



Evaluación de la calidad hídrica en la subcuenca alta del río Lerma, Estado de México
Assessment of water quality in the upper Lerma river subbasin, State of Mexico

César Humberto Anchante-Saravia, Benjamín Zamudio-González*, Salvador Alejandro Sánchez-Tovar, Antonio Vázquez-Alarcón, Alondra Natividad Narcizo-Rico, Eduardo Salazar-Madero

*Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, km. 4.5 Carretera Toluca-Zitácuaro, Vialidad Adolfo López Mateos, Colonia los Ángeles, Municipio de Zinacantepec, 51350, Estado de México, México. Teléfono celular: 72 2510 4220. Correo-e (*e-mail*):
bzamudiog@yahoo.com.mx

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia / *Corresponding author*

Recibido / *Received*: Octubre / *October* 05, 2025

Aceptado / *Accepted*: Noviembre / *November* 01, 2025

Publicado / *Published*: Junio 30, 2026 (Número 2, Julio-Diciembre) / *June 30, 2026 (Number 2, July-December)*

Resumen

La cuenca del río Lerma inicia en el Municipio de Almoloya del Río en el Estado de México y termina en el Lago de Chapala en Jalisco. Dentro de este trayecto se encuentra la cuenca alta del río Lerma en el Estado de México desde Almoloya del Río hasta Temascalcingo. Dicha cuenca se subdivide en tres subcuencas: Alta, media y baja. Durante las últimas décadas la zona ha estado siendo altamente contaminada, principalmente por las descargas directas del sector urbano, agrícola, pecuario e industrial, lo que conlleva la vulnerabilidad de los sistemas acuáticos, la salud pública y la autosuficiencia de alimentos sanos. Bajo estas circunstancias, la presente investigación tiene como propósito constatar la calidad del agua de la subcuenca alta según parámetros permisibles de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-2021, para caracterizar los riesgos ambientales que se producen debido a la concentración de diversos contaminantes provenientes de descargas residuales. En cuanto a la metodología, se realizaron tres colectas de agua a lo largo de la zona de estudio en temporada de lluvia y temporada de estiaje. Las muestras de agua se analizaron en el laboratorio de calidad de agua de la Universidad Autónoma Chapingo y la empresa NALCO en apego a las metodologías requeridas con relación a la normatividad. Los resultados evidenciaron concentraciones de metales pesados, DQO, DBO, aceites y grasas, las cuales superan los límites máximos permisibles de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Los resultados aquí encontrados permiten abordar estrategias y diseños para mitigar los daños por contaminación; entre las cuales se propone un sistema combinado de reactor anaerobio y humedal para poblaciones menores a 2500 habitantes, disminuyendo así los gastos de energía de las plantas de tratamiento a gran escala en conglomerados poblacionales a lo largo de la cuenca tales como Valle de Toluca, Ixtlahuaca, Atlacomulco y Temascalcingo.

Palabras clave: Alto río Lerma, calidad del agua, metales pesados, parámetros fisicoquímicos

Abstract

The Lerma river basin begins in the municipality of Almoloya del Río in the State of Mexico and ends at Lake Chapala in Jalisco. Within this stretch lies the upper Lerma river basin in the State of Mexico, extending from Almoloya del Río to Temascalcingo. This basin is subdivided into three sub-basins: Upper, middle, and lower. Over the past few decades, the area has been heavily polluted, primarily due to direct discharges from residential, agricultural, livestock, and industrial sectors, which has compromised the vulnerability of aquatic systems, public health, and the self-sufficiency of healthy food. Under these circumstances, the purpose of this research is to assess the water quality of the Upper Sub-Basin according to permissible parameters set forth in NOM-001-SEMARNAT-2021 to characterize the environmental risks arising from the concentration of various pollutants originating from wastewater discharges. Regarding the methodology, three water collections were conducted throughout the study area during the rainy season and the dry season. The water samples were analyzed at the water quality laboratory of the Autonomous University of Chapingo and the company NALCO in accordance with the methodologies required by the regulations. The results showed concentrations of heavy metals, COD, BOD, oils, and fats that exceed the maximum permissible limits set by NOM-001-SEMARNAT-2021. The findings presented here provide a basis for developing strategies and designs to mitigate pollution-related damage; among these, a combined anaerobic reactor and wetland system is proposed for

communities with fewer than 2,500 residents, to reduce energy costs at large-scale treatment plants serving population centers throughout the watershed, such as the Toluca Valley, Ixtlahuaca, Atlacomulco, and Temascalcingo.

Keywords: *Upper Lerma River, water quality, heavy metals, physicochemical parameters*

Introducción

En diversas partes del mundo la gestión y gobernanza hídrica es una problemática que conlleva la contaminación de cuerpos de agua. Cabe destacar que el agua es de vital importancia, debido a que abastece del recurso a las diferentes actividades antropogénicas tales como la urbana, agrícola e industrial (Anchante-Saravia, 2021). México tiene diferentes tipos de cuencas debido a su geografía; siendo una de las más importantes la del río Lerma, ubicada en la Región Hidrográfica Lerma-Santiago-Pacífico. Dentro de la cuenca alta del río Lerma en el Estado de México se ubica su subcuenca alta. Esta zona de estudio abarca los municipios de Almoloya del Río donde inicia el río Lerma en la Laguna Chignahuapan hasta llegar a los límites de Santiago Tianguistenco y Lerma. La subcuenca concentra una intensa actividad poblacional, agrícola e industrial. Asimismo, dentro del área de estudio se evidencian algunos rastros municipales que contaminan los cuerpos de agua con sangre y grasas, así como excretas líquidas y sólidas; lo cual contribuye al incremento de la concentración de diversos contaminantes (Vázquez-Alarcón et al., 2006), principalmente, en cuerpos de agua.

En este sentido existe la NOM-001-SEMARNAT-2021 que establece los límites permisibles de contaminantes en descargas de aguas residuales en cuerpos receptores y bienes nacionales (DOF, 2022a). Por ello, el objetivo del presente estudio se centra en analizar la calidad del agua en la zona de estudio colectando muestras de agua en temporada de lluvia y de estiaje en el periodo 2024-2025. Con ello, se pretende diagnosticar el estado actual de la subcuenca alta del río Lerma en el Estado de México para establecer propuestas de solución. De esta manera, el aprovechamiento del recurso hídrico en todos los sectores adopta un modelo de uso equitativo, resiliente y sustentable.

Área de estudio

Cuenca del río Lerma

En México, los ríos y arroyos constituyen una red hidrográfica con una extensión longitudinal aproximada de 663 mil km. En tal sentido, una red hidrográfica está compuesta por diversas cuencas; existen 37 regiones hidrológicas, las cuales se agrupan en 13 regiones hidrológico-administrativas, según lo manifiesta el Atlas del Agua en México (CONAGUA, 2022) y las Estadísticas del Agua en México de 2023 (CONAGUA, 2024). La Cuenca del Río Lerma (CRL) pertenece a la región hidrológico-administrativa VIII Lerma Santiago Pacífico; las características principales son: Área de 48,132 km², con una longitud de 708 km y un escurrimiento natural de medio superficial de 4,637 hm³/año (CONAGUA, 2023). De esta manera, la CRL es una de las vertientes interiores más importantes y contaminadas del territorio nacional. Dicha cuenca recorre cinco estados: Estado de México, donde nace el río Lerma en la Laguna de Chignahuapan ubicada entre los municipios de Almoloya del Río y Texcalyacac; recorre los estados de Querétaro; Michoacán; Guanajuato y Jalisco hasta su desembocadura en el Lago de Chapala (Figura 1). Durante su trayecto a través de dichos estados, se dan diferentes factores meteorológicos tales como: Diferente altura sobre el nivel del mar (presión atmosférica), diferencias en precipitación anual, acción de los vientos y efectos del río sobre la erosión del suelo. En zonas como las Ciénegas del Lerma cercanas a la ciudad de Toluca en el Estado de México, la velocidad del río se ralentiza y se da la deposición de sedimentos orgánicos y su descomposición anaerobia con la producción de gases de efecto invernadero (de metano -CH₄- y de ácido sulfhídrico -H₂S- corrosivo, tóxico y muy maloliente). En dichos estados también se ha dado un considerable crecimiento de la población, lo que ha generado un incremento constante en las principales actividades humanas: Doméstica, agrícola e industrial, lo que conlleva el aumento por la demanda del recurso hídrico, recordando que todo los procesos, productivos o agrícolas, requieren el uso del recurso hídrico.

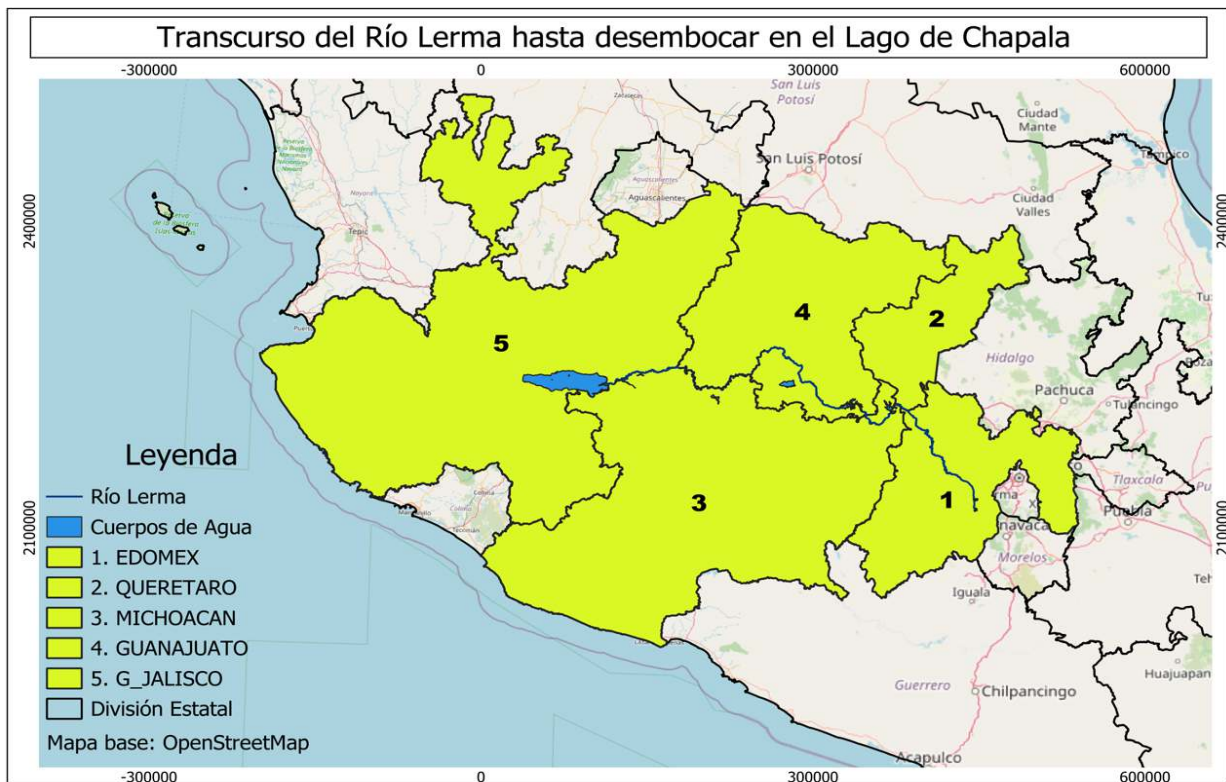


Figura 1. Mapa del transcurso de la cuenca del río Lerma atravesando los estados de: Estado de México, Querétaro, Michoacán, Guanajuato y Jalisco

En consecuencia, la demanda por el recurso hídrico va en constante aumento, debido a la expansión poblacional, agrícola e industrial (GEM, 2018). Asimismo, otros factores fundamentales son la pavimentación de calles, la industria inmobiliaria, la contaminación y deforestación, que son fundamentales para impedir la recarga natural del agua (Anchante-Saravia, 2021). Aunado a ello, la falta de políticas públicas y la ineficiente gestión del recurso hídrico revelan que los análisis realizados y las referencias disponibles, desde el origen del agua del río Lerma, indican concentraciones de contaminantes elevadas. Por este motivo, el punto de partida de esta investigación se centra en la cuenca alta del río Lerma (CARL) perteneciente al Estado de México.

Cuenca alta del río Lerma en el Estado de México

La CARL, según la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM, 2023) en su Atlas de las Cuencas Hidrológicas del Estado de México 2023, tipifica elementos meteorológicos como precipitación, humedad y temperatura. En la primera reporta una precipitación media anual entre 800 y 1000 mm, superior al promedio nacional que se encuentra entre 770 y 780 mm. Asimismo, la CARL es considerada dentro de sus características hidrológicas como un sistema lótico (Andrade-Servín e Israde-Alcántara, 2023).

Esto se debe principalmente a la ubicación donde predomina el binomio de montaña y valles. Asimismo, domina un clima templado con humedad alta (CAEM, 2023) (Figura 2).

De esta manera, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), a través del Diario Oficial de la Federación (DOF, 2023) da a conocer el acuerdo que actualiza la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales de las 757 cuencas hidrológicas que comprenden las 37 regiones que se encuentra dividido en los Estados Unidos Mexicanos, como ya se dijo antes.

Administrativamente, la CARL está dividida en tres subcuencas: Alta, media y baja, en el Estado de México. Dichas subcuencas están conformadas por 30 municipios partiendo desde Almoloya del Río hasta los límites de Temascalcingo con el Estado de Querétaro (Tabla 1).

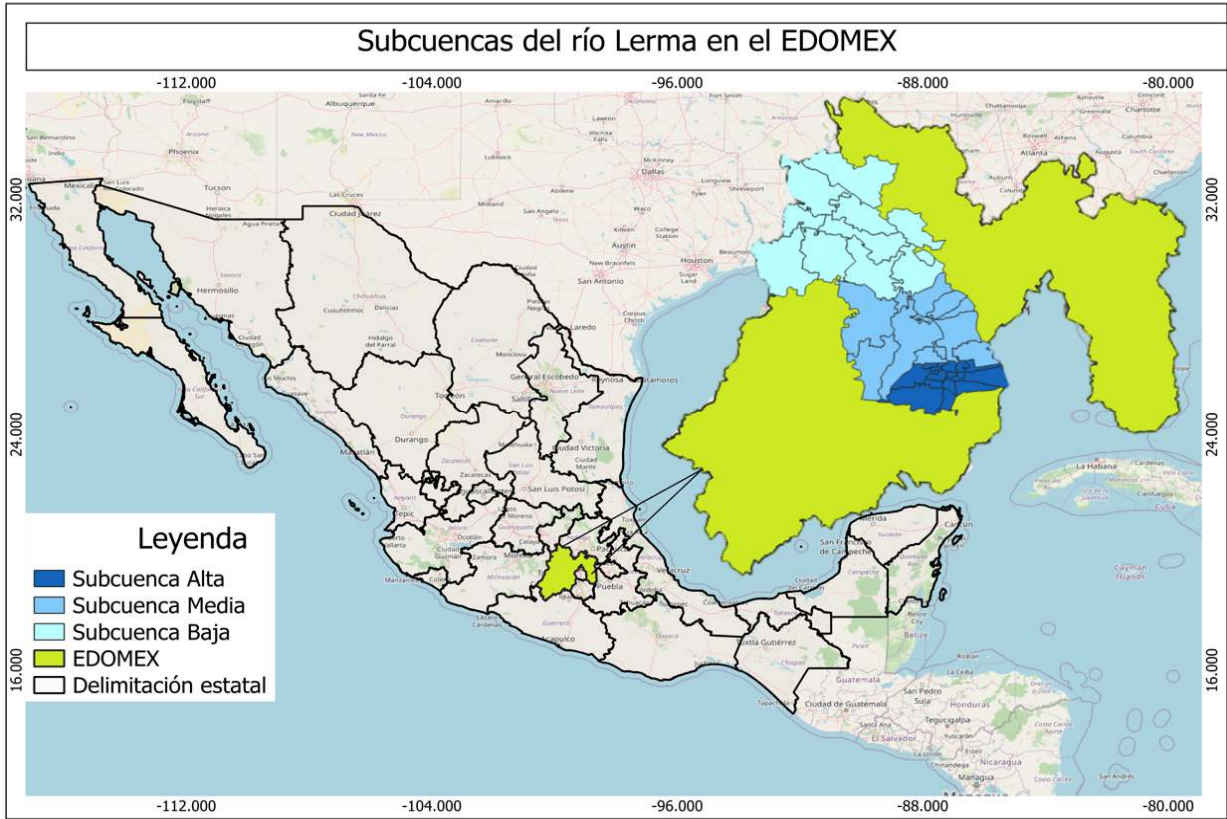


Figura 2. Ubicación geográfica de las tres subcuencas del alto río Lerma, Estado de México

Tabla 1. Municipios pertenecientes a las tres subcuencas: Alta, media y baja (CAEM, 2023)

Subcuenca	Municipios
Alta	Almoloya del Río, Calimaya, Chapultepec, Capulhuac, Joquicingo, Mexicaltzingo, Santa María Rayón, San Antonio la Isla, Santa Cruz Atizapán, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco, Xalatlaco
Media	Almoloya de Juárez, Lerma, Metepec, Ocoyoacac, Otzolotepec, San Mateo Atenco, Temoaya, Toluca, Xonacatlán, Zinacantepec
Baja	Atlacomulco, El Oro, Ixtlahuaca, Jiquipilco, Jocotitlán, San Felipe del Progreso, San José del Rincón y Temascalcingo

Las tres subcuencas presentan distintos niveles de contaminación. Por ello, lo más impactante es evidenciar la contaminación desde el origen del río Lerma donde se evidencia una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR) en el Municipio de Texcalyacac, la cual debería tratar aguas domésticas. Sin embargo, se encuentra clausurada; siendo de esta manera que el agua residual proveniente de dicho municipio va directo a la Laguna de Chignahuapan en el Municipio de Almoloya del Río. La contaminación en la subcuenca alta del río Lerma en el Estado de México proviene principalmente del conjunto de actividades de los 13 municipios que la conforman, enviando todas sus descargas al cuerpo de agua más cercano al río Lerma.

Subcuenca alta del río Lerma en el Estado de México

Los municipios que conforman la subcuenca alta del río Lerma en el Estado de México (Tabla 2), tienen como actividades económicas principales (INEGI-IGCEM, 2024): Primarias, compuestas

principalmente por agricultura (avena forrajera, maíz, manzana, aguacate), minería, ganadería y aprovechamiento forestal; secundarias, que están conformadas por las industrias (automotriz y textilerías), y terciarias por los servicios, tales como: Mercados, tianguis, artesanías y rastros municipales. La concentración de estas actividades conlleva la contaminación del río Lerma desde su origen en Almoloya del Río.

Tabla 2. Principales actividades económicas de municipios pertenecientes a la subcuenca alta del río Lerma en el Estado de México (INEGI-IGCEM, 2024)

Municipios	Actividad primaria	Actividad secundaria	Actividad terciaria
Almoloya del Río	✓	✓	✓
Calimaya	✓	✓	✓
Capulhuac	✓	*	✓
Chapultepec	✓	*	✓
Joquicingo	✓	*	✓
Mexicaltzingo	✓	*	✓
San Antonio la Isla	✓	*	✓
Santa Cruz Atizapán	✓	✓	✓
Santa María Rayón	✓	*	✓
Tenango del Valle	✓	*	✓
Texcalyacac	✓	*	✓
Tianguistenco	✓	✓	✓
Xalatlaco	✓	*	✓

* No se realiza esta actividad

La descarga directa de aguas residuales provenientes de estas actividades económicas a los cuerpos de agua limita el uso del recurso hídrico (De-la-Peña et al., 2013). En tal sentido, los impactos ambientales obedecen al incremento constante de los sectores productivos (Vargas-Rojas, 2024). La diversidad de las actividades económicas en la Tabla 2 demuestra la variedad de contaminantes metálicos que descargan en la subcuenca alta del río Lerma a partir de los municipios que lo conforman; cada vez en mayor proporción. En ese sentido, Moreira y Alcivar (2023) indican que este tipo de aguas contienen contaminantes provenientes de la agricultura por el uso excesivo de agroquímicos. Por su parte, Guzmán-Gorrochotegui (2017), menciona que la presencia de metales pesados en algún cuerpo de agua es principalmente por fuentes antropogénicas, como: Productos químicos agrícolas, actividades mineras, fundición, combustión, derivados de petróleo, industria metalúrgica, aguas residuales domésticas e industriales.

Metodología

Colecta de agua en la subcuenca alta del río Lerma

La zona de estudio es de suma importancia, ya que en la laguna de Chignahuapan nace el río Lerma, en la subcuenca alta del río Lerma. Por ello, la colecta se realizó *in situ* en tres municipios: Atizapán, Texcalyacac y Tianguistenco (Figura 3). Para ello se utilizaron botellas de color ámbar de un litro, dicho recipiente garantiza un transporte de calidad, confiabilidad y trazabilidad con respecto del agua colectada para realizar los análisis fisicoquímicos en laboratorios especializados (Zapata-Restrepo, 2025).

Lo anterior se realizó debido a los criterios hidrológicos y antrópicos de la zona de estudio; además, a la accesibilidad para la recolección de agua al borde del río Lerma. Para diagnosticar de manera precisa la calidad del agua, las muestras colectadas fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) y en la empresa NALCO Water and Ecolab Company. Dichas colectas se realizaron en el trayecto del río Lerma en temporada de lluvias en 2024 y de estiaje en 2025, con el propósito de constatar las posibles variaciones de los contaminantes en las dos temporadas.

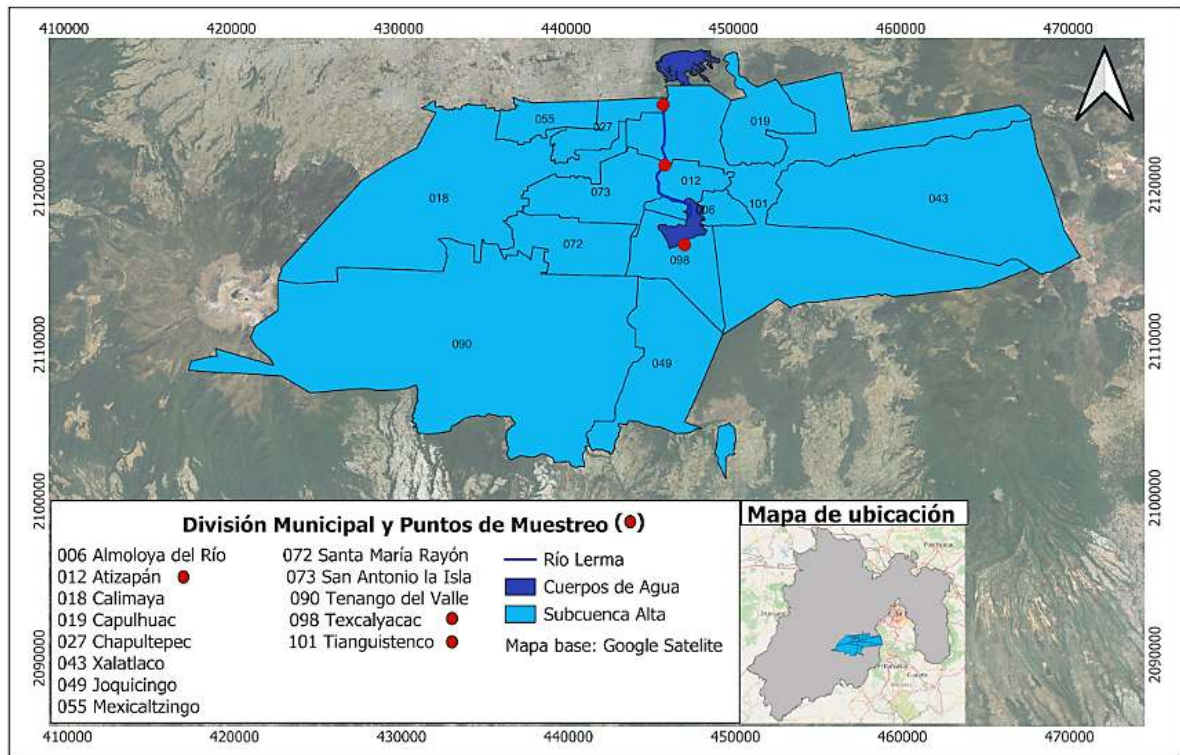


Figura 3. Puntos de colecta de agua en la subcuenca alta del río Lerma, Estado de México

Resultados y discusión

Análisis de calidad del agua en la subcuenca alta del río Lerma

Los resultados obtenidos de los análisis de calidad del agua deben cumplir con la NOM-001-SEMARNAT-2021 para poder aprovechar su uso en los diversos sectores, principalmente, el agrícola (Arriaga-Vázquez et al., 2020; Zamudio-González et al., 2023). Sin embargo, debido a las diversas actividades antes comentadas de los municipios que la conforman, esta zona atraviesa importantes desafíos en la disponibilidad y calidad del agua.

Sin embargo, los resultados de los análisis obtenidos de la colecta de agua para metales pesados (Tabla 3) no muestran ningún indicio relevante con respecto de la contaminación que rebasa los valores que se regulan según la NOM-001-SEMARNAT-2021. De la Tabla 3, cabe resaltar que los análisis para Zn y Cu durante las dos temporadas y en los tres puntos donde se tomó la colecta de agua registraron concentraciones por debajo de los límites permisibles respecto con la NOM-001-SEMARNAT-2021. Es por ello que en las siguientes Figuras (4 a 6) se muestran los resultados obtenidos para cada punto de muestreo.

Tabla 3. Análisis de calidad del agua respecto a metales pesados en tres colectas en la subcuenca alta del río Lerma

Parámetros (mg/L)	Temporada de lluvia 2024			Temporada de estiaje 2025			NOM-001
	Texcalyacac	Atizapán	Santiago	Texcalyacac	Atizapán	Santiago	
Zn	0.000	0.013	0.000	0.014	0.009	0.002	< 10
Cu	0.000	0.000	0.000	0.003	0.008	0.010	< 4
Mn	0.034	0.139	0.000	0.002	0.001	0.002	< 0.15 ^a
Fe	0.114	0.436	0.018	0.008	0.023	0.010	< 0.30 ^a
Cd	0.003	0.006	0.006	0.009	0.011	0.010	< 0.01
Pb	0.000	0.000	0.000	0.008	0.004	0.005	< 0.2

Nota: Análisis realizado en el laboratorio de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH); ^aNOM-127-SSA1-2021 (DOF, 2022b)

No obstante, se debe resaltar que dichas cantidades pueden incrementarse con respecto del nivel de contaminantes que producen las actividades antropogénicas, obteniendo valores críticos para la salud. En tal sentido, aunque cumplen con la normatividad, se debe dar seguimiento a estos principales contaminantes. En Texcalyacac (Figura 4) se visualiza que en la temporada de lluvias destacan concentraciones de Mn y Fe, mientras que en estiaje aparecen niveles de Cd y Pb. El Cd se aproxima al límite máximo permisible de 0.01 mg/L en temporada de estiaje. Fe y Mn no sobrepasan la normatividad. Sin embargo, la presencia de Pb en temporada de estiaje es preocupante debido a que el maíz puede bioacumular metales pesados y, por ende, poner en riesgo alimentario a los consumidores (Munive et al., 2018).

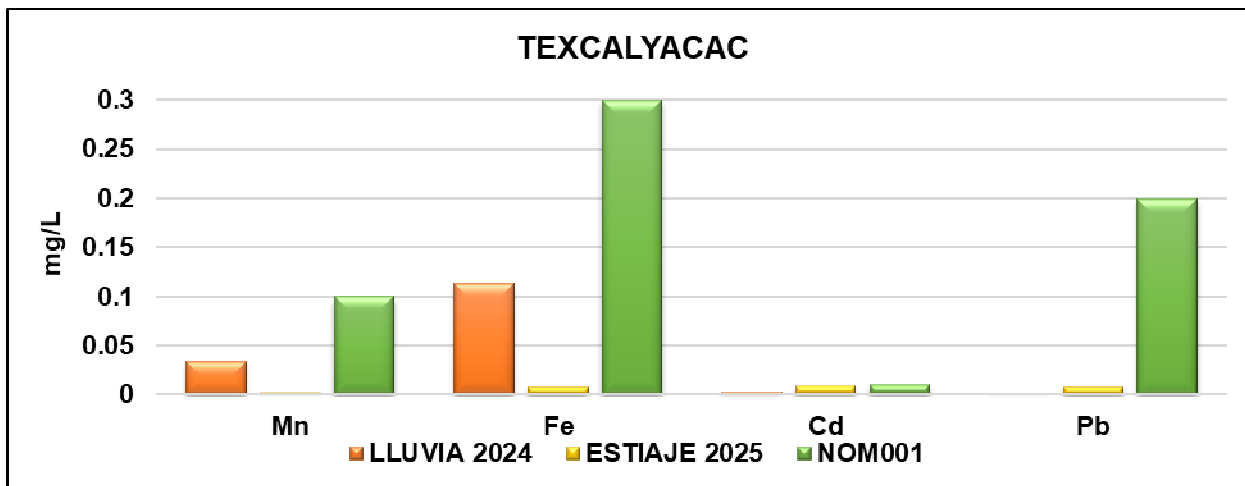


Figura 4. Comparativo de concentración en muestra de agua en Texcalyacac con respecto de la NOM-001-SEMARNAT-2021

Por otra parte, en la Figura 5 se muestra al municipio de Atizapán, segundo punto de la colecta de agua, se evidencia que en temporada de lluvias registró la mayor concentración de Fe, superando los límites permitidos por la normativa. El Mn también rebasa el límite recomendado. En estiaje, el Cd superó lo establecido por la NOM-001, mientras que el Pb, Zn y Cu reflejan concentraciones por debajo de lo establecido. Se confirma la presencia de descargas urbanas e industriales sin control adecuado, considerando a esta zona la más contaminada.

Por último, en la Figura 6, el tercer punto de colecta de agua fue en Tianguistenco; en la temporada de lluvias se presentaron menores concentraciones de metales, salvo el Cd. En estiaje, destaca la presencia simultánea de Cu, Cd y Pb. El Cd alcanza el límite de la NOM-001-SEMARNAT-2021. Aunque otros parámetros se mantienen bajo los límites permisibles, su acumulación progresiva es riesgosa para los diferentes sectores que se aprovechen del recurso hídrico.

Otros parámetros de suma importancia para la calidad del agua, se visualizan en la Tabla 4. Cabe resaltar que la NOM-001-SEMARNAT-2021 sufrió algunos cambios en su actualización en la que ya no se considera la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y los sólidos suspendidos totales (SST). Sin embargo, se tomaron en cuenta para el análisis correspondiente.

Estos datos destacan la actualización de la NOM-001-SEMARNAT-2021, de 1996 a 2021. Ha tenido algunos cambios, principalmente, la eliminación del parámetro DBO que mide la cantidad de materia orgánica biodegradable en algún cuerpo de agua, siendo un indicador necesario para evidenciar el grado de contaminación. De esta manera, la Gobernanza Hídrica se estaría viendo afectada al retirar un parámetro tan importante para un análisis correspondiente a los diferentes sectores que drenan sus aguas residuales a los cuerpos de agua. De los datos obtenidos en la Tabla 4, el único parámetro que cumple la normatividad es el valor de pH, por lo que no se evidenciará en las Figuras (7 a 9). De

esta manera, se puede constatar que Texcalyacac (Figura 7) mostró valores elevados de DQO y DBO, ambos superiores a los límites permisibles según la normativa, respectivamente.⁹ Asimismo, el nitrógeno total también excedió el valor permitido. Por otra parte, el pH, SST, SDT, grasas y aceites se encuentran dentro de los intervalos aceptables según la NOM-001-SEMARNAT-2021.

Tabla 4. Análisis fisicoquímicos de calidad el agua en temporada de estiaje (2025) en tres colectas en la subcuenca alta del río Lerma

Parámetros (mg/L)	Texcalyacac	Atizapán	Santiago		NOM-001
Valor de pH (sin unidades)	7.2	7.1	7.1	6 – 9	Aceptable
NT, nitrógeno total	65.0	72.0	81.0	<25	No aceptable
DQO, demanda química de oxígeno	1622.0	2153.0	8825.0	<150	No aceptable
DBO, demanda bioquímica de oxígeno	621.0	830.0	975.0	<150 ^b	No aceptable
SST, sólidos suspendidos totales	103.0	78.0	97.0	<60	No aceptable
SDT, sólidos disueltos totales	967.0	1064.0	1312.0	<1000 ^c	No aceptable
Grasas y aceites	15.2	40.5	51.5	<15	No aceptable

Nota: análisis realizado en la empresa NALCO WATER ECOLAB COMPANY

^bNOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 2018)

^cNOM-127-SSA1-2021(DOF, 2022b)

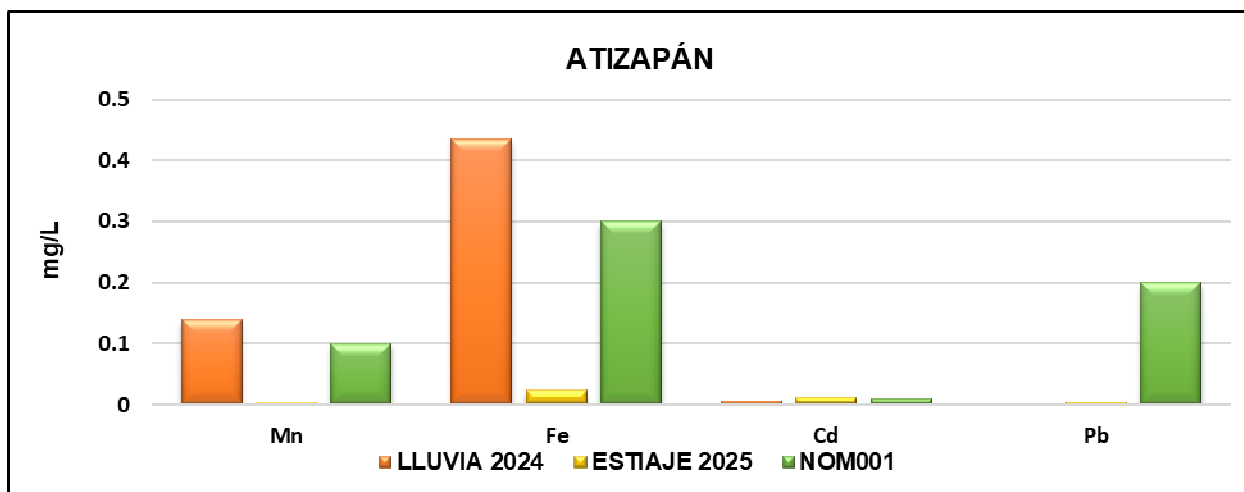


Figura 5. Comparación de las concentraciones de metales en muestras de agua tomadas en Atizapán con respecto de la NOM-001-SEMARNAT-2021

En la Figura 8, se visualiza el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en Atizapán. Los niveles de DQO, DBO y nitrógeno total rebasan los límites establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-2021. Destaca también la concentración de grasas y aceites, muy superior al límite contemplado por la normatividad. El valor de pH, de SST y de SDT se encuentra en intervalos aceptables.

Por último, en la zona de Tlanguistenco se presentan condiciones más críticas: DQO y DBO exceden de manera muy significativa los límites permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-2021 (Figura 9). El nitrógeno total también está por encima del límite. Por otra parte, los SDT rebasan ligeramente el

⁹ En efecto, la relación DBO/DQO es muy importante ya que define la biodegradabilidad de los contaminantes presentes en el agua y las aguas residuales: $0 < \text{DBO}/\text{DQO} < 1.0$ haciendo necesario el uso de métodos químicos en vez de bioquímicos cuando se acerca a cero [Nota de los(as) editores(as)]

valor de la normatividad. El valor de pH y los SST, así como las grasas y aceites, se encontraron dentro de los intervalos normativos.

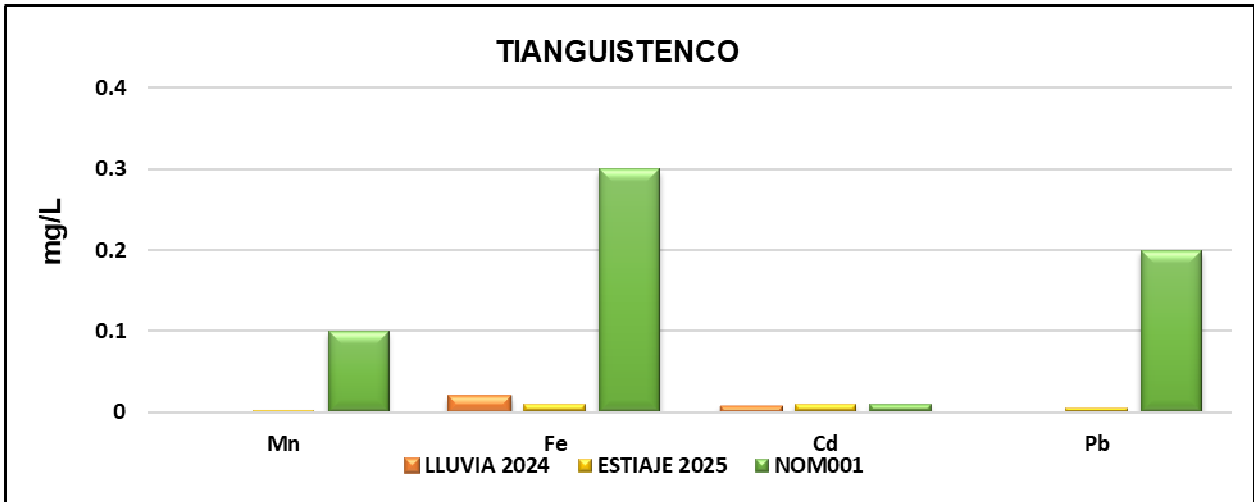


Figura 6. Comparativo de concentración en muestras de agua en Tlanguistenco con respecto de la NOM-001-SEMARNAT-2021

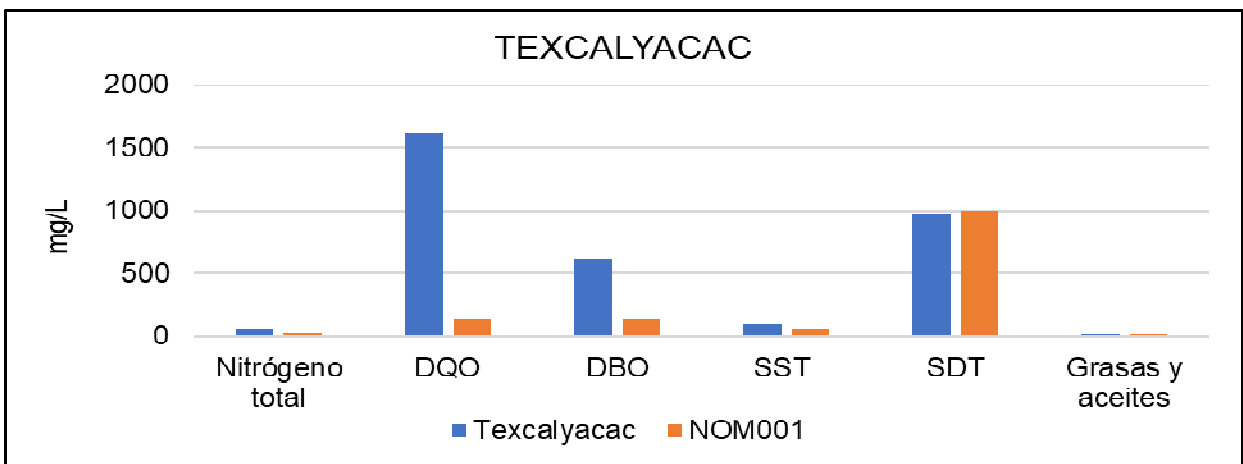


Figura 7. Parámetros fisicoquímicos en la zona de Texcalyacac respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021

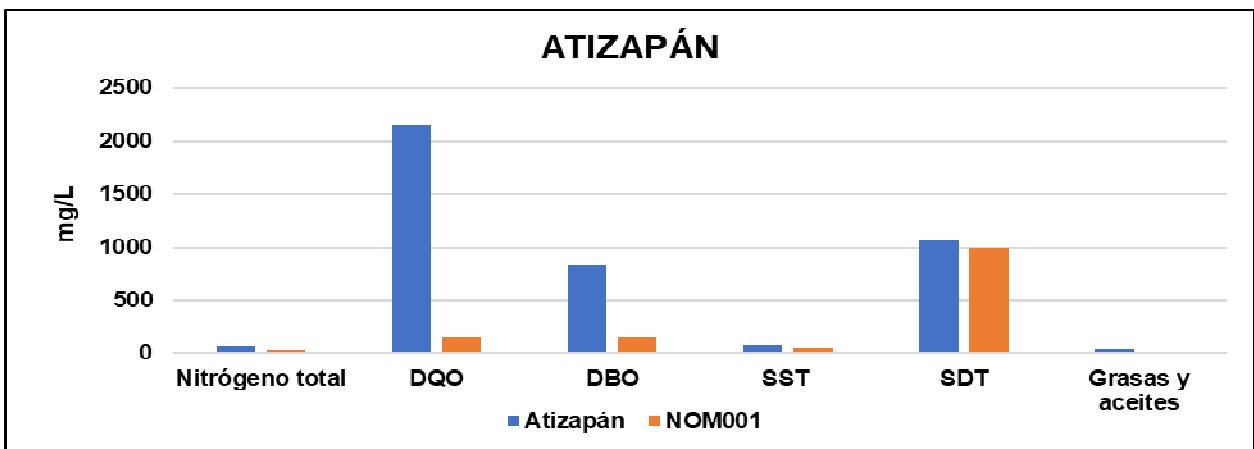


Figura 8. Parámetros fisicoquímicos en la zona de Atizapán respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021

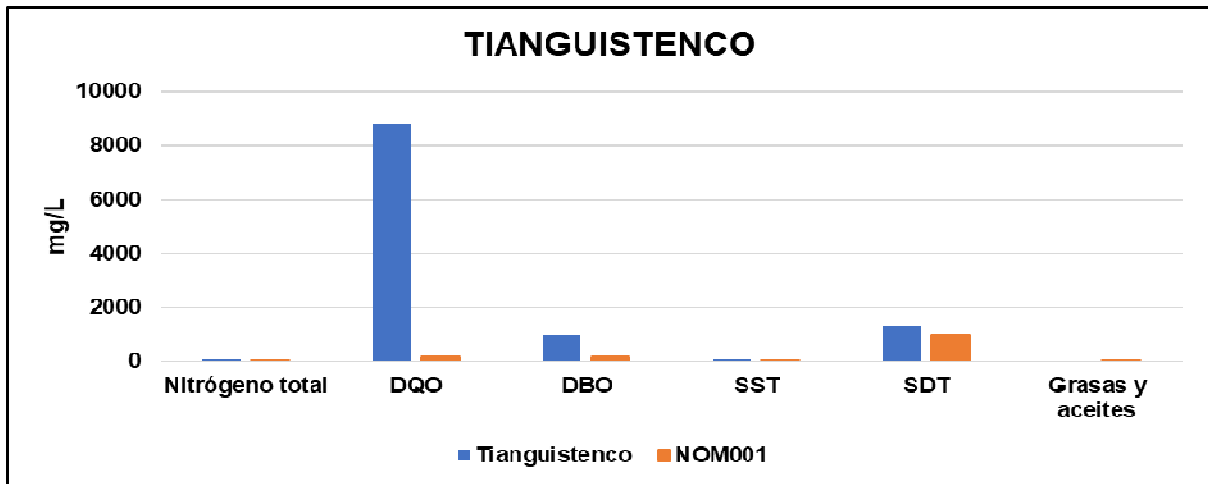


Figura 9. Parámetros fisicoquímicos en la zona de Tianguistenco respecto a la NOM-001-SEMARNAT-2021

En ese sentido, la comparación entre la temporada de lluvia y la de estiaje para la presencia de metales pesados es contrastante. Esto es debido, evidentemente, a la precipitación pluvial y al efecto consecuente de dilución; es un factor fundamental para bajar dichas concentraciones de contaminantes como Zn, Cu, Cd y Pb. Sin embargo, aumenta las concentraciones del Mn y Fe. Los contaminantes que se aprecian en la Tabla 4 están por debajo de la NOM-001-SEMARNAT-2021, pero la presencia de estos componentes cada vez va en aumento; además, el uso indiscriminado del agua del río Lerma por parte de la agricultura para sus cultivos hace que estos metales pesados (Tablas 3, 4) formen parte de las hortalizas, verduras y frutas (ONU-Hábitat. 2021).

Los datos mostrados en la Tabla 4 (DBO y DQO) evidencian que los principales contaminantes presentes en las aguas analizadas son de naturaleza degradable y biodegradable, manifestándose que son sustancias de origen municipal. Esos datos reflejan la necesidad de un tratamiento del agua residual municipal, tratamiento que debe ser de naturaleza biológica para así cumplir con la normatividad citada y hacer un uso seguro del agua. La ganadería también se ve afectada, el tradicional pastoreo de ganado que se alimenta de pastos crecidos en los bordes del río Lerma, inclusive, estos animales pasan nadando por el río para trasladarse a otro punto o para beber dicha agua. De esa manera, los derivados de la venta de estos animales son de consumo humano y están contaminándose con estos contaminantes y metales pesados cada vez en mayor concentración. La mayor parte del riego en las milpas se realiza por el aprovechamiento de un cuerpo de agua cercano; en el Estado de México es el río Lerma.

Es pertinente puntualizar que, en la actualidad, el uso de aguas residuales tratadas o no es una práctica común en la agricultura. En el trayecto de la cuenca alta del río Lerma se encuentra la Planta Tratadora RECICLAGUA, la cual trata agua residual industrial de 185 empresas procesando 0.4 m³/s (Reciclagua Ambiental, 2024). Sin embargo, no es suficiente para frenar la contaminación hídrica del río Lerma. Las evaluaciones actuales indican que, en un periodo de 30 años, las concentraciones de metales pesados en diferentes puntos del río Lerma desde su nacimiento hasta su desembocadura han ido variando dependiendo del curso de la subcuenca alta, media y baja del alto río Lerma (Coria-Téllez et al., 2025).

Desde esta perspectiva se trazan diversas propuestas de solución, tales como plantear diseños de plantas de tratamiento de agua residual con tecnología eficiente y autosustentable, como la integración al efluente de las plantas de tratamiento los sistemas compuestos por reactor anaerobio-humedal para poblaciones menores a 2500 habitantes (Sánchez-Tovar, 2023; Vidal-Álvarez, 2018;

Zhungo-Carpio y Baquedano-Rivera, 2025) ya que con ello se reduce la concentración de estos indicadores que estarán por debajo de lo permisible según la actualizada NOM-001-SEMARNAT-2021.

Conclusiones

La gobernanza del agua en la subcuenca alta del río Lerma concierne a la gestión de la distribución de los volúmenes a los diversos sectores económicos y sociales, así como a su calidad. En periodos de sequías, en cuanto a que los cuerpos de agua como presas reducen sus volúmenes, sobrevienen a las crisis de escasez de disponibilidad de agua que agrava la sobreexplotación del manto freático. La alternativa es reciclar el agua cumpliendo las normas de seguridad por contaminantes disueltos. En este estudio se concluyó que existen en el agua de la cuenca alta del río Lerma concentraciones críticas de contaminantes de DBO, DQO, SST, SDT, N, grasas y aceites, así como la presencia de metales pesados. Estos indicadores afectan la salud del ambiente, de los organismos (flora y fauna), así como del ser humano.

Glosario

Siglas o términos	Significado
CAEM	Comisión de Agua del Estado de México
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CARL	Cuenca Alta del Río Lerma, México
DOF	Diario Oficial de la Federación, México
GEM	Gobierno del Estado de México
IGECEM	Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, México
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
Relación DBO/DQO	Es un indicador de la biodegradabilidad de los contaminantes, medido a partir de estas dos variables. Y, mientras menor es la DBO con respecto de la DQO menos biodegradables son y el uso de sistemas bioquímicos no funciona de manera efectiva para eliminarlos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México
UACH	Universidad Autónoma Chapingo, México

Reconocimientos

La autora y los autores agradecen los comentarios de los(as) revisores anónimos ya que mejoraron el contenido de esta contribución. Cualquier error es responsabilidad de ella y ellos.

Referencias

- Anchante-Saravia, C.H. 2021. La sobreexplotación del Acuífero del Valle de Toluca y su gestión. Análisis desde el enfoque de redes de política pública. Tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales. UAEMéx, Facultad de Química. Toluca, México.
- Andrade-Servín, A.G., Israde-Alcántara, I. 2023. Riqueza y distribución de las diatomeas epilíticas indicadoras de contaminación en el río Angulo afluente del río Lerma, México. *Hidrobiológica*. 31(1):43-52. <https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v31n1/0188-8897-hbio-31-01-43.pdf>
- Arriaga-Vázquez, A.M., Martínez-Ménez, M.R., Rubiños-Panta, J.E., Fernández-Reynoso, D.S., Delgadillo-Martínez, J., Vázquez-Alarcón, A. 2020. Propiedades químicas y biológicas de los suelos en milpa intercalada con árboles frutales. *Terra Latinoamericana*. 38: 465-474. DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.599>
- CAEM. 2023. Atlas de las Cuencas Hidrológicas del Estado de México 2023. Gobierno del Estado de México y Comisión de Agua en el Estado de México. Primera Edición, pp. 68.
- CONAGUA. 2022. Atlas del Agua en México. Numeragua 2022. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html
- CONAGUA. 2023. Atlas del Agua en México. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html
- CONAGUA. 2024. Estadísticas del agua en México 2023. https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/port_publicaciones.html
- Coria-Téllez, A.V., Ríos-Pérez, D., Kumar-Tiwari, D., Merino-Solís, M.L. 2025. Contaminación de sedimentos de un meandro del río Lerma, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 16(4):181-224. <https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/3735/2783>

- De-la-Peña, M.E., Ducci, J., Zamora-Plascencia, V. 2013. Tratamientos de aguas residuales en México. Banco Interamericano de Desarrollo. Nota Técnica.
https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2018/02/Tratamiento_de_aguas_residuales_en_Mexico2013.pdf
- DOF. 2018. Proyecto de modificación de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales para quedar como proyecto de modificación de la Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación.
<https://www.comapaaltamira.gob.mx/transp/leyes/101.NOM-001-SEMARNAT-1996.pdf>
- DOF. 2022a. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. Diario Oficial de la Federación. Marzo 11, 2022. Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estados Unidos Mexicanos.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab
- DOF. 2022b. NOM-127-SSA1-2021. Que establece el agua para uso y consumo humano, límites permisibles de la calidad del agua. Ciudad de México: Diario Oficial de la Federación. Subsecretario de Fomento y Normatividad Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Estados Unidos Mexicanos.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5650705&fecha=02/05/2022#gsc.tab=0
- DOF. 2023. 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 encuentran divididos los Estados Unidos Mexicanos. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5712948&fecha=28/12/2023#gsc.tab=0
- GEM. 2018. Comisión del Agua del Estado de México: Programa Hídrico Integral del Estado de México 2017-2023. Consejo Editorial de la Administración Pública Estatal. Gobierno del Estado de México.
<https://caem.edomex.gob.mx/sites/caem.edomex.gob.mx/files/files/AcercaCAEM/PHIEM1.pdf>
- Guzmán-Gorrochotegui, E.R. 2017. Evaluación de la contaminación del agua en las descargas de la laguna de Chimaliapan, Lerma, Estado de México. Tesis de Doctorado. Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México. México.
https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/2631/1/MCIA_Tesis%20G10_ERICK%20RODRIGO%20GUZMA%cc%81N%20GORROCHOTEGUI.pdf
- INEGI-IGECEM. 2024. Índice Económico: Agenda Estadística Básica del Estado de México. Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, 2024.
https://igecem.edomex.gob.mx/indole_economica
- Moreira, N., Alcivar, R. 2023. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Montecristi, Manabí, Ecuador.
<https://montecristi.gob.ec/pdot-vigente/>
- Munive, R., Loli, O., Azabache, A., Gamarra, G. 2018. Fitorremediación con maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*. 9(4): 551-560.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- ONU-Hábitat. 2021. Comprender las dimensiones del problema del agua. https://onu-habitat.org/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua?fb_comment_id=1919706488040991_2396617700349865
- Reciclagua Ambiental. 2024. Instalaciones y equipos complementarios. https://reciclagua.edomex.gob.mx/instalaciones_y_equipos
- Sánchez-Tovar, S.A. 2023. Sistema combinado anaerobio-humedal de tratamiento de aguas residuales para comunidades de Michoacán, México. *Revista Ambiens Techné et Scientia México*. 11(1):43-71. <https://atsmexico.org/atsm/article/view/153>
- Vargas-Rojas, A.M. 2024. Análisis de los impactos ambientales de las actividades socioeconómicas en la calera: Hacia una gestión responsable y sostenible del recurso hídrico. Fundación Universidad de América, Repositorio Institucional Lumieres. <https://repository.uamerica.edu.co/items/dfa45218-6de6-4685-9fe1-449596e03bb6>
- Vázquez-Alarcón, A., Cajuste, J., Carrillo-González, R., Zamudio-González, B., Álvarez-Sánchez, E., Castellanos-Ramos, J. 2006. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del Mezquital, Hidalgo. *Terra Latinoamericana*. 23(4):447-455.
- Vidal-Álvarez, M. 2018. Tratamiento de aguas residuales en México: Problemáticas de salud pública y oportunidad de uso de ecotecnologías sustentables / *Wastewater treatment in Mexico: Public health problems and opportunity to use sustainable ecotechnologies*. RINDERESU. 3(1-2): 41-58. <https://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/32>
- Zamudio-González, B., Soria-Ruiz, J., Sotelo-Ruiz, E., Inurreta-Aguirre, H.D., De-la-O-Olán, M., Bahena-Juárez, F., González-Albarrán, M., Cárdenas-Marcelo, A.L., Saravia-Tasayco, P., Martínez-Gutiérrez, A., Tadeo-Robledo, M., Espinoza-Calderón, A. 2023. Tecnología racional y rentable para la producción de maíz en el Estado de México. Pub. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. ISBN:978-607-37-1540-9.
https://www.researchgate.net/publication/377080283_Tecnologia_racional_y_rentable_para_la_produccion_de_maiz_en_el_estado_de_mexico_SECRETARIA_DE_AGRICULTURA_Y_DESARROLLO_RURAL
- Zapata-Restrepo, L.N. 2025. Diseño de un sistema sostenible de reutilización de botellas ámbar para el proceso de toma de muestras en hidrocarburos refinados en la estación Puente Aranda de la Empresa Cenit.
<https://hdl.handle.net/10882/15578>
- Zhungo-Carpio, J.P., Baquedano-Rivera, P.R. 2025. Impacto ambiental de la expansión urbana no planificada en los recursos hídricos del Cantón Santo Domingo: Un análisis crítico. *Revista Científica de Salud y Desarrollo Humano*. 6(1):1600-1617.
<https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v6i1.542>