregrinar humano bajo un sol radiante y quemante; el segundo momento remite a la llegada a un lugar, que ofrece la esperanza del encuentro con el agua, que ante su ausencia incita la “petición”; el tercer momento corresponde al “ritual”, donde la energía de los movimientos se incrementa hasta llegar a un agotamiento tras no recibir el líquido vital; la obra finaliza con la “resignación” donde ocurre la desesperación, la agonía y el sufrimiento tras el entendimiento de que la petición no ha sido escuchada, el agua se ha agotado y la existencia humana llega a su fin (Hernández y de la Cruz, 2021, p. 27).

### **b) Liquid Work**

Por otro lado está entonces el video experimental “Liquid Work” una práctica escénica con énfasis en el proceso. Esta obra se realizó bajo la dirección creativa de Julieta Galindo Zavala, como resultado de un proceso de investigación-creación, que subrayó la importancia de una educación flexible, creativa y sensible al medio ambiente. Es así que durante la segunda mitad de 2021 ante la reconfiguración emergente de los procesos formativos en danza bajo un contexto de pandemia, y tras reconocer la importancia de las experiencias creativas en un momento en el que la interacción física quedó limitada, se realizó un laboratorio de movimiento creativo con un grupo de segundo semestre de la licenciatura en danza, en el que se trabajaron tres ejes: por un lado se realizó una exploración guiada a partir de la improvisación para el manejo consciente de las ocho acciones básicas de movimiento propuestas por Rudolf Laban (En Fernández, 2010), por otro lado se dieron pautas para repensar las posibilidades del espacio cotidiano<sup>30</sup> en función del movimiento y la danza, por último se abordaron planos cinematográficos de manera muy elemental,

---

30 Cada estudiante disponía de distintos espacios para su práctica dancística, todos ellos desde sus hogares. También se incentivó el uso de espacios alternativos como espacios naturales y/o públicos que estuvieran al alcance de los estudiantes y que no les implicarán un riesgo de contagio de SARS-Cov2.

lo que les permitió materializar sus ideas creativas de movimiento a partir del “ojo de la pantalla”. Dicho trabajo concluyó con la consigna “liquid work”<sup>31</sup>, donde los estudiantes debían hacer una interpretación en movimiento vinculada a una cualidad líquida y el agua misma, que fue materializada a partir de una danza en video dividida en tres fragmentos de un minuto cada uno.

**Figura 6. “Liquid work” Dirección escénica: Beatriz Julieta Galindo Zavala.**



Fotografía: Captura de pantalla: <https://youtu.be/nXq97xy6MXE?t=577>

Llegados a este punto es importante señalar que además de los objetivos educativos alcanzados en torno a la formación corporal y creativa, este trabajo también permitió reflexionar sobre la situación que indiscutiblemente la pandemia puso sobre la mesa, y que se ha mencionado ya anteriormente: el vínculo del ser humano con su entorno, la crisis ambiental y la necesidad urgente de establecer una relación respetuosa con nuestro planeta, en este sentido García-González (2020) señala que la crisis ambiental expuesta por la pandemia está relacionada con la relación antropocéntrica que hemos mantenido con la naturaleza, subrayando que este suceso mundial nos obligó a detenernos y reflexionar sobre lo que es verdaderamente importante.

Siguiendo los planteamientos de García-González (2020) señala que la crisis ecológica y de valores en la que estamos inmersos “demandan una nueva forma de relacionarnos con el entorno y la naturaleza, más bien [...] una re-conexión con esta” (p. 1501-3) logrando esto a través de un contacto continuo con los espacios naturales para impulsar efectivamente el aprendizaje, pues de acuerdo con su propuesta los espacios al aire libre impulsan cambios metodológicos e inspiran nuevos escenarios para propiciar aprendizajes significativos.

Regresando al trabajo de “Liquid work”, a través de éste los estudiantes tuvieron la posibilidad de repensar el espacio escénico, en un primer momento a partir de los espacios interiores, pues eran los espacios desde los que se establecía la conexión remota. Posteriormente con los trabajos de exploración individualizada, pudieron hacerlo en espacios al aire libre, esta flexibilidad permitió reconocer su medio ambiente como

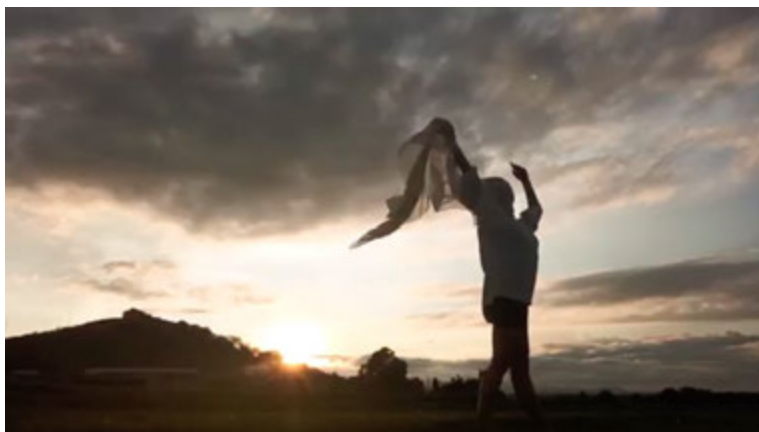
---

31 Esta consigna que dio nombre al trabajo final forma parte de la creación experimental “Baldessari” del Grupo de Investigación “Danza, Sociedad e Inclusión” donde cada integrante eligió un número del manuscrito *Assignments sheets* con 109 consignas que el artista John Baldessari escribió en 1970 como detonadores del trabajo creativo para sus estudiantes de artes visuales. La obra completa puede revisarse en el repositorio de youtube del Instituto de Artes: <https://youtu.be/nXq97xy6MXE>

espacio para la danza y por tanto reconfigurar la comprensión del espacio escénico convencional, entonces a partir de las herramientas creativas y el impulso hacia el uso de los entornos naturales, muchos trabajos se materializan en espacios cercanos a los lugares de origen de cada intérprete, logrando grabaciones en plazas públicas y espacios naturales en Hidalgo, por ejemplo el caso de Jannia Ríos: “inicialmente quise utilizar agua, pero no me fue posible, así que recurrí a movimientos fluidos que pudiesen escenificar el agua [...] utilizando estos espacios naturales para conectar con la naturaleza y los sonidos que se pudieran captar”<sup>32</sup>, otro caso es el de Danna Recillas, quien aprovechó las herramientas creativas para darle un sentido vinculado al medio ambiente:

Mi interpretación fue basada en una cascada [...] al inicio me costó bastante porque quería entender completamente el concepto, pero después me dejé llevar desde un punto de vista relativo y aprovechar al máximo los temas vistos... el clima y locación de grabación me ayudó a encontrar más referentes a mis ideales y poder expresarlos mejor.

**Imagen 7. “Liquid work” por Danna Recillas**



**Imagen 8. “Liquid work” por Jannia Ríos**



---

32 Al finalizar el proceso creativo de “Liquid work”, se les compartió a los estudiantes un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas donde podían reflexionar sobre la experiencia vivida. Este cuestionario forma parte del archivo documental de la investigadora Beatriz Julieta Galindo Zavala.

### c) Performance “Agua”

El performance “Agua” corresponde a una práctica escénica con énfasis en el proceso. Este trabajo tuvo la dirección creativa de la maestra Teresa Sánchez Cruz y la maestra Julieta Galindo Zavala, a partir de vincular los contenidos de dos asignaturas (Exploración Creativa y Danza Contemporánea) con un mismo grupo para lograr transversalidad en el proceso de aprendizaje. Este trabajo tuvo dos objetivos, por un lado la sensibilización medioambiental y del recurso hídrico con las bailarinas-estudiantes<sup>33</sup> que participaron, por otro lado una invitación para la reflexión dirigida hacia los posibles espectadores, pues el trabajo fue hecho para presentarse como preludio a la conferencia: “Representaciones tradicionales y contemporáneas del agua en la danza” dentro del Coloquio Agua para la vida en la Feria Universitaria del Libro de la UAEH.

El proceso de construcción tuvo varios momentos. Un primer momento de diagnóstico donde se consideraron los objetivos educativos de cada asignatura, las habilidades de las estudiantes, el objetivo del trabajo creativo y el de sensibilización medio ambiental. Posteriormente se realizó el trabajo de investigación de movimiento, en este momento se usaron distintas herramientas creativas: entre ellas el uso del espacio, el tiempo, el diálogo con otras desde el movimiento, la sensibilidad perceptiva de los objetos (telas y plumas) y con el espacio físico (haciendo uso de espacios alternativos para la danza), además de la presencia escénica, y las cualidades de movimiento vinculadas a las distintas formas de materialización del agua.

A partir de las exploraciones creativas, se realizaron composiciones flexibles, donde lo más importante era el trabajo creativo y sensible de las bailarinas, en este sentido y como lo apunta Gómez-Peña (2005) el performance en un territorio de libertades, búsqueda y posicionamiento político, donde el cuerpo “y no el escenario, es nuestro verdadero sitio para la creación [...] el centro absoluto de nuestro universo simbólico” (p. 204)

El performance “agua” tuvo dos momentos, una parte introductoria donde las bailarinas podían establecer una conexión interna y externa (entre ellas, con el objeto y con el espacio), el segundo momento donde las manifestaciones del agua se hicieron presentes (río, lluvia, lago, hielo, nubes, tormenta), en una suerte de diálogo dancístico bajo un sentido ritual.

Cabe señalar que el trabajo se enriqueció gracias a la colaboración de los investigadores Cynthia Jeannette Pérez Antúnez y Ricardo Campos Castro y colaboradores del Cuerpo Académico de Música del Instituto de Artes, estos últimos bajo la guía de la investigadora Rosalía Trejo León. Esta experiencia fue significativa, pues además de que algunos ensayos se realizaron en los espacios abiertos de Instituto de Artes que permitieron a las bailarinas enriquecer su movimiento por la experiencia kinética del entorno natural (sentir la textura de la tierra, el pasto, las piedras, el roce del viento, la brisa de la lluvia, mirar el paisaje montañoso que rodea al Instituto) también gracias a la sonorización se dio un incentivo a su interpretación al “dar sonido” a las manifestaciones del agua. Así también se logró una resignificación de la ejecución a partir de elementos que fueron tomados de danzas tradicionales; como el “chicoteo” de telas asemejando los truenos de una tormenta, tomado de la Danza de la Culebra (mencionada en la primera parte de este trabajo), o el manejo técnico específico en el movimiento de las telas que usa en diversos tipos de danzas del vientre, para dar una cualidad de líquida, ofreciendo herramientas específicas a las bailarinas para el manejo creativo de las telas.

---

33 El grupo de segundo semestre de la Licenciatura en Danza estuvo conformado por 12 bailarinas y 1 bailarín: David Bautista, Zaira Delgadillo, Carolina Guerrerto, Aranza Islas, Daniela Laguna, Fernanda Martínez, Vanessa Mijares, Melany Morales, América Osorno, Zoe Pedraza, Zurey Sarabia, Vanessa Uribe y Michelle Vera.

**Imagen 9: Performance “Agua”. Presentado el 2 de septiembre de 2022 en el Instituto de Artes de la UAEH.**



Fotografía: Miguel Ángel García.

Este trabajo aún sigue en proceso, fue presentado también en la Semana Internacional de las Artes 2022 como intervención escénica dirigida por la maestra Teresa Sánchez en el Bosque Hiloche de Mineral del Monte, bajo la temática de Danza y sustentabilidad, de la cual han surgido reflexiones importantes en torno a la relación sensible del ser humano con el medio ambiente, el compromiso que se debe asumir en los espacios educativos, y el potencial que tienen las artes como territorios de investigación-creación detonadores de cambios sociales y políticos.

### **Consideraciones finales**

La danza aporta un sinfín de riquezas al entendimiento del mundo, sus procesos y sus heterogéneos contextos. A través de sus herramientas corporales, técnicas, estéticas, sensibles y reflexivas, hace aportes significativos a la epistemología de las temáticas y problemáticas a las que se aboca, además de que propicia cruces en los procesos personales y comunitarios de las personas a las que llega, ya sea desde el rol de público o como colaboradores partícipes de lo performativo.

La investigación y la creación nos dan la oportunidad de hacer danza reflexiva, la cual propicia la exploración y el entendimiento, la colaboración e involucramiento, así como la metamorfosis de nuestras



REALIDADES. Así, en plural y en mayúsculas porque la multiplicidad de realidades es lo que cada vez más define a nuestras sociedades contemporáneas, ya sean rurales o urbanas, pasadas o presentes, todas en sus crecientes complejidades.

Abordar el agua esta vez nos dio la oportunidad de reflexionar desde la investigación y creación dancísticas sobre el cambio climático y algunos problemas a él asociados. Pero a la par de ello nos ha posibilitado plantearnos cuestionamientos alrededor de qué es lo contemporáneo, qué es la tradición y qué son los rituales. Pareciera que estos conceptos por sí mismos se contraponen en sus diferencias, pero desde las prácticas dancísticas definitivamente se imbrican.

Intentaremos responder a estas preguntas corporal y reflexivamente en otro momento. Por lo pronto seguiremos explorando las posibilidades que la danza nos brinda para conocer, involucrarnos y proponer transformaciones en relación con el agua para la vida.

## Referencias:

- Braudel, F. (1979) *Civilización material, economía y capitalismo, siglos XV-XVIII*, Tomo I, *Estructuras de lo cotidiano: lo posible y lo imposible*. Madrid: Alianza Editorial.
- Broda, Joahna (2016) “El agua en la cosmovisión de Mesoamérica” en Martínez & Murillo *Agua en la Cosmovisión de los Pueblos Indígenas en México*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Centella, V. O. (2015). El artivismo como acción estratégica de nuevas narrativas artístico-políticas. *Calle 14 revista de investigación en el campo del arte*, 10(15), 100-111.
- Croda León, Rubén (coord.) (2005) *Entre los hombres y las deidades. Las danzas del Totonacapan*, CONACULTA, México
- Delgado, M. (2013). Artivismo y pospolítica. Sobre la estetización de las luchas sociales en contextos urbanos. *Quaderns-e de l'Institut Català d'Antropologia*, 2013, vol. 18, num. 2, p. 68-80.
- Fernández, Rodrigo (2006) La eukinéctica: contenidos y un acercamiento a su relación con la interpretación y la coreografía. En Fernández, R., Nuñez, r. y Cifuentes, M. *Eukinéctica. Profundizando las cualidades de movimiento*. Salvat
- Galicia López, Isabel (2009) *El relato simbólico en la Danza de Tejoneros*, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México
- Galindo Z., B. J. y Ramírez R., C. (2022) La experiencia escénica en la formación dancística profesional. En *Una mirada a la profesionalización de la danza*. UAEH-Paso de Gato. pp. 57-66
- García-González, E. (2020) ¡Urgente, urgente! Re-naturalicemos la escuela en tiempos de pandemia. *Revista de Educación Ambiental y Sostenibilidad* 2(1), 1501. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7497281>
- Gómez-Peña (2005) En defensa del arte del performance. *Horizontes antropológicos*. Porto Alegre 11(24) pp.199-226. <https://www.scielo.br/j/ha/a/X4xg9p4zVqFMdSC6q8Xvcfy/?format=pdf&lang=es>
- Hernández, G. y de la Cruz, I. (2021) Añoranza. Creación escénica. Reporte de Investigación del Examen Práctico EGEL. Licenciatura en Danza UAEH.
- Mompradé, Electra; Gutiérrez, Tonatiuh (1981) *Historia General del Arte Mexicano*, tomo I, Editorial Hermes, México
- Payri, B. (2020). La videodanza como arte de edición del cuerpo. *Revista SOBRE*, 6, 57-74.



- Ramírez, Maira (2003) “La danza de los urraqueros (ve`me): Ritual de petición de lluvias” En Jáuregui, Jesús; Neurath, Johannes (coords.) Flechadores de estrellas. Nuevas aportaciones a la etnología de Coras y Huicholes,
- Silva-Elías, T., Menés-González, R., Borlot-Faure, A. Palma-Ferrera, C.L. (2020) La danza y sus condiciones teórico-prácticas para cultivar el medio ambiente en el contexto universitario. Vo. 8 num 1 Revista Maestro y sociedad. <https://maestroysociedad.uo.edu.cu/index.php/MyS/article/view/5343>
- Tortajada, M. (2001). *Frutos de mujer. Las mujeres en la danza escénica*. Cenedi Danza/INBA/CONACULTA.
- UNESCO (2021) Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. El valor del agua. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378890/PDF/378890spa.pdf.multi>
- Virginia Carrillo, C., Carrillo, M. y Pena, M. (2017) Poéticas del agua. Entre la experiencia estética y la conciencia ambiental Revista Iberoamericana de Tecnología y Sociedad. 12(35). pp. 243-259. <http://ojs.revistacts.net/index.php/CTS/article/view/30>

*Agua para la vida,*  
se diseñó en formato electrónico en la  
Dirección de Ediciones y Publicaciones, de la Universidad Autónoma  
del Estado de Hidalgo, en el mes de junio de 2023.  
Cuidado editorial: Joselito Medina Marín.