



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4

DINÁMICA DE LA GENERACIÓN Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA SUBCUENCA DEL RÍO ZAHUAPAN

**DYNAMICS OF WASTEWATER GENERATION AND
DISPOSAL IN THE ZAHUAPAN RIVER SUB-BASIN**

José Eduardo Chamizo Aguilar
Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Silvia Chamizo Checa
Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Amado Enrique Navarro Frómata
Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros

Raúl Juárez Mendieta
Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Juan Suárez Sánchez
Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Rafael Valencia-Quintana
Universidad Autónoma de Tlaxcala.

Dinámica de la generación y disposición de aguas residuales en la subcuenca del río Zahuapan

José Eduardo Chamizo Aguilar¹

chamizo.aguilar@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-4196-2819>

Maestría en Ciencias en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Facultad de Agrobiología. Universidad Autónoma de Tlaxcala. México.

Silvia Chamizo Checa

silchamiz@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8750-6615>

Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala México

Amado Enrique Navarro Frómeta

aguanet18@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-4827-0670>

Programa Educativo de Tecnología de Alimentos y Medio Ambiente. Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros. Calle de la Reforma 168, Campestre la Paz, Izúcar de Matamoros, Puebla. México. México

Raúl Juárez Mendieta

raul.juarezmendieta@uatx.mx

<https://orcid.org/0000-0003-3075-8851>

Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Agrobiología. Universidad Autónoma de Tlaxcala. México

Juan Suárez Sánchez

juan.suarez.s@uatx.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9127-7413>

Facultad de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala México

Rafael Valencia-Quintana

prvq2004@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-3396-7694>

Licenciatura en Biología, Facultad de Agrobiología. Universidad Autónoma de Tlaxcala México

RESUMEN

En este trabajo se determinó la cantidad de aguas residuales generadas en la Subcuenca del río Zahuapan en el 2020, procedentes de los municipios que la integran, tanto de origen doméstico como industrial, así como su disposición final. La cantidad de efluentes domésticos se determinó multiplicando el número de habitantes por la generación per cápita anual. Para estimar la generación de aguas residuales de origen industrial, se elaboró un listado de empresas y del volumen de agua concesionada de las bases de datos del Registro Público de Derechos de agua (REPDa) y se consideraron pérdidas del 30% durante el proceso de producción y el resto se cuantificó como aguas residuales. Finalmente, se determinaron los volúmenes de agua captada en sistemas de tratamiento y se identificaron las vías de descarga final. Los resultados muestran que la subcuenca estuvo habitada en 2020 por 818,658 y se produjeron 56.8 millones de metros cúbicos (Mm³) al año de aguas residuales domésticas, de las cuales se trató únicamente el 61% de los efluentes en las 21 plantas de tratamiento que operan en la zona. Por otra parte, la cantidad anual estimada de aguas residuales industriales fue de 15.99 Mm³, de las cuales se trató el 41.3% (6.6 Mm³). Ante estas condiciones, resulta necesario implementar sistemas de tratamiento biológico en viviendas e incentivar a los sectores productivos para que traten sus aguas residuales.

Palabras clave: efluentes domésticos; vertidos industriales; sistemas de tratamiento; cuerpos de agua.

¹ Autor principal

Correspondencia: chamizo.aguilar@gmail.com

Dynamics of wastewater generation and disposal in the Zahuapan River sub-basin

ABSTRACT

This study determined the amount of wastewater generated in the Zahuapan River Sub-basin in 2020 from the municipalities located within it, considering both domestic and industrial sources, as well as its final disposal. The volume of domestic wastewater was estimated to multiply the number of inhabitants by the annual per capita wastewater generation rate. To estimate industrial wastewater generation, a database of industries and their water concession volumes was compiled from the Public Registry of Water Rights (REPDa). A 30% loss was assumed during the production process, and the remaining volume was quantified as wastewater. Finally, the volumes of wastewater collected by treatment systems were determined, and the final discharge pathways were identified. The results show that the sub-basin had a population of 818,658 in 2020 and generated 56.8 million cubic meters (Mm³) of domestic wastewater per year, of which only 61% was treated by the 21 wastewater treatment plants operating in the area. In contrast, the estimated annual volume of industrial wastewater was 15.99 Mm³, of which 41.3% (6.6 Mm³) was treated. Under these conditions, it is necessary to implement biological treatment systems in households and to encourage productive sectors to treat their wastewater.

Keywords: domestic wastewater; industrial discharges; treatment systems; water bodies.

Artículo recibido 20 mayo 2026

Aceptado para publicación: 20 junio 2026



I. INTRODUCCIÓN

La urbanización, el acelerado desarrollo industrial y el aumento de la población, han ejercido presión sobre los recursos hídricos y las instalaciones sanitarias, convirtiendo la generación de aguas residuales en un grave problema ambiental (Khabirul, 2023). En las últimas décadas se ha hecho común visualizar cuerpos de agua superficiales con contaminación severa, debido a su utilización como receptores de vertimientos hídricos sin tratamiento previo (Saénz-Arias *et al.*, 2023). La contaminación del agua se produce al incorporar materiales de manera directa o indirecta, lo que afecta su calidad y limita sus usos. El vertido de aguas residuales a la naturaleza sin previo tratamiento provoca múltiples daños a los ecosistemas (Cely-Calixto *et al.*, 2022). El manejo incorrecto de aguas residuales municipales, industriales y otros tipos como el drenaje agrícola y las escorrentías pluviales, contaminan el recurso hídrico. Esto produce efectos nocivos para la salud humana, reduce la producción económica y degrada los ecosistemas acuáticos (Domínguez-Montero *et al.*, 2024).

Las aguas residuales domésticas se dividen en dos categorías: aguas negras y grises. Las primeras contienen concentraciones elevadas de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Las aguas grises provienen de fuentes distintas al inodoro, como son el lavabo, la regadera y la lavadora. Por otra parte, las aguas residuales industriales incluyen contaminantes procedentes de diversas industrias, como la industria de pulpa y papel, plásticos, metales, cuero, textiles, confección y cerámica, entre otras. Estos efluentes contienen en general metales pesados, compuestos orgánicos y sustancias químicas tóxicas (Khabirul, 2023).

La cobertura de captación de agua residual municipal e industrial, en México, se ha monitoreado y reportado anualmente desde 1998, así como el volumen de agua residual tratada. En el 2020 el agua residual municipal tratada se ha incrementado a más del 300 %, pasando de 46 m³/s en el 2000 a 145 m³/s en el 2020. Por otra parte, el caudal tratado de agua industrial se ha incrementado de 25 m³/s a 72 m³/s. La cobertura de agua industrial tratada fue solo el 32 % del caudal generado en 2020 (Martín y Ramírez, 2024). Por su parte, CONAGUA (2022) reportó la generación de 280.29 m³/s de agua residual municipal, de los cuales se colectaron 215.47 m³/s y se trataron 145.34 m³/s, que es el 51.8 % del total de agua residual generada y el 65.7 % del agua colectada.

La degradación en ambientes anaeróbicos, de la materia orgánica contenida en las aguas residuales genera emisiones de metano que contribuyen entre el 5% y el 8% de las emisiones antropogénicas globales (Bolan *et al.*, 2024). Los países en vías de desarrollo presentan bajos porcentajes de agua residual tratada, debido principalmente a razones económicas, a la escasa exigencia de las autoridades ambientales y al desconocimiento de las tecnologías empleadas en este tipo de procesos, como los sistemas de captura de biogás (Gómez et al., 2021).

La contaminación del agua va en aumento, lo que afecta el cumplimiento de los objetivos para el desarrollo sostenible (ODS), sobre lograr el acceso universal y equitativo del agua potable (ODS 6), adoptar medidas para abatir el cambio climático (ODS 13) y, conservar y restablecer los ecosistemas de agua dulce y los servicios que proporcionan (ODS 15) (Naciones Unidas, 2026).

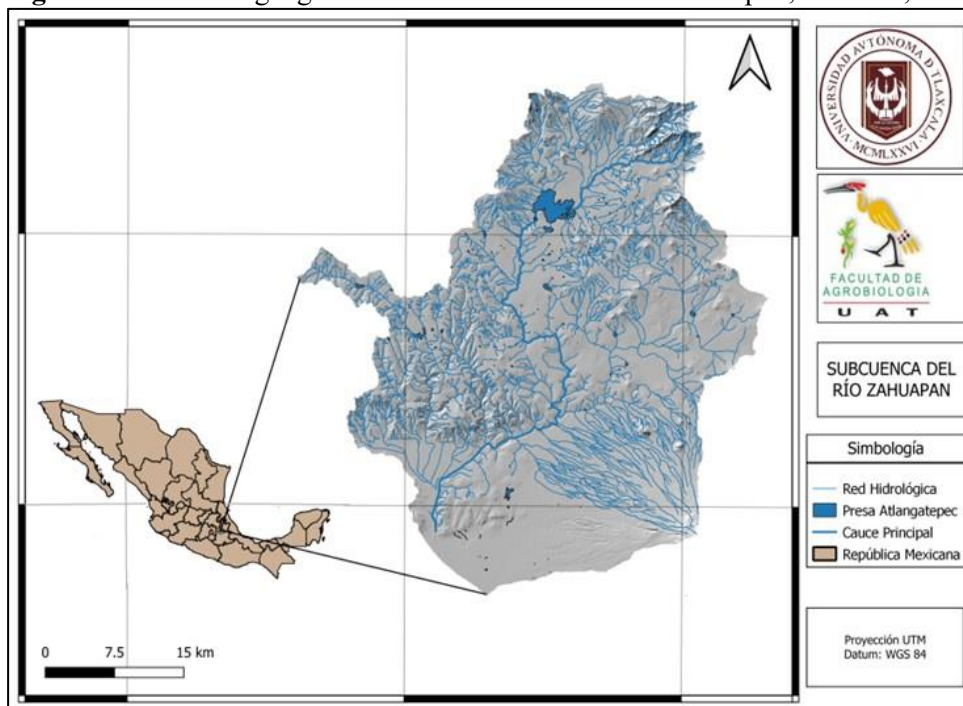
En esta investigación se pretende generar información relevante de la generación de aguas residuales en la subcuenca del río Zahuapan, tanto de origen doméstico como industrial, que sirva como base para estimar las emisiones de metano derivadas de su tratamiento y disposición final, así como la implementación de sistemas de recuperación de energía, a través de la captación de metano y su reutilización en otras actividades, para mitigar el abatimiento de los acuíferos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Características de la subcuenca del Río Zahuapan

La subcuenca se localiza en la porción central del Estado de Tlaxcala, entre los paralelos 19° 10' y 19° 35' de latitud norte y los meridianos 97° 58' y 98° 21' de longitud oeste, y cubre una superficie de 1,632.7 km² (Figura 1). Se encuentra ubicada dentro de la cuenca alta del Río Atoyac y cubre el 40.21% de la superficie del estado de Tlaxcala, drenando las aguas del centro y del sur de la entidad hacia el Río Atoyac, que se convierte en el Río Balsas y, finalmente, vierte sus aguas al Océano Pacífico (Hernández, 2021). El cuerpo de agua más extenso es la Laguna de Atlangatepec y el cauce principal es el Río Zahuapan, donde confluyen volúmenes considerables de aguas residuales de origen urbano e industrial en el Estado (Mena et al., 2017).

Figura 1. Ubicación geográfica de la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México



La Subcuenca del Río Zahuapan comprende geopolíticamente total o parcialmente los municipios de Tlaxco, Atlangatepec, Tetla de La Solidaridad, Terrenate, Tocatlán, Xaloztoc, Muñoz de Domingo Arenas, San Lucas Tecopilco, Xaltocan, Huamantla, Santa Apolonia, Nativitas, Tetlatlahuca, San Jerónimo Zacualpan, San Damián Texoloc, Santa Catarina Ayometla, Santa Cruz Quilehtla, San Lorenzo Axocomanitla, Tepeyanco, San Juan Huactzingo, Santa Isabel Xiloxoxtla, Xicohtzinco, San Pablo del Monte, Tenancingo, Mazatecochco de José María Morelos Acuananala de Miguel Hidalgo, Teolocholco, San Francisco Tetlanohcan, La Magdalena Tlaltelulco, Tlaxcala, Panotla, Papalotla de Xicohténcatl, Totolac, Amaxac de Guerrero, Santa Cruz Tlaxcala, Yauhquemehcan, Apizaco, Coaxomulco, Tzompantepec, San José Teacalco, y Zacatelco (Tabla 1) (INEGI, 2020).

2.2. Determinación de la generación de aguas residuales domésticas en 2020.

Para calcular la cantidad anual de aguas residuales domésticas generadas en la subcuenca del río Zahuapan, se utilizó la ecuación 1, que integra parámetros relacionados con el número de habitantes por municipio y la generación per cápita anual de aguas residuales en el estado de Tlaxcala. Para delimitar las localidades ubicadas dentro de la zona de estudio de los municipios que integran parcialmente la subcuenca, se procesaron mapas vectoriales de las áreas geoestadísticas municipales del portal de la CONABIO y el shape de la subcuenca en la plataforma de QGIS Desktop 3.28.9 (QGIS Project, 2022).

Posteriormente, se consultó la sección de datos abiertos y sistemas de consulta de la página web del INEGI, que reporta bases de datos en hojas de cálculo en Excel del Censo de Población y Vivienda 2020 por localidad (INEGI, 2020). La generación per cápita anual de aguas residuales se determinó con información de las estadísticas del agua en México para el 2021, que reportó volúmenes de agua residual de 8840 Mm³ año⁻¹, para una población de 126 millones de habitantes (70.13 m³ hab⁻¹ año⁻¹) (CONAGUA, 2024).

$$AR\ dom = Hab * Gen. \text{ anual per cápita } AR \quad \text{Ecuación 1.}$$

Dónde:

AR dom: Aguas residuales domésticas (Mm³ año⁻¹)

Hab: Número de habitantes (personas)

Gen. Anual per cápita AR: Generación anual per cápita de aguas residuales (Mm³ persona⁻¹)

2.2.1. Descripción de las vías de disposición final de aguas residuales domésticas

Los volúmenes de agua residual doméstica canalizada a los sistemas de tratamiento fueron proporcionados por la Delegación de la Conagua en Tlaxcala. El listado contiene información del caudal tratado, las tecnologías de procesamiento y el destino final de los efluentes (Tabla 1). El caudal vertido en la presa de Atlangatepec se determinó cuantificando la población del Municipio de Tlaxco que vierte sus efluentes sin tratar, aguas arriba, en el cauce del Río Zahuapan. El resto de agua contaminada es vertida a barrancas y cauces que también confluyen en esta corriente principal de la cuenca.

Tabla 1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas en operación en 2020, en la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México.

No.	MUNICIPIO	PROCESO	CAUDAL TRATADO (l s ⁻¹)
1	Tetla de la Solidaridad	Lagunas facultativas	48.17
2	Tlaxco	Laguna facultativa + maduración	4.94
3	Tetlatlahuca	RAFA + Humedales	1.4
4	Atlangatepec	RAFA + Humedales	3.5
5	Hueyotlipan	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	1.03
6	Atlangatepec	Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)	0.7

7	Atlangatepec	Filtro percolador	0.42
8	Tetla de la Solidaridad	Lagunas facultativas + maduración	2.23
9	Tetla de la Solidaridad	Lagunas facultativas	5.25
10	Xaltocan	Tanque séptico	1.5
11	Yauhquemehcan	Lodos activados	15
12	Tetlatlahuca	RAFA + humedales	0.35
13	Apetatitlán	Lagunas aireadas	58
14	Apizaco	Lagunas aireadas	150
15	Apizaco	Lodos activados + filtro percolador	195
16	Ixtacuixtla	RAFA + lagunas aireadas	45
17	Muñoz de Domingo Arenas	RAFA + laguna	2.9
18	Santa Cruz Quilehtla	Tanque IMHOFF + Humedales	8.4
19	Tepeyanco	RAFA + lodos activados	150
20	Tlaxcala	Reactor biológico secuencial (SBR)	396
21	Tocatlán	RAFA + humedales	8.5
TOTAL			1098.29

Fuente: CONAGUA, 2020. RAFA: reactor anaerobio de flujo ascendente

2.3. Estimación de la generación de aguas residuales industriales

Para obtener información sobre fuentes de generación de aguas residuales de origen industrial, se realizaron búsquedas en páginas oficiales de dependencias gubernamentales, como el INEGI, y en documentos científicos (Instituto Estatal de Energía y Cambio Climático, 2022). Se obtuvo un mapa vectorial de la página oficial del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), disponible a escala nacional. Los datos de la subcuenca se procesaron en la versión 3.28.9 de QGIS para generar tablas de información de la zona. Debido a que no se cuenta con información precisa de la cantidad de agua que generan las industrias al año, en este trabajo procedimos a realizar estimaciones considerando los volúmenes de agua concesionados del Registro Público de Derechos del Agua

(REPDA) (CONAGUA, 2020), considerando pérdidas en los sistemas del 30% (Muñoz y Sánchez, 2018).

$$AR_{\text{industriales}} = VAC * 0.7$$

Ecuación 2

Dónde:

AR industriales: Generación anual de aguas residuales industriales ($\text{Mm}^3 \text{ año}^{-1}$)

VAC: volumen de agua concesionado para uso industrial por municipio ($\text{Mm}^3 \text{ año}^{-1}$)

2.3.1. Identificación de vías de disposición de aguas residuales industriales

El listado de plantas de tratamiento de aguas residuales no municipales, así como de los sistemas empleados en cada una de ellas, se obtuvo del inventario de plantas de tratamiento de la Cuenca del río Alto Atoyac (Tabla 2) (CONAGUA, 2022). El volumen total tratado de aguas residuales industriales en estos sistemas en 2020 fue de 209.3 l s^{-1} .

Tabla 2. Plantas de tratamiento de aguas residuales industriales ubicadas en la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México, para el año 2020

No.	MUNICIPIO	NOMBRE DEL USUARIO	GASTO DE OPERACIÓN (l s^{-1})	PROCESO DE TRATAMIENTO
1	Acuamanala	SE Bordnetze-México, S.A. de C.V. (SEBN)	0.71	Lodos activados
2	Acuamanala	Schneider Electric México, S.A. de C.V.	1.85	Lodos activados
3	Apizaco	Celulosa de Fibras Mexicanas, S.A. de C.V. (CELFIMEX)	30.00	Floculación
4	Apizaco	HOVOMEX, S.A. de C.V.	10.41	Flotación (krofta)
5	Apizaco	Panamco Golfo, S.A. de C.V. (Antes Bebidas Aztecas De Oriente, S.A. de C.V.)	12.65	Lodos activados
6	Apizaco	Rohm and Haas, S.A. de C.V.	10.41	Nanofiltración

7	Apizaco	Salicilatos de México, S.A. de C.V.	0.88	Lodos activados
8	Atlangatepec	Productora Mexicana de Papel, S.A. de C.V.	11.57	Floculación y coagulación
9	La Magdalena Tlaltelulco	AS Maquila De México, S, de R.L, de C.V.	0.28	Floculación y fosa séptica
10	La Magdalena Tlaltelulco	Gres, S.A. de C.V. (porcelanite)	0.60	Lodos activados
11	La Magdalena Tlaltelulco	Ideal standard, S.A. de C.V.	0.28	Floculación
12	Papalotla	Pionner, S.A. de C.V.	0.38	Floculación
13	Papalotla	Porcel, S.A. de C.V.	0.07	Lodos activados
14	Papalotla	Sky Lab. 2000, S.A. de C.V.	3.53	No especificado
15	Teolochohco	Johnson Controls, S.A. de C.V.	1.18	Lodos activados
16	Teolochohco	Pavillion, S.A. de C.V.	0.35	Floculación
17	Teolochohco	Taurus mexicana, S.A. de C.V.	0.13	Fisicoquímico
18	Tetla de la Solidaridad	Dow Agrosiences de México, S.A. de C.V.	0.08	Lodos activados
19	Tetla de la Solidaridad	Kimberly Clark de México, S.A. de C.V.	11.60	Lodos activados
20	Tetla de la Solidaridad	Minetec S.A. de C.V.	29.33	Fisicoquímico y lodos activados
21	Tetla de la Solidaridad	Saint-Gobain Vetrotex America, S.A. de C.V.	29.50	Fisicoquímico
22	Tetlatlahuca	Licons, S.A. de C.V. (leche industrializada)	0.88	Lodos activados

23	Xaloztoc	Dana de México Corporación, S. de R.L. de C. V. (División Forjas Tlaxcala)	0.21	Biodiscos
24	Xaloztoc	Industria Química del Istmo, S.A. de C.V. (IQUISA)	1.50	Neutralización
25	Xaloztoc	La Hacienda, S.A. de C.V.	0.08	Floculación
26	Xaloztoc	Metapol, S.A. de C.V.	0.17	Fosa séptica
27	Xaloztoc	Polaquimia de Tlaxcala, S.A. de C.V.	0.52	Biofiltros
28	Xaloztoc	Poliestireno y derivados, S.A. de C.V. (IDESA)	3.13	Neutralización
29	Xaloztoc	Simec International, S.A. de C.V. (antes cia. Sidedúrgica de California)	2.55	Lodos activados
30	Xaloztoc	Síntesis Orgánicas, S.A. de C.V. (IDESA)	0.50	Floculación
31	Xicohtzinco	Joel Vargas González, (Granja ovina San bernardo)	0.07	Lagunas de estabilización
32	Yauhquemehcan	Bicileyca, S.A. de C.V.	0.07	Floculación
33	Yauhquemehcan	Juliana Sánchez Chimal	0.05	Fosa séptica
34	Yauhquemehcan	Procter and Gamble Manufacturing, S. de R. L. de C.V.	43.79	Biofiltros
VOLUMEN TOTAL TRATADO			209.30 l s⁻¹	

Fuente: CONAGUA, 2020

III. RESULTADOS

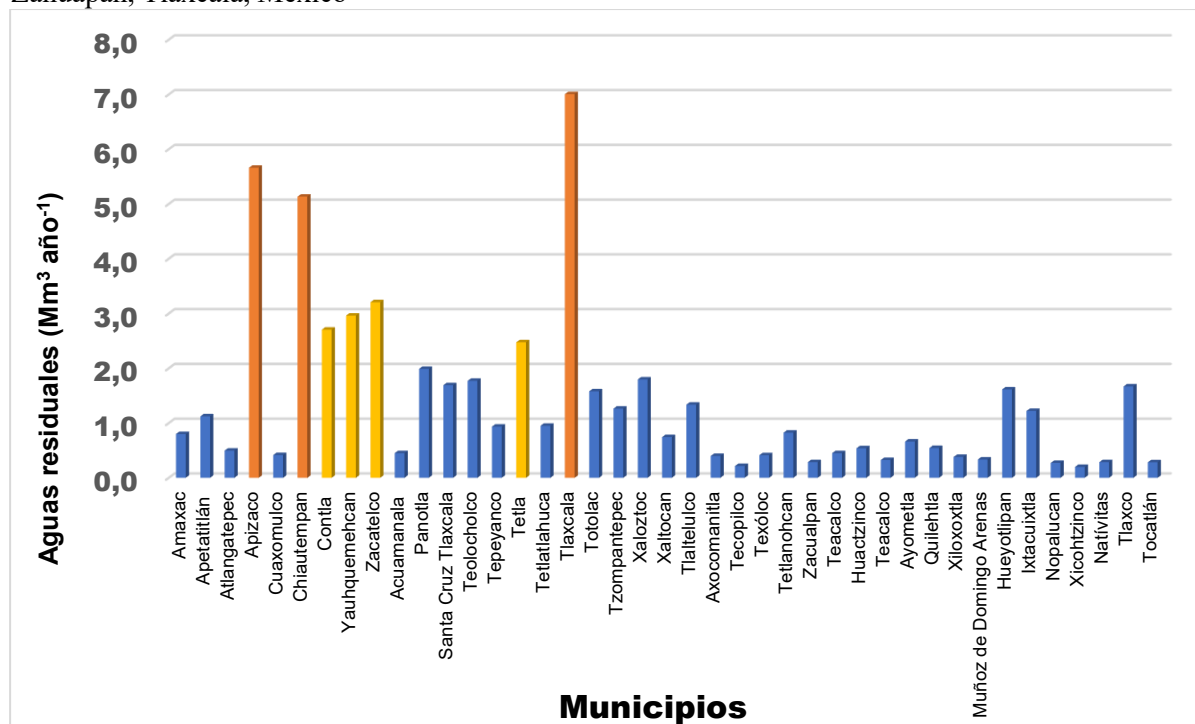
3.1. Generación de Aguas residuales domésticas

Los municipios de Apizaco, Tlaxcala y Chiautempan tienen poblaciones superiores a los 70,000 habitantes; Yauhquemehcan y Zacatelco oscilan entre los 40,000 y 50,000 habitantes, y el resto tiene poblaciones menores a los 40,000 habitantes (Figura 2). La generación de aguas residuales en los



municipios de la subcuenca del río Zahuapan osciló entre 0.19 (Xicohtzinco) y 7.0 (Tlaxcala) $\text{Mm}^3 \text{año}^{-1}$ ((Figura 2). En total, en 2020 se produjeron 57.41 Mm^3 de efluentes domésticos. Los municipios más poblados, como Tlaxcala, Apizaco y Chiautempan (barras naranjas) tuvieron generaciones superiores a 5.0 $\text{Mm}^3 \text{año}^{-1}$, seguidos de Zacatelco, Yauhquemehcan, Contla y Tetla (barras amarillas), con generaciones entre 2.0 y 4.0 $\text{Mm}^3 \text{año}^{-1}$.

Figura 2. Generación doméstica de aguas residuales por municipio en 2020, en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México



3.1.1. Vías de disposición final de aguas residuales domésticas

En la zona de estudio se ubican 21 plantas de tratamiento de aguas residuales, pero únicamente 15 operaron en el 2020, en las que se trataron 1098.6 l/s. Los caudales tratados van desde 1.5 l/s hasta 350 l/s. Las plantas con mayor caudal tratado son la de Tepehitec (350 l/s) a través de reactores biológicos secuenciales, Tepeyanco (170 l/s) en reactores anaeróbicos de flujo ascendente acoplados a un sistema de lodos activados y Apizaco, donde se tratan 150 l/s en lagunas aireadas y 180 l/s aplicando el proceso de lodos activados acoplado a un filtro percolador. Los volúmenes anuales tratados en las plantas en operación fueron del orden de 34.64 $\text{Mm}^3 \text{año}^{-1}$, que representan el 61% de las aguas residuales generadas en la subcuenca (Figura 3). El cuerpo receptor del agua tratada es el Río Zahuapan, donde este recurso se mezcla nuevamente con agua contaminada.

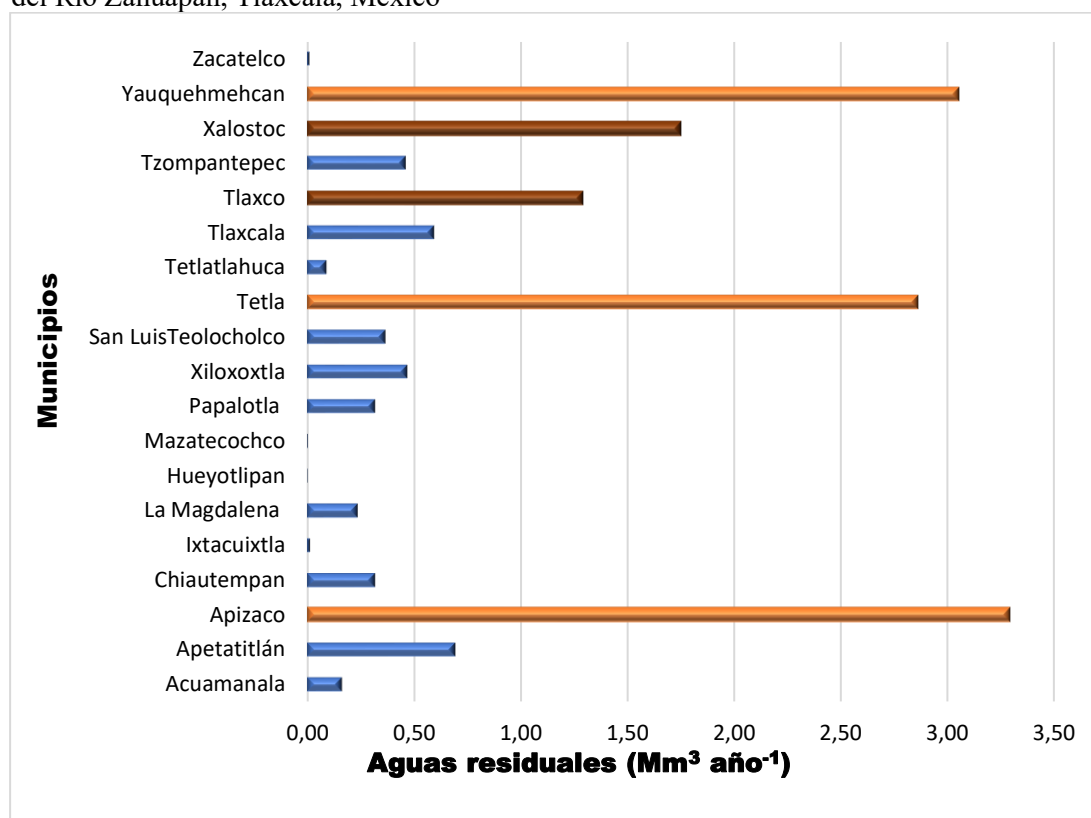
Figura 3. Vías de disposición de aguas residuales domésticas en la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México, en 2020



3.2. Aguas residuales industriales

El tipo de industrias ubicadas en la subcuenca del río Zahuapan se divide en químicas, de alimentos, manufactureras y establecimientos (personas físicas). La actividad industrial más fuerte se desarrolla en la zona centro y sur. El volumen de agua concesionada para este sector fue de 22.28 Mm^3 en el 2020, de los cuales la industria química utilizó el 33.22 %, la alimentaria el 31.05 % y el resto la industria manufacturera y los comercios. La estimación municipal anual del total de aguas residuales generadas por el sector industrial fue de 15.99 Mm^3 en el 2020. Los municipios con valores superiores a $2.5 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ fueron Apizaco, Yauhquemehcan y Tetla; seguidos de Xalostoc ($1.75 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$) y Tlaxco ($1.3 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$) (Figura 4). Xalostoc y Tlaxco tuvieron generaciones entre 1.0 y $2.0 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$ y el resto presentó produjo menos de $1.0 \text{ Mm}^3 \text{ año}^{-1}$.

Figura 4. Generación municipal de aguas residuales de origen industrial para el 2020, en la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México



3.2.1. Disposición final de aguas residuales industriales

Las industrias ubicadas en la subcuenca del Río Zahuapan generaron 15.99 Mm³ de aguas residuales en el 2020. Debido a que no todas las empresas cuentan con sistemas de depuración, sólo se trató el 41.3 % y el resto de las industrias descargó sus efluentes directamente a barrancas y ríos que confluyen a la corriente principal de la zona. En la subcuenca se localizan 34 plantas de tratamiento en operación, de las cuales, la capacidad instalada en 2020 fue de 0.38 m³ s⁻¹ y se trataron únicamente 0.21 m³ s⁻¹, lo que equivale a un total de 6.6 Mm³ año⁻¹ (Figura 5) (CONAGUA, 2022). El uso final del agua tratada en las empresas fue para regadío de zonas verdes y la mayoría se descarga a ríos y barrancas que confluyen en el Río Zahuapan.

Figura 5. Vías de tratamiento y disposición de aguas residuales industriales en 2020, en la subcuenca del río Zahuapan, Tlaxcala, México



CONCLUSIONES

En la subcuenca del río Zahuapan se generaron 73.4 Mm³ de aguas residuales en 2020, de las cuales el 78.2% fueron de origen doméstico y el resto, de actividades industriales. Del total de estos efluentes, sólo el 56 % se canalizó a sistemas de depuración y el resto se descargó sin tratamiento a cuerpos de agua, barrancas y ríos de la zona. Esta situación genera problemas de pérdida de biodiversidad debido a la contaminación de cuerpos de agua. Los resultados muestran que los sistemas de tratamiento que operaron en 2020 resultaron insuficientes para depurar las aguas residuales generadas en esta zona. Además, se evidencia la falta de compromiso del sector empresarial para depurar los efluentes generados en sus procesos y canalizarlos a sistemas de reutilización o aprovechamiento. En el sector doméstico, es necesario instalar sistemas biológicos para el tratamiento de aguas residuales grises, que permitirían disminuir más del 50% de las aguas residuales generadas. Por otra parte, las industrias deben mostrar responsabilidad ambiental y hacerse cargo de tratar el agua que contaminan. Finalmente, la información obtenida en este trabajo será útil para estimar las emisiones de metano en la subcuenca del Río Zahuapan, procedentes de la descomposición de la materia orgánica contenida en las aguas residuales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bolan, S., Lokesh, P., Jasemizad, T., Govarthan, M., Karmegam, N., Wijesekara, H., Amarasinghe, D., Hou, D., Zhou D., Biswal, B., Balasubramanian, R., Wang, H., Kadambot, H., Rinklebe, J., Kirkham, M., Bolan, N. (2024). Impacts of climate change on the fate of contaminants through extreme weather events. *Science of the Total Environment* 909: 1-22.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168388>
- Cely-Calixto, N. J., Carrillo Soto, G. A. y Bonilla, C. (2022). Tratamientos de aguas residuales. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones S.A.S. Universidad Francisco de Paula Santander. Disponible en:
<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6727>
- CONAGUA. 2020. Inventario Nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-2-22-a.pdf>
- CONAGUA 2022. Inventario de plantas de tratamiento de aguas residuales no municipales en la Cuenca del Río Alto Atoyac. Disponible en:
<https://app.conagua.gob.mx/ICA/Contenido?n1=5&n2=14&n3=8>
- CONAGUA. 2024. Estadísticas del agua en México 2023. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Disponible en:
https://sinav30.conagua.gob.mx:8080/Descargas/pdf/EAM2023_f.pdf
- Domínguez-Montero, L. E., Poggi-Varaldo, H. M., Cañizares-Villanueva, R. O., Padilla Viveros, A., Rinderknecht-Seijas, N., Caffarel-Méndez, S., y Cruz-Burelo, E. (2024). Regulaciones para la descarga de aguas residuales de México: comparación con otros países y su cumplimiento en plantas de tratamiento seleccionadas. *Revista internacional de contaminación ambiental*. Volumen 40 (54362). <https://doi.org/10.20937/rica.54362>
- Gómez, L., Moreno, M., Vargas, M., Cedeño, M. 2021. Análisis de la generación de aguas grises en los hogares y evaluación de sistemas de tratamiento. *Revista de Iniciación Científica*. Universidad Tecnológica de Panamá, Panamá. ISSN: 2412-0464. ISSN-e: 2413-6786. Vol. 7, núm. 5. Disponible en: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/338/3382483001/index.html>



- Hernández, S. L. 2021. Caracterización hidroclimática de la subcuenca del Río Zahuapan, estado de Tlaxcala, condición actual y escenarios potenciales. Tesis de Maestría en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados de Montecillos. Texcoco. México. Disponible en: http://www.cm.colpos.mx/meteoro/tesishid/tesis/2021-10-Hernandez_Salinas_LE_MC_Hidrociencias.pdf
- Khabirul, I. 2023. Domestic and industrial wastewater generation and its energy recovery potential in Bangladesh. *Cleaner Energy Systems* 6:100092. <https://doi.org/10.1016/j.cles.2023.100092>
- Martín Domínguez, A., Herrera Ibarra, L. M., Navarro Suástegui, M. P. y González Espinoza, L. (2024). Estrategias para la implementación del reúso de aguas residuales tratadas con fines de uso y consumo humano. ANEAS y Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Disponible en: <https://aneas.com.mx/wp-content/pdf/libros/Estrategias-para-la-implementacion-del-reuso-de-aguas-residuales-tratadas-con-fines-de-uso-y-consumo-humano.pdf>
- Mena, M. I., Bustamante, G. A., Vargas, L. S., Olvera, H. J. I., Méndez, E. J. A. (2017). Evaluación de la condición ecológica del río Zahuapan. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 33 (1): 7-19. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.01.01>
- Mendoza-Retana, S., Cervantes-Vázquez, M. G., Valenzuela-García, A., Guzmán-Silos, T., Orona-Castillo, I., y Cervantes-Vázquez, T. 2021. Uso potencial de las aguas residuales en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Volumen 12(1): 115-126. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2789>
- Naciones Unidas. 2026. Objetivos de desarrollo sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>
- QGIS project. 2022. Guía del usuario de QGIS. Disponible en: https://docs.qgis.org/3.44/es/docs/user_manual/index.html
- Sáenz-Arias, S., Garcés-Ordoñez, O., Córdoba-Meza, T. L., Blandon, L., Espinosa-Díaz, L. F., Vivas-Aguas, L. J. y Canals, M. (2023). Contaminación por vertidos de aguas residuales: Una revisión desde las interacciones de los microorganismos-microplásticos y sus posibles riesgos ambientales en aguas costeras colombianas. *Revista Ecosistemas* 32 (1): 1-14. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2489>