

FASCÍCULO 5. Ríos y aguas superficiales

Coordinación:

María de los Ángeles Velasco Hernández
Marlene Lariza Andrade Guel



LA CRISIS DEL AGUA EN EL SIGLO XXI: PERSPECTIVAS Y SOLUCIONES

DIRECTORIO

EL COLEGIO DE TLAXCALA, A. C.

Dr. Serafín Ríos Elorza

Presidente

Dr. Wilfrido Gutiérrez Ortiz

Secretario Técnico

Dra. Adriana Montserrat Pérez Serrano

Directora Académica

Dra. Ivonne Virginia Campos Rico

Secretaria de Investigación

Lic. Mayra Vazquez Velazquez

Director Administrativo

Lic. Karen Janeth Tirado Portilla

Coordinadora de Comunicación Social

Mtro. Arturo Juárez Martínez

Coordinador Editorial

LA CRISIS DEL AGUA EN EL SIGLO XXI: PERSPECTIVAS Y SOLUCIONES

María de Lourdes Hernández Rodríguez
Ignacio Ocampo Fletes
Ángel David Flores Domínguez

Coordinadores generales



Primera edición: Julio 2024

©El Colegio de Tlaxcala, A. C.

El Colegio de Tlaxcala, A. C.

Melchor Ocampo No. 28

C.P. 90600, San Pablo Apetatitlán, Tlaxcala

Tel.: (01 246) 46 4 58 74, 46 4 77 25, 46 4 77 26 Ext. 202

Correo electrónico: elcolegiodetlaxcala@coltlax.edu.mx

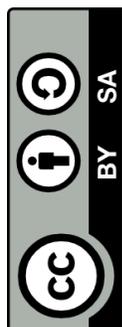
Diseño de interiores: Rafael Cruz Sánchez

Diseño de forros: Alejandro Ángel López Abriz

Todas las personas que participaron en este libro revisaron y aprobaron la versión final de su contribución para su publicación y difusión.

Las opiniones expresadas en las contribuciones de este texto corresponden exclusivamente a sus autores y no reflejan necesariamente las de El Colegio de Tlaxcala, A. C.

ISBN: 978-607-7673-98-9



¡Copia este libro!

Este libro se publica bajo una licencia CC BY-SA, lo cual significa que usted puede copiarlo, redistribuirlo, remezclarlo, transformarlo y construir sobre su contenido para cualquier propósito, incluso comercial, mientras dé el crédito apropiado, provea un enlace a la licencia, e indique si se realizaron cambios.

Si remezcla, transforma, o construye sobre el material, debe distribuir sus contribuciones bajo el mismo licenciamiento que el material original.

Detalles de licenciamiento:

<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

Compartir no es delito.

FASCÍCULO 5
RÍOS Y AGUAS SUPERFICIALES

María de los Ángeles Velasco Hernández
Marlene Lariza Andrade Guel

Coordinadores

Índice

Presentación	7
María de los Ángeles Velasco Hernández	
Marlene Lariza Andrade Guel	
Materiales adsorbentes a base de tela no tejida como alternativa tecnológica para la descontaminación del río Atoyac	10
Andrade Guel Marlene Lariza	
Gregorio Cadenas Pliego	
Christian Javier Cabello Alvarado	
Marissa Pérez Álvarez	
Calidad de agua en San Mateo Ayecac y sus repercusiones socioambientales e hidrotecnológicas en el ecosistema	25
Samuel Alejandro Lozano Morales	
Raúl Herrera Mendoza	
Problemas ambientales de los paisajes en la microcuenca Atoyac-Xochiac, subcuenca Alto Atoyac. Una aproximación desde la geoecología	47
Ángel David Flores-Domínguez	
Ángel Priego-Santander	

PRESENTACIÓN

Los ríos y aguas superficiales se han visto amenazados por los problemas socioambientales que implican un alto nivel de contaminación hídrica que tienen su origen industrial o doméstico, lo que ha repercutido en la salud de los habitantes que viven cerca de estos ríos. En México uno de los principales ríos contaminados está en la cuenca del Alto Atoyac, esta contaminación afecta no solo a la población que vive a los alrededores sino también a las actividades económicas que realiza y a los paisajes. Varios investigadores se han dedicado a estudiar las causas, efectos de la contaminación, el deterioro del paisaje, los conflictos sociales y posibles soluciones tecnológicas para resolver este problema.

Los tres trabajos que componen este fascículo nos hablan del río Atoyac abordando desde la calidad de agua de la comunidad de San Mateo Ayecac; la cual se mide mediante parámetros fisicoquímicos que brindan información para determinar la calidad de agua. Así mismo en el trabajo de estado ambiental de los paisajes nos acerca a observar los cambios que ocurren en el suelo y la cobertura vegetal. Por último, tenemos una alternativa tecnológica a base de filtros para ayudar a la descontaminación del río, que permitirá eliminar contaminantes orgánicos presentes en actividades de talleres o industria.

Andrade Guel Marlene Lariza, Gregorio Cadenas Pliego, Christian Javier Cabello Alvarado y Marissa Pérez Álvarez en el trabajo “Materiales adsorbentes a base de tela no tejida como alternativa tecnológica para la descontaminación del río Atoyac” presentan una alternativa tecnológica para eliminar contaminantes orgánicos del agua es el uso de materiales adsorbentes a base de tela no tejida, estas se fabrican a partir de nanocompuestos poliméricos que contienen nanopartículas adsorbentes. En este estudio se evaluaron telas no tejidas para la remoción de colorantes como azul de metileno y Rhodamina B, así también se evaluó una muestra real de un taller de

lavandería. Los resultados indicaron una eficiencia de adsorción del 93 y 99% para colorantes y en el caso de la muestra real de un taller de lavandería 59%. Además, se caracterizó fisicoquímicamente la muestra del taller de lavandería.

Alejandro Lozano Morales y Raúl Herrera Mendoza presentan “Calidad de agua en San Mateo Ayecac y sus repercusiones socioambientales e hidrotecnológicas en el ecosistema”. Este texto se enfoca en un análisis sistemático de la literatura dirigida esencialmente a la contaminación química que padece actualmente una de las zonas considerada de mayor impacto socioambiental, como lo es la localidad de San Mateo Ayecac. Enfatizando que, esta falta de planeación ambiental compromete la conservación de los recursos naturales de la región y el bienestar social. La información generada con respecto a la problemática ambiental esté organizada, sistematizada y condensada para que se emplee como indicativo de partida para lograr la formulación de políticas públicas, programas de manejo y conservación ambiental, mucho más precisas por parte de las autoridades correspondientes.

Ángel David Flores-Domínguez y Ángel, Priego-Santander con “Problemas ambientales de los paisajes en la microcuenca Atoyac-Xochiac, subcuenca alto Atoyac. Una aproximación desde la geoecología” señalan que el objetivo del trabajo fue analizar los problemas ambientales que inciden en la microcuenca Atoyac-Xochiac, perteneciente a la Subcuenca Alto Atoyac entre los estados de Tlaxcala y Puebla, México. Tal región es considerada como uno de los infiernos ambientales en México, dados los problemas socioambientales resultantes del manejo insustentable del paisaje, el alto nivel de contaminación hídrica y el riesgo sanitario para la población. La degradación del suelo (mediante el IDS) y la degradación de la cobertura vegetal natural (IACV). Para el caso del IDS, es factible para integrar los diferentes tipos de erosión e intensidad en un solo valor numérico, fácilmente interpretable. En este sentido, el mejor reconocimiento del agente causal (viento o agua), así como la magnitud del daño y su ubicación geográfica, permitirá el diseño de estrategias de conservación o de restauración de las propiedades del suelo más eficientes. Un paisaje degradado por erosión del suelo repercute en la disminución de la función productiva del suelo, la pérdida de la biodiversidad del lugar, incrementando las afectaciones de eventos extremos como lluvias torrenciales, sequías

y desertificación, además que tiene afectaciones sociales al acentuar el grado de pobreza de la población y en muchos casos propicia la migración y abandono del campo.

María de los Ángeles Velasco Hernández; Instituto de Ciencias de la Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla (México)

Marlene Lariza Andrade Guel; Centro de Investigación en Química Aplicada (México)

MATERIALES ADSORBENTES A BASE DE TELA NO TEJIDA COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA LA DESCONTAMINACIÓN DEL RÍO ATOYAC

Marlene Lariza Andrade Guel

Gregorio Cadenas Pliego

Christian Javier Cabello Alvarado

Marissa Pérez Álvarez

Resumen

La contaminación del río Atoyac proviene principalmente de las descargas de agua doméstica y aguas industriales que afectan la salud de los habitantes y genera un problema ambiental a fin de resolver el problema se han creado alternativas tecnológicas basadas en el proceso de adsorción como los materiales a base de tela no tejida. La tela no tejida es una red de fibras que se unen por procedimientos mecánicos, térmicos y químicos. Estas, pueden fabricarse a partir de nanocompuestos poliméricos que contienen nanopartículas adsorbentes que permiten la remoción eficiente de contaminantes orgánicos. En este trabajo se presentan dos materiales adsorbentes de tela no tejida a base de nanocompuestos poliméricos Nylon 6/ZnO, PLA/ZnO-TiO₂ que se han aplicado para remoción de colorantes como azul de metileno y rhodamina B, así como su caracterización fisicoquímica de los materiales y de una muestra de agua residual de un taller de lavandería. Los resultados indican una eficiencia de adsorción para Nylon 6/ZnO y PLA/ZnO-TiO₂ fue del 93 % y 99 % respectivamente. En el caso de la muestra de agua residual de una lavandería se removió el 59 %.

Palabras clave: nanocompuestos, descontaminación, nanopartículas.

Introducción

Los objetivos de desarrollo sostenible también conocidos como objetivos globales, son una herramienta de planificación y seguimiento para todos los países. Específicamente el número 6 agua limpia y saneamiento ha atraído la atención debido al desabasto de agua dulce a nivel mundial y la contaminación de ríos, océanos y mares. Una de las metas del objetivo 6 es mejorar la calidad deL agua mediante la reducción de la contaminación.

Uno de los ríos más contaminados es el Rio Atoyac que durante más de 40 años ha manifestado un estrés asociado a la presencia de descargas residuales urbanas e industriales, así como lixiviados provenientes de agricultura intensiva.

Los principales contaminantes que se encuentran son los compuestos orgánicos como los plaguicidas, fármacos, solventes, tejidos sintéticos, colorantes entre otros. Los colorantes son ampliamente usados en la industria textil que es la mayor generadora de aguas contaminadas debido a su gran consumo y a los residuos que genera los cuales son desechados a ríos o bien a aguas residuales. Es fácilmente identificar los residuos debido a su color, no solo generan problemas medioambientales si no llegan a afectar la salud del ser humano. Principalmente a la población que se encuentran habitando alrededor de ríos contaminados por esta industria. Los colorantes presentan cierta toxicidad que va desde síntomas leves como dolor de cabeza, náusea, dolores de estómago y más graves como cáncer.

Sin duda en la búsqueda de tratar esta agua contaminada ha llamado la atención el uso de nanocompuestos y tela no tejida como filtros para la eliminación de contaminantes orgánicos, a fin de mejorar la calidad del agua. El objetivo de este trabajo es estudiar materiales de tela no tejida Nylon 6/ZnO y PLA/TiO₂-ZnO como adsorbente de colorantes comerciales y en la adsorción de colorante de una muestra real de una lavandería.

Marco Teórico o Marco Conceptual

La industria textil y de la moda es una de las industrias que más contaminan el planeta. Se estima que la producción de textil es responsable de alrededor del 20% de la contaminación

del agua del mundo por los productos de teñido y acabado. La simple actividad de lavado sintético libera aproximadamente 0.5 millones de toneladas de microfibras a los océanos cada año. La industria textil desde sus procesos originales consume gran cantidad de agua, desde 1996 se estima que la moda rápida (Fast fashion) ha incrementado el consumo de agua a niveles elevados, por ejemplo, los europeos usan 26 Kg de ropa cada año y desechan 11 kg de ellos. No existe una cultura para reciclar la ropa usada, en el mundo se estima que menos del 1% de la ropa se recicla como nuevas prendas de vestir. En resumen, cada vez se consume más las prendas de vestir y la actividad de la industria textil se incrementa y eleva el consumo del agua (<https://www.residuosprofesional.com/impacto-sector-textil-susresiduos/#:~:text=Se%20estima%20que%20la%20producci%C3%B3n,en%20el%20oc%C3%A9ano%20cada%20a%C3%B1o.>) La industria textil genera contaminantes tóxicos como metales, solventes, colorantes, ácidos y bases. Además, consume altos volúmenes de agua para sus procesos de teñido (Ghaly et al. 2014).

Siendo los contaminantes orgánicos los principales contaminantes de esta industria se definen como aquellas moléculas que están constituidas por C, H, O y N.

Estrada y col. reportaron datos de la página del Instituto de Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), en dichos datos se identifican las principales unidades económicas que por su actividad productiva generan contaminación y residuos. Dentro de las principales actividades está la textil con 12 industrias, Metalurgia con 2, Industria del papel solo una. Cabe mencionar que en estos datos se cuentan industrias grandes, medianas y pequeñas. También existen microempresas como talleres textiles, herrerías e imprentas (Estrada et al. 2021).

Debido a esto se busca de nuevas alternativas tecnológicas para la eliminación de contaminantes orgánicos tipo colorantes provenientes de la industria textil, microempresas o talleres. A continuación, se presentan algunos materiales adsorbentes que van desde nanopartículas, nanocompuestos poliméricos y tela no tejida.

Nanopartículas cerámicas de ZnO y TiO₂

El óxido de zinc es un compuesto inorgánico con la fórmula ZnO. El ZnO presenta tres estructuras cristalinas conocidas que son la Wurtzita, la Blenda de Zinc (Zinc blenda) y la Sal de Roca (Rocksalt) (Klingshirn et al. 2007). El ZnO puede adsorber la luz con la

longitud de onda de 350 a 450 nm. y posee un mecanismo antimicrobiano similar al TiO_2 (Wen et al. 2019).

El dióxido de titanio cuya fórmula química es TiO_2 es comúnmente usado en la fotocatalisis ambiental para la oxidación de compuestos orgánicos volátiles en corrientes de aire o compuestos orgánicos en sistemas acuosos. Debido a su alta estabilidad, actividad fotocatalítica y capacidad para la oxidación avanzada (Galeano et al. 2013).

La modificación química de estas nanopartículas puede incrementar propiedades antimicrobianas y de remoción de colorantes, se ha reportado un estudio de modificación química de ZnO/TiO_2 mediante ultrasonido para incorporar grupos carboxílicos a su superficie, los resultados revelaron una remoción del 85 y 89 % de remoción de rodamina B y azul de metileno (Andrade et al. 2022).

Nanocompuestos poliméricos

Un nanocompuesto es un material multifásico formado por la combinación de materiales ya sea orgánico o inorgánico que poseen diferentes propiedades estructurales, físicas y químicas. Esto da como resultado, materiales con propiedades superiores o nuevas en cuanto al peso, resistencia, rigidez, permeabilidad, biodegradabilidad, propiedades ópticas y eléctricas, que es difícil de alcanzar como componentes individuales. Un nanocompuesto tiene una fase continua llamada matriz y una fase dispersa que es el material de refuerzo. Los nanocompuestos se pueden dividir de acuerdo a la matriz, en nanocompuestos poliméricos, cerámicos y metálicos (Sinha Ray et al 2003).

Saeed y col. prepararon películas de nanocompuestos de nylon 6/6 y nylon 6/6/ ZnO mediante el método de solución estas películas se utilizan para la fotodegradación del tinte rojo 58,3 % para esta degradación se utilizaron 5 h de irradiación de UV, además se observó que disminuyeron las propiedades mecánicas debido a la aglomeración de las nanopartículas (Saeed et al. 2021).

Se ha reportado la eficiencia del nanocompuesto de ZnO con fluoruro de polivinilideno con diferentes concentraciones de 0.5, 1.5 y 3 % (Wen et al. 2019). Así mismo se ha estudiado el nanocompuesto de ZnO/PMMA para la degradación de azul de metileno y fenol con la irradiación de UV, la preparación de este nanocompuesto se realizó mediante sonicación en solución (Di Mauro et al. 2017).

Los nanocompuestos de arcilla con una matriz polimérica se pueden clasificar en tres grandes grupos: microcompuestos de fases separadas, nanocompuestos intercalados y nanocompuestos exfoliados. Los contaminantes orgánicos removidos mediante adsorción por los nanocompuestos de arcilla/polímero tienen diferentes mecanismos que se han estudiado como interacciones electrostáticas y mecanismos de quimisorción para la adsorción eficiente de los contaminantes (Mukhopadhyay et al. 2020).

Membranas de polietersulfona, polipropileno, fluoruro de polivinilideno incorporando TiO_2 muestra bajo la irradiación de UV bajo el principio de fotocatalisis produce actividad antibacteriana, autolimpieza y capacidades de descomposición de compuestos orgánicos, esto ayudaría a la remoción de contaminantes tipo orgánico como colorantes, antibióticos, herbicidas, plaguicidas entre otros (Yin et al. 2015).

Tela no tejida

Los materiales textiles no tejidos son productos porosos y flexibles, que contienen una o más capas de fibras. Los textiles no tejidos se pueden clasificar como desechables de un solo uso como pañales, vendajes médicos, toallitas para el hogar y ropa de protección, o de mayor duración como la interfaz de la ropa, los tapizados y las alfombras de los automóviles que están hechos de fibras de mayor resistencia (Mejía, 2019).

La tela no tejida se ha utilizado como filtro de aire y de agua, recientemente se ha reportado la fabricación de tela no tejida para la remoción de colorantes tipo rodamina B con tela no tejida incorporando TiO_2 donde se degrada fotocatalíticamente el colorante la cual depende de la energía administrada y temperatura (Barka et al. 2008). Además, se ha estudiado tela no tejida a base de Nylon 6/ ZnO para la remoción de azul de metileno logrando un 93 % (Andrade et al.2021).

Materiales y métodos

Materiales: Nylon 6 Zytel, nanopartículas de ZnO tamaño menor a 100 nm (Sigma Aldrich), nanopartículas de TiO_2 fase anatasa tamaño de 20-30 nm (Sigma Aldrich). Los colorantes comerciales Rodamina B, Azul de metileno fueron adquiridos por (Sigma Aldrich) con una pureza del 98 %, Poli Ácido Láctico NatureWorks.

Síntesis de nanocompuestos del Poli Ácido Láctico con óxido de Zinc/ Óxido de titanio (PLA/ZT)

La preparación del nanocompuesto de PLA/ZT se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por la solicitud patente MX/a/2022/013973. Se fabricó el polímero de PLA con cinco cargas de nanopartículas de ZnO/TiO₂ (0,25 %, 0,75%, 1.5 % y 2%) se preparó mediante un proceso de extrusión por fusión asistido por ultrasonido.

Síntesis de nanocompuesto de Nylon 6/ZnO

La preparación del nanocompuesto se base en la metodología descrita por (Andrade et al. 2021).

Fabricación Tela no tejida

La tela no tejida se fabricó utilizando una máquina piloto de tecnología de extrusión de fibra (FETUK), equipada con dos extrusoras de un solo husillo. Las condiciones de proceso del tejido no tejido elaborado a partir de nanocompuestos de PLA/ZT, fueron: zona de extrusión 1, 180 °C, zona de extrusión 2, 190 °C, zona de extrusión 3, 195 °C, zona de extrusión 4, 200 °C, zona de brida, 200 °C, zona de calor dual 275 °C, zona de adaptador de soplado en fusión, 200 °C, zona de aire caliente de soplado en fusión, 210 °C. La velocidad de la banda colectora fue de 0,6 m/min, y la velocidad de la bomba dosificadora fue de 6 y 8 rpm.

En el caso de la fabricación de Nylon 6/ZnO se siguió la metodología anteriormente reportada (Andrade et al. 2021).

Ensayo de adsorción

Se prepara una solución de 200 ppm de los colorantes comerciales (Azul de metileno y Rhodamina), esta solución se hace pasar un trozo de tela no tejida de 10 X 10 cm y un peso aproximado de 0.6490 gr. La solución antes y después se lee en un espectrofotómetro de UV-Vis a una longitud de 400 a 600 nm.

Caracterización de agua y materiales

Potencial hidrógeno (pH): Indica la acidez o alcalinidad del agua.

Para realizar la prueba se utilizó un potenciómetro marca Bante, en la Figura 2 se muestra la imagen de la medición de la muestra con el potenciómetro.

Espectroscopia Infrarroja FT-IR: El análisis se llevó a cabo utilizando el equipo Magna Nicolet modelo 550 a temperatura ambiente.

Determinación de metales pesados: Para la detección de metales se realizó utilizando Espectrofotómetro de emisión ICAP 7000 modelo 7400.

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se presentan los resultados del porcentaje de remoción de colorantes comerciales azul de metileno y Rhodamina B, se probaron tres diferentes telas no tejidas para la eliminación de los colorantes en un tiempo de 60 min. Se observan porcentajes arriba del 80 % para las telas no tejidas que contienen nanopartículas adsorbentes en cambio para tela no tejida solamente con la matriz polimérica se observan porcentajes bajos de 20 % para rodamina B y 30 % para azul de metileno. Esto debido a que la presencia de las nanopartículas ayuda a la degradación del colorante por procesos fotocatalíticos.

Tabla 1

Porcentaje de remoción de colorantes utilizando como adsorbente tela no tejida

Tela no tejida	% Remoción de Azul de Metileno	% Remoción de Rhodamina B
PLA	30	20
PLA/ZT	99	87
Nylon/ZnO	93	80

Caracterización de muestra real de un taller de lavandería

Parámetros fisicoquímicos

Apariencia física de la muestra

Estado: Líquido con sólidos suspendidos a simple vista.

Olor: desagradable/fétido

Color: Azul

En la Figura 1 se presenta la imagen de la muestra recolectada de agua.

Figura 1

Imagen de la muestra de agua



Potencial hidrógeno

Resultado= 5.99

La NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, el límite permisible de pH es de **6-9**.

Materiales adsorbentes a base de tela no tejida como alternativa tecnológica para la descontaminación del río Atoyac

Figura 2

Imagen del análisis de pH



Oxígeno disuelto

Resultado: 1.1 mg/L

Para supervivencia de organismos se requiere **4 mg/L** de oxígeno disuelto, es decir no alcanza estos niveles.

Figura 3

Imagen del análisis de oxígeno disuelto



Temperatura

La temperatura es un parámetro termodinámico del estado de un sistema que caracteriza el calor, o transferencia de energía y presencia de algunos compuestos exotérmicos.

Resultado: 25.5 °C.

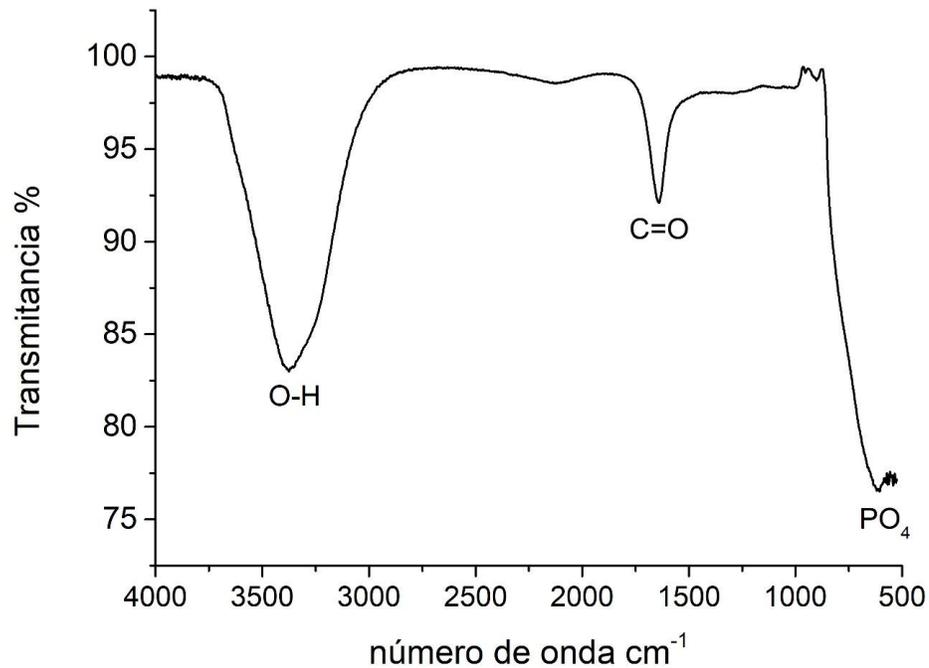
Espectroscopía Infrarroja

Se utiliza para identificar compuestos orgánicos. La región infrarroja del espectro electromagnético se encuentra entre 10 y $10\,000\text{ cm}^{-1}$, que se puede expresar como una frecuencia de 10^{12} – 10^{14} Hz. Esta frecuencia se superpone con la frecuencia de las vibraciones moleculares. Cuando la radiación infrarroja tiene la misma frecuencia que una vibración molecular, puede inducir una transición a un estado de mayor energía. El análisis se llevó a cabo utilizando el equipo Magna Nicolet modelo 550 a temperatura ambiente. En la Figura 4 se presenta el espectro de FT-IR el cual nos indica los grupos funcionales, enlaces presentes en la muestra, no se detecta algún otro compuesto orgánico

solo agua, se requiere analizar los sólidos totales del agua mediante la técnica de FT-IR para la búsqueda de otros compuestos orgánicos.

Figura 4

Espectro FT-IR de la muestra de agua



En la figura 4 aparecen grupos funcionales O-H y C=O correspondientes al agua, también nos indica que tiene sales tipo fosfato PO_4

En la tabla 1 y 2 se presentan los resultados de la detección de metales pesados en muestras de agua recolectadas en talleres de lavandería, no se detectó la presencia de metales como As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn. En el caso de Cr se detectó 0.01 ppm, Mg 30.17 ppm y Ca 34.45 ppm esto se debe a que se trata de agua dura que contiene sales minerales que proviene del pozo o agua doméstica.

Tabla 2

Detección de metales pesados As, Cd, Cu y Cr en muestras de agua proveniente de talleres de lavandería

Agua	Arsénico (As)	Cadmio (Cd)	Cobre (Cu)	Cromo (Cr)
1	0.013	ND	ND	ND
2	ND	ND	ND	ND
3	ND	ND	0.068	0.014
4	ND	ND	0.049	ND
5	0.007	ND	ND	0.014
6	ND	ND	ND	0.01
Nivel mínimo	0.005	0.005	0.02	0.005

Tabla 3

Detección de metales pesados Hg, Ni, Pb, Zn, Mg y Ca en muestras de agua proveniente de talleres de lavandería

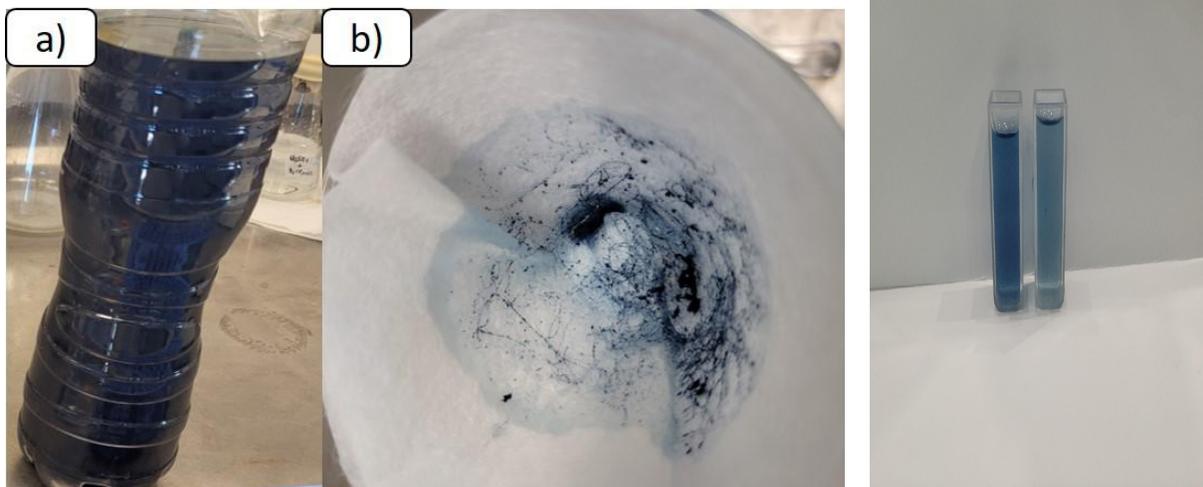
Agua	Mercurio (Hg)	Níquel (Ni)	Plomo (Pb)	Zinc (Zn)	Magnesio (Mg)	Calcio (Ca)
1	ND	ND	ND	0.027	53.505	31.777
2	ND	ND	ND	ND	34.774	42.615
3	ND	0.021	ND	0.28	52.1	65.866
4	ND	ND	ND	0.176	40.458	43.797
5	ND	0.012	0.026	0.056	54.241	23.909
6	ND	ND	ND	ND	30.713	34.459
Nivel mínimo	0.005	0.005	0.02	0.02		

Ensayo de adsorción de muestra de lavandería

De las muestras de lavandería se seleccionó aquella que presentara el color azul, en la Figura 5 a) se presenta la imagen de la muestra, la cual presenta sólidos suspendidos, que fueron atrapados con la tela no tejida, esto se observa en la Figura 5 b).

Figura 5

a) Muestra real de lavandería b) tela no tejida después de la adsorción



Ensayo de Adsorción

En la Tabla 4 se presentan los resultados de la prueba de adsorción, a un tiempo de 40 min. se remueve el 59 % de color.

Tabla 4

Resultados de adsorción tela no tejida

	Muestra	% remoción
15 min	Nylon ZnO 0.5 %	30 %
40 min	Nylon ZnO 0.5 %	59 %

Conclusiones

Las telas no tejidas presentaron una remoción por arriba del 80 % para colorantes comerciales, pero en el caso de aguas residuales provenientes de una lavandería su eficiencia disminuye al 59 % probablemente debido a la presencia de multicomponentes provenientes del proceso de lavado los cuales saturan la capacidad de adsorción de la tela no tejida. Estos materiales son una alternativa para la remoción de colorantes.

Bibliografía

- Andrade-Guel, M., Ávila-Orta, C. A., Cabello-Alvarado, C., Cadenas-Pliego, G., Esparza-González, S. C., Pérez-Alvarez, M., & Quiñones-Jurado, Z. V. (2021). Non-Woven Fabrics Based on Nanocomposite Nylon 6/ZnO Obtained by Ultrasound-Assisted Extrusion for Improved Antimicrobial and Adsorption Methylene Blue Dye Properties. *Polymers*, 13(11), 1888.
- Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C., Bartolo-Pérez, P., Medellín-Banda, D. I., Ávila-Orta, C. A., Cruz-Ortiz, B., ... & Pliego, G. C. (2022). Surface modification of TiO₂/ZnO nanoparticles by organic acids with enhanced methylene blue and rhodamine B dye adsorption properties. *RSC advances*, 12(44), 28494-28504.
- Barka, N., Qourzal, S., Assabbane, A., Nounah, A., & Ait-Ichou, Y. (2008). Factors influencing the photocatalytic degradation of Rhodamine B by TiO₂-coated non-woven paper. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 195(2-3), 346-351.
- Di Mauro, A., Cantarella, M., Nicotra, G., Pellegrino, G., Gulino, A., Brundo, M. V., ... & Impellizzeri, G. (2017). Novel synthesis of ZnO/PMMA nanocomposites for photocatalytic applications. *Scientific reports*, 7(1), 1-12.
- Estrada-Rivera, A., Díaz Fonseca, A., Treviño Mora, S., García Suastegui, W. A., Chávez Bravo, E., Castelán Vega, R., ... & Handal-Silva, A. (2022). The Impact of Urbanization on Water Quality: Case Study on the Alto Atoyac Basin in Puebla, Mexico. *Sustainability*, 14(2), 667.
- Ghaly, A. E., Ananthashankar, R., Alhattab, M. V. V. R., & Ramakrishnan, V. V. (2014). Production, characterization and treatment of textile effluents: a critical review. *J Chem Eng Process Technol*, 5(1), 1-19.
- Galeano, L., Navío, J. A., Restrepo, G. M., & Marín, J. M. (2013). Preparación de sistemas Óxido de titanio/Óxido de silicio (TiO₂/SiO₂) mediante el método solvotérmico para aplicaciones en fotocatalisis. *Información tecnológica*, 24(5), 81-92.
- Klingshirn, C. (2007). ZnO: From basics towards applications. *physica status solidi (b)*, 244(9), 3027-3073.
- Mónica Liliana Mejía Suaza, D. P. (2019). Protocolos para caracterización de no tejidos conformados por nanofibras. Obtenido de <https://repository.upb.edu.co/bitstream/>

handle/20.500.11912/5880/Protocolos%20para%20 caracterizaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Mukhopadhyay, R., Bhaduri, D., Sarkar, B., Rusmin, R., Hou, D., Khanam, R., ... & Ok, Y. S. (2020). Clay–polymer nanocomposites: Progress and challenges for use in sustainable water treatment. *Journal of hazardous materials*, 383, 121125
- Saeed, K., Khan, I., Ahad, M., Shah, T., Sadiq, M., Zada, A., & Zada, N. (2021). Preparation of ZnO/Nylon 6/6 nanocomposites, their characterization and application in dye decolorization. *Applied Water Science*, 11(6), 1-10.
- Sinha Ray, S., & Okamoto, M. (2003). Polymer/layered silicate nanocomposites: a review from preparation to processing. *Progress in Polymer Science*, 28 (11), 1539-1641. doi:10.1016/j.progpolymsci.2003.08.002
- Wen, Y., Yuan, J., Ma, X., Wang, S., & Liu, Y. (2019). Polymeric nanocomposite membranes for water treatment: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 17(4), 1539-1551.
- Yin, J., & Deng, B. (2015). Polymer-matrix nanocomposite membranes for water treatment. *Journal of membrane science*, 479, 256-275.

CALIDAD DE AGUA EN SAN MATEO AYECAC Y SUS REPERCUSIONES SOCIOAMBIENTALES E HIDROTECNOLÓGICAS EN EL ECOSISTEMA

Samuel Alejandro Lozano Morales

Raúl Herrera Mendoza

Resumen

Hoy en día, uno de los problemas más severos y que va en aumento a nivel mundial es la contaminación hídrica por fuentes de origen antropogénico y geogénico. Esta problemática se ha atribuido esencialmente a la acumulación de sustancias contaminantes; dado que estas, generan daños significativos a la preservación del equilibrio del ecosistema. En este contexto, en México una de las secciones más contaminadas de la cuenca hidrográfica Río Balsas, es la cuenca hidrológica Río Alto Atoyac, particularmente el sistema fluvial Atoyac-Zahuapan; que desde los años 60's ha experimentado un crecimiento urbano e industrial acelerado. Por lo tanto, se asume que debido al mal manejo de las aguas residuales, tanto de origen industrial y municipal, han contribuido a la problemática de la contaminación de este sistema fluvial. Aunado a esto, desde una perspectiva tecnológica para la regeneración del agua, la problemática se potencializa; puesto que, al mezclarse las sustancias contaminantes de tan diversas fuentes, se propicia un reto tecnológico mayúsculo para el diseño de trenes de tratamiento adecuados, eficaces y eficientes. Desafortunadamente, esta situación ha favorecido a padecer, actualmente, un estado severo de contaminación del acuífero impactando esencialmente en un deterioro ambiental y en la salud de la población más vulnerable. En consecuencia, este texto se enfoca en un análisis

sistemático de la literatura dirigida esencialmente a la contaminación química que padece actualmente una de las zonas considerada de mayor impacto socioambiental, como lo es la localidad de San Mateo Ayecac. Enfatizando que, esta falta de planeación ambiental compromete la conservación de los recursos naturales de la región y el bienestar social.

Palabras clave: Contaminantes, deterioro ambiental, efluentes residuales.

Introducción

En la actualidad uno de los problemas más severos a nivel mundial es la contaminación del agua por fuentes de origen antropogénicas y geogénicas. Esta problemática se atribuye esencialmente a la acumulación sustancias contaminantes; las cuales, han llegado en algunos lugares a magnitudes preocupantes, puesto que han generado una gran cantidad de consecuencias nocivas tanto para la salud de los seres vivos como para la preservación del equilibrio del medio ambiente en general. En este contexto, en México una de las secciones más contaminadas de la cuenca hidrográfica Río Balsas, es la cuenca hidrológica Río Alto Atoyac, particularmente el sistema fluvial Atoyac-Zahuapan; que abarca parcialmente los estados de Tlaxcala, Puebla y México. Esta cuenca está constituida por 84 municipios; en la región hidrológica RH18 y IV administrativa (Cotler, 2007), con una extensión aproximada de 4,011 km², la cual desemboca en la presa *Manuel Ávila Camacho* (presa de Valsequillo). En el Estado de Puebla, cubre un área de 2,420 km² e incluye a 22 municipios; en tanto que, en el Estado de Tlaxcala tiene una superficie de 1,591 km², incluyendo 47 municipios de la región, con 8 millones de habitantes (Ascencio Gasca, 2016; INEGI, 2021; Sánchez et al., 2012).

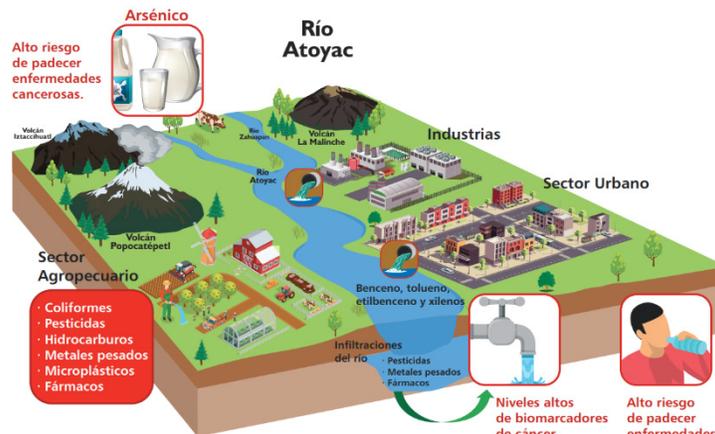
Marco Teórico

En este sistema fluvial se encuentra la cuarta zona más poblada de México (Landsat, 2019), que desde los años 60's ha experimentado un crecimiento urbano e industrial acelerado (Ramírez Varela & López Santos, 2018). Esto debido al establecimiento de parques y corredores industriales; trayendo consigo actividades propias de las industrias textil, petroquímica, automotriz, metalúrgica, metalmecánica, cerámica, electrónica, químico-farmacéutica, papelera (Inclán et al., 2015), sumadas a actividades agrícolas,

ganaderas y manufactureras (Mora et al., 2021). Mismas, que se asume que el mal manejo de las aguas residuales industriales ha contribuido, en gran medida, a la problemática de la contaminación de este sistema fluvial. Además, sumándose a esta problemática, las descargas municipales que son vertidas directamente al río repercuten directamente en la calidad del agua (Sandoval et al., 2009). Esta situación ha favorecido a padecer actualmente un estado severo de contaminación del acuífero, impactando en el deteriorado ambiental y en la salud de la población más vulnerable (Figura. 1).

Figura 1

Principales fuentes de contaminación del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan e impactos en la salud



Fuente: Mora et al., 2021.

Metodología

Se realizó una revisión sistemática de la literatura dirigida esencialmente a la contaminación química que padece actualmente el sistema fluvial Atoyac-Zahuapan; haciendo énfasis, dada su alta vulnerabilidad, en una de las zonas considerada de mayor impacto socioambiental, tal como lo es la localidad de San Mateo Ayecac y sus alrededores, ubicada dentro del municipio de Tepetitla de Lardizábal en el Estado de Tlaxcala, México. Cabe mencionar que en este municipio desde los años 90's se comenzaron a presentar, de manera incidente, casos de muerte por cáncer, insuficiencia renal, púrpura trombocitopénica y leucemia entre sus pobladores (Ramírez Varela & López Santos, 2018). Aunado a que

este municipio ya ha sido referido como un lugar altamente contaminado en el expediente de la Recomendación No. 10/2017 de la Comisión Nacional de Derechos Humanos en relación a la contaminación del Río Atoyac-Zahuapan y sus afluentes (Hernández, 2021; No. 10 /2017 RECOMENDACIÓN, 2017). Particularmente, en la siguiente sección se presenta un compendio referente a la calidad del agua, relacionándola con la información cualitativa y cuantitativa de diferentes contaminantes; con la intención de realizar un primer acercamiento y ofrecer, desde una perspectiva holística, propuestas integrales de saneamiento. Esto a fin de establecer, en un futuro, las bases para la creación de un Modelo Científico-Comunitario Integral y Transdisciplinario para el mejoramiento de la calidad del agua del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan en las comunidades de estudio.

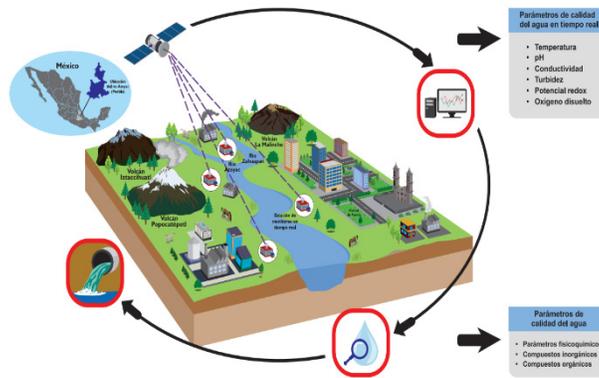
Resultados

A pesar de que han sido mucho los esfuerzos que se han llevado a cabo para la restauración del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan, estos no han tenido el éxito deseado probablemente debido a que no contemplan otros fenómenos que afectan a la calidad del agua. Particularmente, los parámetros estudiados tradicionalmente están basados en los parámetros fisicoquímicos, tales como temperatura (T), potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), coeficiente de absorción espectral (CAE), potencial de reducción de óxido (PRO), turbidez (TURB), demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), conductividad eléctrica (CE), sólidos suspendidos totales (SST) y sólidos totales disueltos (STD), entre otros (Calidad & Agua, 2020); que si bien brindan información sumamente relevante para determinar la calidad del agua, no obstante debería considerarse la conjugación de algoritmos a fin evaluar el Índice General de Contaminación e integrar un panorama suficientemente robusto sobre los diversos tipos de “nuevos contaminantes”, tales como colorantes, agroquímicos, compuestos farmacéuticos, metales pesados, microplásticos, entre otros; esto sin menospreciar los estudios de los sedimentos (Figura. 2). Por ende, en este apartado se presenta una agrupación de los principales contaminantes encontrados en este sistema a partir de su naturaleza y características químicas, con el propósito de establecer las bases o el punto de partida que contribuya a proponer tecnologías mucho más precisas y enfocadas que

sean capaces de sopesar el deterioro ambiental del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan (Hernández-Ramírez et al., 2019).

Figura 2

Detección, procedencia y riesgos ambientales asociados de los contaminantes de la calidad del agua durante eventos de anomalías en el río Atoyac



Fuente: Hernández-Ramírez et al., 2019.

Compuestos orgánicos, colorantes e industria textil

La industria textil produce efluentes con altos niveles de compuestos tóxicos y recalcitrantes, tales como colorantes, tintes y pigmentos, que generan afectaciones y desequilibrio sobre el medio ambiente y el ser humano (Lellis et al., 2019). La clasificación de estas sustancias se basa en su composición química, la cual se caracteriza por una alta estabilidad química debido a la combinación de grupos *azo* con anillos aromáticos (~70%). En el Cuadro 1 se presenta el listado de compuestos orgánicos volátiles identificados en el Agua Residual Textil del municipio de Tepetitla de Lardizábal (Landsat, 2019; Sagrario et al., 2020). Particularmente, en proceso del lavado en el caso de la mezclilla, este textil se caracteriza por utilizar el Reactivo Blue 19 que permanece en el medioambiente aproximadamente 46 años (Wang et al., 2014). “Las Normas Oficiales Mexicanas están relacionadas con las descargas de aguas residuales (NOM-001 y NOM-002) y se sustentan en los niveles máximos permisibles de 8 indicadores de calidad de agua: demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno y las concentraciones de 6 metales pesados (DOF, NOM-001-1996; NOM-002-1996). La limitante de estas normas es que no evalúan el

efecto de estas sustancias peligrosas y sus correspondientes impactos” (CONAGUA, 1997; Sagrario et al., 2020).

Cuadro 1

Determinación de compuestos orgánicos volátiles en el Agua Residual Textil en el municipio de Tepetitla de Lardizábal, en el Estado de Tlaxcala

Sustancia	Concentración (µg/L)
Benceno	0.58
Clorobenceno	0.37
Cloroformo	0.98
Cloruro de vinilo	0.41
1,4 diclorobenceno	0.33
1,2 dicloroetano	0.30
1,1 dicloroetileno	0.23
Hexaclorobutadieno	0.13
Tetracloroetileno	0.13
Tetracloruro de carbono	0.73
Tricloroetileno	0.70

Fuente: Landsat, 2019; Sagrario et al., 2020.

En el Cuadro 2 se presentan las concentraciones contaminantes orgánicos no volátiles en las muestras de Agua Residual Textil en el municipio de Tepetitla de Lardizábal. Puntualmente, se ha observado que los niveles de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno superan los límites máximos permitidos establecidos por la NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012 aunado a que estas sustancias han demostrado tener propiedades tóxicas y que pueden producir patologías neuroconductuales (Davidson et al., 2021). Además, su fácil dispersión en el ambiente y alta solubilidad en agua presentan altos riesgos de contaminar cuerpos de agua subterránea.

Cuadro 2

Determinación de compuestos orgánicos no volátiles en el Agua Residual Textil en el municipio de Tepetitla de Lardizábal, en el Estado de Tlaxcala

Sustancia	Concentración (mg/kg)
Tolueno	150
Etilbenceno	27
Xileno (suma de isómeros)	103
Benzo (a) pireno	13
Dibenzo (a, h) antraceno	20
Benzo (a) antraceno	19
Benzo (a) fluoranteno	13
Benzo (k) fluoranteno	98
Indeno (1,2,3-cd) pireno	15

Fuente: Sagrario et al., 2020.

Plaguicidas

Una de las principales fuentes de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas suele darse al utilizar los ríos para verter residuos de agroquímicos, y aunque el suelo agrícola es el receptor inicial de los agroquímicos aplicados, los cuerpos de agua adyacentes a estas áreas suelen ser los receptores finales (Juárez-Santacruz et al., 2013). En este sentido, la presencia de pesticidas en cuerpos de agua se ha atribuido a los derivados de la escorrentía del campo agrícola y las aguas residuales industriales. Eso es debido a que, los plaguicidas suelen acumularse en el suelo en forma de subproductos secundarios potencialmente tóxicos (Betancourt & Díaz, 2018). En el Cuadro 3 se agrupan los plaguicidas de acuerdo con su uso y su clasificación química.

Cuadro 3

Clasificación de plaguicidas según su uso

Plaguicida	Clase: Sustancia
Insecticida	Organoclorado: Endosulfán, Clordano*, Aldrín*, Deldrín*, DDT*, Lindano*, Organofosfato: Diazinón, Malatión*, Paratión, Clorpirifos Carbamato: Aldicarb, Carbofuran, Carbaryl Piretroide: Deltametrina, Fenpropatrina Neonicotinoide: Acetamiprida, Tiametoxam Degradado de fenilpirazol: Sulfóxido de Aldicarb, Sulfato de Endosulfán
Herbicida	Triazina: Atrazina, Cianazina Aminofosfonato: Glifosato* Cloroacetamida: Alaclor, Butaclor, Dimetenamida, Metolaclor
Fungicida	Benzamida: fluopicolida, zoxamida Carboxamida: Boscalid captofol Hidrocarburo clorado: Hexaclorobenceno, Diclorometano (INECC, 2019)* Organofosfato: Edifenphos, iprobenfos Clorofenilo: diclorán, quintoceno

*Reactivos detectados en el sistema fluvial Atoyac-Zahuapan.

Fuente: Berger, 2019; Hernandez-Ramirez et al., 2019; INECC, 2019.

Además, otra propuesta de clasificación de plaguicidas se basa en su composición química, por lo que en el Cuadro 4 se describen los componentes principales de algunos de los grupos comunes de plaguicidas.

Cuadro 4

Plaguicidas según su composición química y algunas características generales

Grupo	Composición química	Características	Efectos
<i>Organoclorados*</i> : DDT, Aldrín, Lindano, Clordano.	Átomos lipofílicos y no polares, incluidos carbono, cloro.	Lípido soluble, tóxico para la variedad de animales y persistencia a largo plazo.	Tienden a acumularse en el tejido graso de animal, biomagnificación.
<i>Organofosforados*</i> : Malatión, Diazinón, Paratión.	Alifáticos, cíclicos y heterocíclicos poseer átomo de fósforo central en molécula.	Soluble en solvente orgánico y en agua. Menos persistencia que los hidrocarburos clorados.	Tienden a infiltrarse en el acuífero y llegar a las aguas subterráneas. Afectar sistema nervioso central.
<i>Piretroides*</i> : <i>Piretrinas</i> .	Alcaloide obtenido de pétalos de especies de plantas, a saber: Chysanthemum cinerariifolium.	Menos persistente que otros plaguicidas, es más seguro utilizarlo como insecticidas domésticos.	Afecta el sistema nervioso.
<i>Carbamatos*</i> : Carbarilo.	Estructura química basada en alcaloide de una especie vegetal, a saber: Physostigma venenosum.	Persistencia relativamente baja.	Solo matan insectos de espectro limitado, pero altamente tóxico para los vertebrados..
<i>Biológico*</i> : Becillus thuringiensis, Bt y su subespecie.	Microorganismos, virus y sus productos metabólicos	Aplicado contra plagas forestales (mariposas) y cultivos.	Afecta a otras orugas

*Reactivos detectados en el sistema fluvial Atoyac-Zahuapan.

Fuente: Berger, 2019; Hernandez-Ramirez et al., 2019; INECC, 2019.

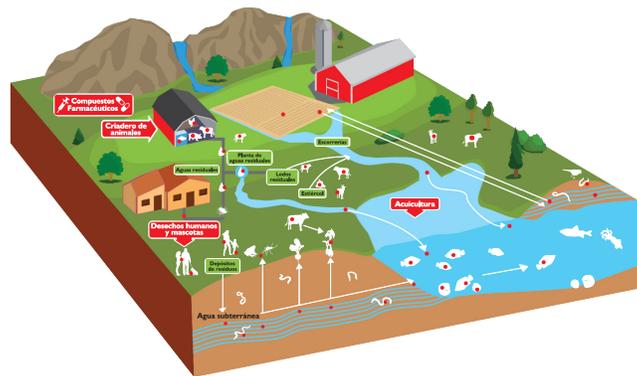
Compuestos farmacéuticos

Otra problemática de contaminación que afecta al *sistema fluvial Atoyac-Zahuapan* tiene su origen en la liberación de compuestos farmacéuticamente activos (PhAC) al medio ambiente. Cabe remarcar que las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR's) podrían ser una fuente importante de contaminantes ambientales emergentes, porque las

concentraciones de PhAC en el agua cruda están determinadas fundamentalmente por la eficiencia de los procedimientos de tratamiento de aguas residuales (Kondor et al., 2021). Solo por mencionar un caso particular, los antibióticos, antivirales, antiparasitarios y antifúngicos y sus metabolitos pueden ingresar al medio ambiente a través de una variedad de vías, que incluyen sitios de fabricación, aguas residuales no tratadas de hogares y hospitales, plantas de tratamiento de aguas residuales y corrientes de desechos municipales, cría de animales, lodos de aguas residuales, entre otros (ver Figura. 3).

Figura 3

Vías de exposición de antibióticos en el medio ambiente. Los residuos de antibióticos se representan simbólicamente como puntos



Fuente: Berkner et al., 2014; Hafiz & Jamil, 2021.

Aunado a esto, recientemente algunas determinaciones cuantitativas (Cuadro 5) se han podido llevar a cabo mediante el empleo de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas GC/MS para demostrar la presencia de *naproxeno* y *diclofenaco* (medicamentos antiinflamatorios no esteroides), y *triclosán* (agente antibacteriano) en el sistema fluvial Atoyac-Zahuapan (Isaac-Olivé & Navarro-Frómata, 2019).

Cuadro 5

Ejemplo de algunos compuestos farmacéuticos cuantificados en sistema fluvial Atoyac-Zahuapan

Compuesto farmacéutico	Concentración anual promedio cuantificada [μgL^{-1}]
Naproxeno	0.95
Diclofenaco	0.28
Triclosán	7.45

Fuente: Isaac-Olivé & Navarro-Frómata, 2019,

Metales pesados

Los suelos agrícolas y el agua constituyen la base fundamental para la producción de alimentos; sin embargo, a causa de ciertos procesos naturales y antropogénicos pueden acumularse algunos tipos de contaminantes, que en elevadas concentraciones son altamente tóxicos, entre ellos los denominados *metales pesados*; catalogados así debido a sus características químicas fundamentalmente referidas a sus altos valores de peso atómico y densidad; cabe señalar que el término “*metal pesado*” se ha utilizado para describir a los elementos químicos metálicos y metaloides que son tóxicos para los seres humanos y el medio ambiente. Aunado a que el uso de *metales pesados* en la agricultura ha sido la fuente secundaria de contaminación mediante el uso de agroquímicos (Figura 4).

Figura 4

Concentraciones de metales y sus posibles riesgos ecológicos en sedimentos fluviales de la cuenca del río Atoyac, centro de México: influencias volcánicas y antropogénicas



Fuente: Rodríguez-Espinosa et al., 2018.

En este contexto y atendiendo al enfoque de trabajo, en el Cuadro 6 se agrupan algunos de los metales encontrados en las aguas del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan tales como As, Al, Fe, Cu, Pb, Zn, Ni, Vn, Mb, Hg, Co, Zr, Se, Sc, Mn, Cd y Cr (Sagrario et al., 2020). Así por ejemplo, en un estudio realizado sobre la disposición de metales pesados en el agua, suelo, alfalfa y leche de vaca de la región de Tepetitla se concluyó que las plantas de alfalfa contenían metales pesados en las partes comestibles, y el consumo de éstas por los animales representa un alto riesgo a la salud, debido a la acumulación que se puede generar por el consumo crónico, principalmente de Cd, Pb y As; que están en niveles de incumplimiento de las normas internacionales (Castro-González et al., 2018). Además, este estudio indicó que el consumo de leche de vaca que contenía pequeñas cantidades de metales pesados de forma individual o mixta, y de forma crónica, podría ser una de las causas del riesgo de contraer enfermedades cancerígenas, tal como lo ha relacionado La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer a través de la clasificación de estos contaminantes en cuatro grupos mostrados en el Cuadro 6 (Briffa et al., 2020).

Cuadro 6

Clasificación de carcinogenicidad por metales

Grupo	Nivel de carcinogenicidad en humanos	Evidencia	Metales pesados
I	Carcinogénico	Evidencia suficiente en humanos	1. Aluminio* 2. Arsénico* 3. Cadmio* 4. Cromo VI* 5. Níquel*
IIA	Probablemente cancerígeno	Evidencia limitada en humanos, evidencia suficiente en animales	1. Plomo*
IIB	Probablemente cancerígeno	Evidencia limitada en humanos, no hay evidencia suficiente en animales	1. Vanadio* 2. Molibdeno* 3. Mercurio* 4. Níquel metálico y aleaciones* 5. Plomo* 6. Cobalto* 7. Estroncio* 8. Circonio*
III	Carcinogenicidad no clasificable	Evidencia insuficiente en humanos, evidencia suficiente en animales	1. Cromo III* 2. Cobre* 3. Mercurio* 4. Selenio* 5. Escandio* 6. Arsénico y compuestos orgánicos de arsénico no metabolizados por humanos*
IV	Probablemente no cancerígeno	La evidencia sugiere que no hay propiedades cancerígenas en humanos o animales.	1. Manganeso* 2. Plata 3. Zinc* 4. Fe*

*Algunos metales detectados en el *sistema fluvial Atoyac-Zahuapan*.

Fuente: Bonilla-y-Fernández, 2014; Briffa et al., 2020; Castresana et al., 2018; Castro Gonzalez et al., 2017; Kumar et al., 2019.

Parámetros químicos: nitrógeno, boro, fósforo, dureza, salinidad; y conductividad eléctrica

La calidad del agua de riego está determinada por la concentración y composición de los iones constituyentes que se encuentran disueltos en ella. Esto, con la finalidad comprender los procesos de salinización y la sodificación. Por lo tanto, el estudio de los parámetros químicos tales como demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), nitrógeno total (NT), alcalinidad (HCO_3^-), cloruros, sulfatos (SO_4^{2-}), dureza $CaCO_3$ (DT), dureza al calcio $CaCO_3$ (DCa^{2+}), dureza al magnesio $CaCO_3$ (DMg^{2+}), calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), sodio (Na^+), potasio (K^+), fósforo (P- PO_4) y boro (B), entre otros, son de vital importancia. Con relación a esto, uno de los parámetros frecuentemente utilizados para evaluar la calidad del agua de riego es mediante la determinación de la conductividad eléctrica (CE) (Mena Mejía et al., 2017). En este sentido, y con la finalidad de que esta información sea lo más útil posible para los interesados, se muestra en el Cuadro 7, la clasificación de la salinidad del agua para riego según su valor de conductividad eléctrica.

Cuadro 7

Salinidad del agua para riego según su valor de conductividad eléctrica (CE)

Clasificación	Conductividad eléctrica [$\mu S/cm$]
Baja salinidad	0-250
Salinidad media	250-750
Altamente salina	750-2,250
Muy altamente salina	2,250-5,000

Fuente: Palacios & Aceves, 1994.

En cuanto al elemento químico boro (B) cabe mencionar que es un importante micronutriente de difícil manejo debido a que su transporte de nutrientes es muy variante entre las especies vegetales con síntomas de deficiencia y toxicidad en un rango muy angosto. Además, algunos estudios indican que aguas de reciente percolación que han circulado a través de rocas de tipo volcánico tienen altas concentraciones de ácido bórico (H_3BO_3), esto explica su origen a través de la meteorización. Lo anterior se confirmó con la cuantificación de altas concentraciones de aproximadamente de 1.9 mg/L de B que se obtuvieron en las

aguas subterráneas del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan. A colación y como es sabido, en esta zona de estudio, gran parte de la producción agrícola está dirigida al cultivo de lechuga, avena, calabaza y maíz, entre otros; estos son cultivos moderadamente sensibles, que toleran concentraciones de B entre 2 y 4 mg/L. Sorgo, tomate y alfalfa son cultivos tolerantes, que resisten concentraciones de B entre 4 y 6 mg/L (Carrera-Villacrés et al., 2011). Por lo que en el Cuadro 8 se muestran los valores de las concentraciones de B tolerantes correspondientes a los principales cultivos de la zona del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan. Por otra parte, en términos de toxicidad de la salinidad del agua de riego, la más común proviene del cloruro. El cloruro no es adsorbido ni retenido por los suelos, por lo tanto, se transporta a través del agua, este es absorbido por el cultivo, se mueve en la corriente de transpiración y se acumula en las hojas. Si la concentración de cloruro en las hojas excede la tolerancia del cultivo, se desarrollan síntomas de daño como quemaduras de las hojas o sequedad del tejido de las hojas. Las tolerancias de los cultivos al cloruro no están tan bien documentadas como las tolerancias de los cultivos a la salinidad, sin embargo, se plasman en el Cuadro 8 un condensado de la literatura con información relevante de algunos cultivos de interés en la zona del Atoyac-Zahuapan referente a la tolerancia al cloruro en el agua de riego (Carrera-Villacrés et al., 2011).

Cuadro 8

Valores de las concentraciones de B tolerantes correspondientes a los principales cultivos de la zona del sistema fluvial Atoyac-Zahuapan

Cultivo	Valor máximo tolerantes			
	Boro [mg/L]	Cloruro [me/L]	Sodio [mg/L]	Conductividad eléctrica [dS/m]
<i>Tomate</i>	6.0	10	2.0	2.0
<i>Alfalfa</i>	6.0	20	6.0	2.0
<i>Perejil</i>	6.0	20	6.0	4.0
<i>Sorgo</i>	6.0	20	2.0	6.8
<i>Maíz</i>	4.0	20	1.0	1.7
<i>Avena</i>	4.0	-	2.0	1.7
<i>Lechuga</i>	4.0	10	2.0	1.25
<i>Calabaza</i>	4.0	2.0	1.2	-
<i>Col</i>	4.0	2.0	1.8	> 20
<i>Rábano</i>	2.0	2.0	1.2	-
<i>Pepino</i>	2.0	2.0	2.0	20
<i>Frijol</i>	1.0	1.0	1.6	-
<i>Trigo</i>	1.0	2.0	6.0	-
<i>Cebada</i>	1.0	6.0	8.0	20
<i>Vid</i>	< 1.0	2.0	1.5	20
<i>Cebolla</i>	< 1.0	2.0	1.2	

Fuente: R. S. 1423211760956 Ayers et al., 1976; R. S. Ayers & Westcot, 1985; Carrera-Villacrés et al., 2011.

En este contexto, y en atención a la población concerniente al sistema fluvial Atoyac-Zahuapan estudios recientes han reportado que las concentraciones de fósforo total en varios tramos del río Zahuapan están altamente relacionadas por actividades agrícolas, urbanas e industriales a una concentración promedio de 52.9 mg/L, superando en algunos sitios el valor guía de 20 mg/L establecido por la norma mexicana (Mena Mejía et al., 2017; NOM-001-SEMARNAT-1996, 1996). Aunque el río Zahuapan carece de estudios recientes sobre concentraciones de nitrógeno, algunos resultados indican la presencia de nitrógeno total, nitrógeno total kjeldahl, nitrógeno orgánico y el nitrógeno como amoníaco, en el área cercana a la confluencia del Atoyac-Zahuapan (Muñoz-Nava et al., 2013), esta información se condensa en el Cuadro 9.

Cuadro 9

Concentración de nitrógeno, fósforo, boro y sales cuantificadas en el sistema fluvial Atoyac-Zahuapan

Sustancia	Concentración cuantificada (mg/L)
Nitrógeno total (NT)	11.50
Fósforo (PT)	52.30
Boro	1.9
Amoniacó (NH_3)	1.21
Amonio (NH_4^{+})	44.20
Nitrógeno kjeldahl total (TKN)	10.13
Nitrógeno orgánico (N_{org})	3.65
Nitrógeno como amoniacó (N-NH_3)	7.60
NO_3^-	0.45
NO_2^-	0.07
Fosfato	2.73
Ca^{2+}	102.00
Mg^{2+}	62.70
Na^+	50.60
K^+	15.20
HCO_3^-	378.00
Cl^-	33.00
SO_4^-	69.20

Fuente: Carrera-Villacrés et al., 2011; González-Pérez et al., 2019; Mora et al., 2021.

Conclusiones

El sistema fluvial Atoyac-Zahuapan presenta problemas medioambientales relacionados con la contaminación de agua, suelos, aire, erosión y deforestación; así como también esto ha derivado en graves problemas de salud pública. Que sin duda alguna la mayor parte de ese deterioro ha sido provocado por las actividades antropogénicas cercanas al perímetro del acuífero, producto del mal manejo de residuos a lo largo de más de 40 años. Esta falta de planeación ambiental compromete la conservación de los recursos naturales de la región y, por consecuencia, el bienestar social. Por lo que es prioritario que la información generada con respecto a la problemática ambiental esté organizada, sistematizada y condensada para que se emplee como indicativo de partida para lograr

la formulación de políticas públicas, programas de manejo y conservación ambiental, mucho más precisas por parte de las autoridades correspondientes.

Referencias

- Acencio Gasca, I. J. (2016). Metodología para la obtención de gastos en cuencas urbanas y semiurbanas, aplicado en localidades que aportan a la presa Manuel Ávila Camacho. *Programa de Maestría y Doctorado En Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.*, 82.
- Ayers, R. S. 1423211760956, FAO, R. (Italy). D. de F. de T. y A. spa 186726, & Westcot, D. W. 1423211760957. (1976). *Calidad del agua para la agricultura*. Roma (Italy) FAO.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water Quality for Agriculture. *FAO of the UNITED NATIONS, Rome, Italy*.
- Berger, P. (2019). *Desarrollo de un método para la detección y cuantificación del plaguicida glifosato en muestras de agua de San Simón Atzitzintla, Puebla*. [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/Guias/Guias_Ev_Riesgos/Manual_Eval_Riesgos_Pyme/evaluacionriesgospyme.pdf
- Berkner, S., Konradi, S., & Schönfeld, J. (2014). Antibiotic resistance and the environment—there and back again. *EMBO Reports*. <https://doi.org/10.15252/embr.201438978>
- Betancourt, R., & Diaz, O. (2018). Los pesticidas: clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Revista Científica Agroecosistemas, September*, 14–30.
- Bonilla-y-Fernández, M.-N. (2014). Concentraciones de metales pesados totales en aguas residuales vertidas a ecosistemas acuáticos por dos parques industriales en Puebla , México. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 02.
- Briffa, J., Sinagra, E., & Blundell, R. (2020). Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon*, 6(9), e04691. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04691>

- Carrera-Villacrés, D. V., Ortega-Escobar, H. M., Ramírez-García, J., Ramírez-Ayala, C., Trejo-López, C., & Becerril-Román, A. E. (2011). Boro, fosfatos e índices de salinidad del sistema hidrográfico Zahuapan-Atoyac, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 2(2), 5–21.
- Castresana, G. P., Flores, V. T., Reyes, L. L., Aldana, F. H., Vega, R. C., Perales, J. L. M., Suastegui, W. A. G., Fonseca, A. D., & Silva, A. H. (2018). Atoyac River pollution in the metropolitan area of Puebla, México. *Water (Switzerland)*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/w10030267>
- Castro Gonzalez, N. P., Moreno-Rojas, R., Calderón Sánchez, F., Moreno Ortega, A., & Juarez Meneses, M. (2017). Assessment risk to children's health due to consumption of cow's milk in polluted areas in Puebla and Tlaxcala, Mexico. *Food Additives and Contaminants: Part B Surveillance*, 10(3), 200–207. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1316320>
- Castro-González, N. P., Moreno-Rojas, R., Calderón-Sánchez, F., Moreno-Ortega, A., & Tamariz-Flores, J. V. (2018). Heavy metals in milk from cows fed alfalfa produced in soils irrigated with wastewater in Puebla and Tlaxcala, Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 9(3), 466–485. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i3.4358>
- CONAGUA. (1997). *Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEMARNAT-1996 NOM-002-SEMARNAT-1996 NOM-003-SEMARNAT-1997*. 65.
- Cotler, H. (2007). Delimitación de las Cuencas Hidrográficas de México a escala 1:250 000. *Inegi, Ine, Conagua*, 1–34.
- Davidson, C. J., Hannigan, J. H., & Bowen, S. E. (2021). Effects of inhaled combined Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylenes (BTEX): Toward an environmental exposure model. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 81(July 2020), 103518. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103518>
- González-Pérez, E., Ortega-Escobar, H. M., Yáñez-Morales, M. J., & Rodríguez-Guillen, A. (2019). Diagnosis of indicators of physical-chemical quality of water in affluents of the Atoyac river. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 10(1), 30–51. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-01-02>
- Hafiz, S., & Jamil, S. (2021). *Antimicrobial resistance - A global threat*. ONU, Programa Para El Medio Ambiente. <https://doi.org/10.3126/ijim.v1i2.7405>

- Hernández, J. H. C. (2021). Historical origin of water pollution and legal analysis of the Atoyac river. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 12(1), 133–191. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2021-01-05>
- Hernandez-Ramirez, A. G., Martinez-Tavera, E., Rodriguez-Espinosa, P. F., Mendoza-Pérez, J. A., Tabla-Hernandez, J., Escobedo-Urías, D. C., Jonathan, M. P., & Sujitha, S. B. (2019). Detection, provenance and associated environmental risks of water quality pollutants during anomaly events in River Atoyac, Central Mexico: A real-time monitoring approach. *Science of the Total Environment*, 669, 1019–1032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.138>
- Inclán, B., Alberto, L., Chávez, S., Javier, J., Dávila, I., Luis, J., Javier Puga Martínez, & Cecilia, A. (2015). *Evaluación Toxicológica Del Río Atoyac, Pue., Y Su Relación Con Los Parámetros Fisicoquímicos*. <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/183.pdf>
- INECC, (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático). (2019). *Diagnóstico sobre la contaminación por plaguicidas en agua superficial, agua subterránea y suelo 2019*. 4209, 37.
- INEGI. (2021). Censo de población y vivienda. *Censo de Poblacion y Vivienda*, 1–3. <http://censo2020.mx/>
- Isaac-Olivé, K., & Navarro-Frómata, A. E. (2019). Detection of Pharmaceuticals in the Environment. In *Handbook of Environmental Chemistry*. https://doi.org/10.1007/698_2017_165
- Juárez-Santacruz, L., García-Nieto, E., Costilla-Salazar, R., García-Gallegos, E., Coronel-Olivares, C., Gómez-Camarillo, M., & Gaytán-Oyarzún, J. (2013). Assessment of the Genotoxic Potential of Sediments Contaminated with POPs and Agricultural Soils Using Vicia faba Micronucleus Assay. *Soil and Sediment Contamination*, 22(3), 288–300. <https://doi.org/10.1080/15320383.2013.726293>
- Kondor, A. C., Molnár, É., Vancsik, A., Filep, T., Szeberényi, J., Szabó, L., Maász, G., Pirger, Z., Weiperth, A., Ferincz, Á., Staszny, Á., Dobosy, P., Horváthné Kiss, K., Jakab, G., & Szalai, Z. (2021). Occurrence and health risk assessment of pharmaceutically active compounds in riverbank filtrated drinking water. *Journal of Water Process Engineering*, 41(January). <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102039>

- Kumar, V., Parihar, R. D., Sharma, A., Bakshi, P., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., Karaouzas, I., Bhardwaj, R., Thukral, A. K., Gyasi-Agyei, Y., & Rodrigo-Comino, J. (2019). Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. *Chemosphere*, 236, 124364. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124364>
- Landsat, N. (2019). *Cuenca hidrológica Alto Atoyac Humedales Informe técnico USGS/ NASA Landsat*. www.inegi.org.mx
- Lellis, B., Fávoro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., & Polonio, J. C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Mena Mejía, I., Bustamante González, Á., Vargas López, S., Olvera Hernández, J. I., & Méndez Espinoza, 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>
- Mora, A., García-Gamboa, M., Sánchez-Luna, M. S., Gloria-García, L., Cervantes-Avilés, P., & Mahlkecht, J. (2021). A review of the current environmental status and human health implications of one of the most polluted rivers of Mexico: The Atoyac River, Puebla. *Science of the Total Environment*, 782, 146788. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146788>
- Muñoz-Nava, H., Suárez-Sánchez, J., Vera-Reyes, A., Baumann, J., Carreón-Coca, M. F., & Montealegre-Muñoz, R. G. (2013). Relación entre el nitrógeno y las microcuencas del río Zahuapan, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 4(4), 47–61.
- No. 10 /2017 RECOMENDACIÓN. (2017). CNDH. Recomendación no. 10 /2017 emitida por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos sobre la violación a los derechos humanos a un medio ambiente sano, saneamiento del agua y acceso a la información, en relación con la contaminación de los ríos Atoyac. *Comisión Nacional de Los Derechos Humanos*, 56, 211. https://www.cndh.org.mx/alldocs/recomendacionesrec_201_010-cc6uddp
- NOM-001-SEMARNAT-1996. (1996). NOM-001-SEMARNAT-1996 Límites Máximos Permisibles De Contaminantes En Las Descargas De Aguas Residuales En Aguas Y Bienes Nacionales. *Norma Oficial Mexicana*, 33.

- Palacios, O., & Aceves, E. (1994). *Instructivo para el muestreo registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola*. Colegio de Postgraduados.
- Ramírez Varela, A., & López Santos, J. D. (2018). ¡Luchamos por un Atoyac con Vida! La lucha contra la contaminación del Río Atoyac y los daños a la salud que origina en el sur de Tlaxcala, México. *Bajo El Volcán*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28659183007>
- Rodríguez-Espinosa, P. F., Shruti, V. C., Jonathan, M. P., & Martínez-Tavera, E. (2018). Metal concentrations and their potential ecological risks in fluvial sediments of Atoyac River basin, Central Mexico: Volcanic and anthropogenic influences. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148(November 2017), 1020–1033. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.068>
- Sagrario, P., Velázquez, H., Por, D., Tania, D., & Sepúlveda, L. V. (2020). Evaluación de la contaminación generada por el agua residual textil vertida al río Atoyac, Tlaxcala. *Repositorio Digital, BUAP*. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/10264/20201215103103-4770-T.pdf?sequence=2>
- Sánchez, M., Áviles, M., Moeller, G., González, L., Sánchez, M., Sánchez, F., & Ramírez, N. (2012). *Desarrollo de metodologías de laboratorio para la detección de contaminantes emergentes y su identificación en cuerpos de agua (agua sedimento) y en aguas residuales (en influente, efluente y lodos de PTAR)*. 72.
- Sandoval, A. M., Pulido-Flores, G., Monks, S., Gordillo Martínez, A. J., & Villegas Villarreal, E. C. (2009). EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA, MICROBIOLÓGICA Y TOXICOLÓGICA DE LA DEGRADACIÓN AMBIENTAL DEL RÍO ATOYAC, MÉXICO. *Evaluación Físicoquímica, Microbiológica Y Toxicológica De La Degradación Ambiental Del Río Atoyac, México*, 34, 880–887.
- Syafrudin, M., Kristanti, R. A., Yuniarto, A., Hadibarata, T., & Rhee, J. (2021). *Pesticides in Drinking Water — A Review*. 1–15.
- Wang, P., Cao, M., Wang, C., Ao, Y., Hou, J., & Qian, J. (2014). Kinetics and thermodynamics of adsorption of methylene blue by a magnetic graphene-carbon nanotube composite. *Applied Surface Science*, 290, 116–124. <https://doi.org/10.1016/J.APSUSC.2013.11.010>

PROBLEMAS AMBIENTALES DE LOS PAISAJES EN LA MICROCUENCA ATOYAC-XOCHIAC, SUBCUENCA ALTO ATOYAC. UNA APROXIMACIÓN DESDE LA GEOECOLOGÍA

Flores-Domínguez, Ángel David
Priego-Santander, Ángel

Resumen

El objetivo del trabajo fue analizar los problemas ambientales que inciden en la microcuenca Atoyac-Xochiac, perteneciente a la Sub Cuenca Alto Atoyac entre los estados de Tlaxcala y Puebla, México. Tal región es considerada como uno de los infiernos ambientales en México, dados los problemas socioambientales resultantes del manejo insustentable del paisaje, el alto nivel de contaminación hídrica y el riesgo sanitario para la población.

El análisis de problemas ambientales se fundamentó en la Geoecología que toma como marco geográfico a unidades de paisaje (Bastian et al., 2012; Mateo, 2008), las cuales fueron definidas para el área de estudio por Flores-Domínguez y Priego-Santander (2021). Se identificaron paisajes en la microcuenca con incidencia de problemas ambientales por la degradación del suelo y de la cobertura vegetal natural, que repercute en la disminución de las funciones y servicios ecosistémicos, en la pérdida de biodiversidad y en una simplificación de la diversidad paisajística. Se finaliza con una serie de propuestas para mejorar el estado ambiental de la microcuenca.

Palabras clave: Geografía del paisaje, análisis espacial, degradación ambiental.

Introducción

El universo de componentes físicos y bióticos presentes en un territorio interactúan permanentemente, de manera que, modificaciones en los patrones de distribución y abundancia de alguno afecta a todo el sistema (Bailey 2009). Al respecto, la degradación de la naturaleza por motivos antrópicos, ha cobrado dimensiones globales desde hace algunas décadas, motivando la emergencia de propuestas y debates sobre el uso racional de los recursos, como el enfoque de la sustentabilidad ambiental del paisaje.

De acuerdo a Mateo-Rodríguez (2012), las investigaciones sobre sustentabilidad ambiental deben soportarse en propuestas teóricas y metodológicas que integren conocimientos sobre la estructura y funcionamiento del sistema ecológico-humano. En este sentido, la Geoecología es un enfoque sustentado en la perspectiva física geográfica de los estudios sobre el paisaje, que permite el análisis tanto del funcionamiento de los componentes biofísicos del paisaje (estabilidad funcional), como la ocurrencia y el grado de afectación de problemas ambientales por su uso irracional.

Los problemas ambientales ocurren por sobrepasar las capacidades de provisión de bienes y servicios de la naturaleza. Como problema ambiental se entiende la combinación de los diferentes objetos de la racionalidad ambiental, que se manifiestan en los procesos que desarticulan la estructura y el funcionamiento del ambiente, teniendo como consecuencia, el dificultar el cumplimiento de las funciones socio-económicas (Ainstein *et al.* 2003). Una posibilidad de reconocer y cuantificar la dimensión del problema, se da a través de atributos ambientales que evidencian el tipo particular de degradación ambiental y su grado de afectación.

En este sentido, la degradación geoecológica se define como la pérdida de atributos y propiedades sistémicas por cuestiones antrópicas, que deben garantizar el cumplimiento de las funciones geoecológicas y la actividad de los mecanismos de autorregulación (Mateo-Rodríguez y Da Silva 2007). Como atributos de problemas ambientales se pueden considerar la pérdida de biodiversidad y del hábitat, degradación o antropización de la cobertura vegetal del suelo, degradación del suelo (pérdida del horizonte húmico, compactación, salinización), reducción del nivel de agua subterránea, inundaciones, contaminación (del suelo, del agua y atmosférica), alteración de los recursos hídricos, pérdida de la calidad visual de los paisajes, entre otras.

Diversos trabajos han abordado los diferentes problemas socioambientales en la parte alta de la cuenca del río Atoyac, compartida principalmente entre los estados de Puebla y Tlaxcala (Bravo-Inclán et al., 2015; Ramírez-Varela y López-Santos, 2018; Altieri, 2019; Ávila et al., 2021). Tales problemas mayormente centrados en la contaminación hídrica, pero no limitados a esta, requieren analizarse desde el marco geográfico de la cuenca hidrográfica (Flores-Domínguez y Priego-Santander, 2021), permitiendo así comprender en toda su dimensión, la complejidad de los componentes físicos, naturales y humanos dentro del territorio.

De esta manera, este trabajo tiene como objetivo analizar los problemas ambientales que inciden en la cuenca, específicamente para la parte donde confluyen los ríos Atoyac y Xochiac, que contribuya al reconocimiento del estado ambiental de la cuenca y al planteamiento de propuestas para su atención. Se eligió esta sección de la cuenca dada su alta concentración de actividades económicas macro y micro industriales que agravan la crisis socioambiental derivado de las descargas de aguas residuales en el lugar y afectan directamente a la población que allí habita (Ávila et al., 2021).

Marco teórico

En el marco de la ciencia geográfica es posible ayudar a resolver los retos que representan los problemas ambientales, en donde el enfoque paisajístico de la Geoecología cobra relevancia por aproximarse al conocimiento del socioecosistema mediante conceptos y métodos de análisis, ampliamente utilizados en ordenamientos ecológicos del territorio, zonificaciones y regionalizaciones, análisis espaciales de la biodiversidad, de la fragilidad ecológica, evaluaciones ambientales, entre otras. Estos trabajos se caracterizan por un análisis integral mediante unidades de paisaje estructuradas tanto por procesos naturales formadores del paisaje (litología, clima y geomorfología), como aquellos más dinámicos en los que es posible identificar el grado de apropiación (hidrología, edafología y uso del suelo).

Derivado de la intensidad de uso del paisaje manifestado en la presencia de problemas ambientales, es posible definir los siguientes niveles del Estado Ambiental (Mateo-Rodríguez, 2012):

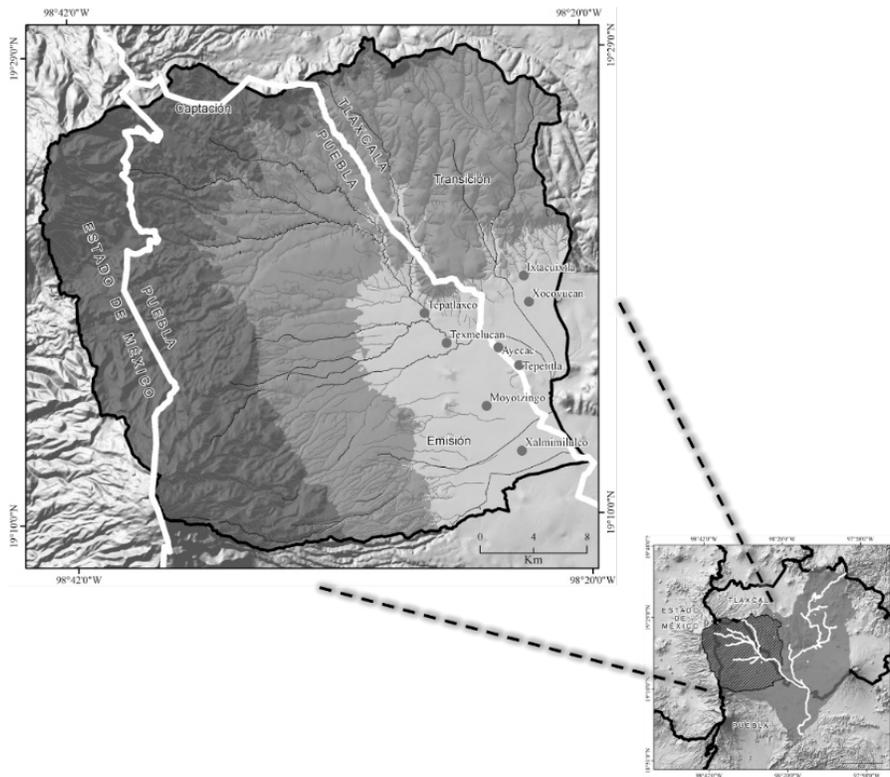
- Paisajes Altamente Estables: Conserva la estructura original, sin problemas de deterioro ambiental significativos. La influencia antropogénica en la transformación del paisaje es de moderada intensidad. Estos paisajes, constituyen los núcleos de alta estabilidad, en donde se combina un alto grado de conservación de la naturalidad y el uso compatible de los recursos.
- Paisajes Medianamente Estables. Reflejan pocos cambios en la estructura. Inciden algunos problemas de intensidad leve a moderada, que no alteran el potencial natural y la integridad del paisaje. El uso del territorio es acorde con el potencial y puede ser sustentado por varias generaciones. Estos espacios requieren el mantenimiento de su funcionalidad mediante actividades de cuidado y prevención de daños con relativo bajo costo económico.
- Paisajes Escasamente Estables: Se caracterizan por fuertes cambios en su estructura y funcionamiento, de tal manera que el cumplimiento de las funciones geoecológicas es limitado, aunque aún conservan la integridad. La incidencia de problemas ambientales por sobreexplotación de los recursos, resulta en descenso significativo de la productividad, la cual muy posiblemente se perderá en el curso de una generación.
- Paisajes Inestables: Pérdida casi total de su estructura y funcionamiento, con eliminación paulatina de las funciones geoecológicas. Son comunes los problemas ambientales de fuerte intensidad. Generalmente, el uso de la tierra y el impacto humano han excedido la capacidad de carga y soporte del paisaje, lo que reduce drásticamente sus funciones potenciales. Requieren la implementación de acciones de mitigación de daños y protección ambiental para recuperar el potencial natural.
- Paisajes Altamente Inestables: Consiste en la pérdida y alteración generalizada de la estructura espacial y funcional del paisaje. Los problemas ambientales son de intensidad muy fuerte. El potencial inicial de recursos ha sido completamente destruido y su uso para habitación humana no es recomendado. La población generalmente necesita ser reubicada lo que implica al mismo tiempo enormes costos.

Metodología

Contexto geográfico. El área de trabajo, corresponde a la delimitación de la microcuenca Atoyac-Xochiac y clasificación de unidades de paisaje propuestas por Flores-Domínguez y Priego-Santander (2021). Las partes altas de la cuenca corresponden a las laderas del volcán Iztaccíhuatl y del Espolón de la Sierra Nevada, en su exposición oriente (Figura 1). La superficie de la microcuenca delimitada para este trabajo es de aproximadamente 1,190 km².

Figura 1

Mapa de ubicación de la microcuenca Atoyac-Xochiac (recuadro principal) al interior de la subcuenca Alto Atoyac (área sombreada en el recuadro inferior)



Fuente: Tomado de Flores-Domínguez y Priego-Santander (2021).

Problemas ambientales. Se analizaron la degradación del suelo y la degradación de la cobertura vegetal. La degradación del suelo se calculó mediante el índice de degradación del suelo (IDS), que cuantifica los tipos de erosión (eólica e hídrica) dominantes en cada

unidad de paisaje y su grado de afectación. Por su parte, la antropización de la cobertura vegetal del suelo se calculó mediante el índice de antropización de la cubierta del suelo (IACV, Shishenko 1988, modificado por Priego-Santander et al. 2005) para cuantificar el grado de modificación antropogénica de la cobertura vegetal natural en cada unidad de paisaje.

Con respecto al IDS, la superficie erosionada en las unidades de paisajes se determinó a partir de la cartografía de erosión del suelo de INEGI (2013). Se asignó un valor de ponderación a cada tipo y grado de erosión (Cuadro 1) de acuerdo a la susceptibilidad del suelo a erosionarse con base en INEGI (2004).

Cuadro 1

Valor de ponderación para diferentes tipos e intensidades de erosión del suelo

Tipo de erosión	Intensidad	Ponderación
Sin erosión evidente		0.01
Eólica, Hídrica	Leve	0.25
	Moderado	0.50
	Fuerte	0.75
	Extremo	0.99
Antrópica (Asentamientos humano, transformaciones en el paisaje)		

Fuente: Elaboración propia a partir de INEGI (2013).

El IDS cuantifica las áreas de todos los tipos y grados de erosión normalizadas por su valor de ponderación al interior de cada unidad de paisaje. El índice varía entre 0 y 1, en donde el 0 corresponde a la menor degradación. La ecuación utilizada para el cálculo del IDS es la siguiente:

$$IDS_j = \sum s_i * A_{ij} / A_j$$

Dónde:

IDS_j: Índice de degradación del suelo en la unidad de paisaje “j”

s_i: Valor de ponderación del tipo y grado de erosión del suelo “i”

A_{ij}: Área (km²) que ocupa el tipo y grado de erosión del suelo “i” en la unidad de paisaje “j”

A_{ij} : Área (km²) de la unidad de paisaje “j”

Por su parte, el IACV requiere el cálculo de la superficie de cada tipo de cobertura en la unidad, la cual se pondera con un valor que varía entre 0.01 y 0.99 de acuerdo a su grado de naturalidad (Cuadro 2) y se normaliza respecto al área total de la unidad. La ecuación para el cálculo del IACV es la siguiente:

$$IACV_j = \sum r_i * A_{ij} / A_{ij}$$

Dónde:

$IACV_j$ = Índice de antropización de la cobertura vegetal del suelo de la unidad “j”

r_i = Valor de ponderación de la cobertura vegetal “i”

A_{ij} = Área (km²) de la cobertura vegetal “i” en la unidad “j”

A_{ij} = Área total (km²) de la unidad “j”

Con los valores resultantes de IDS e IACV, se construyeron cinco intervalos por rompimiento natural de Jenks. Dichos intervalos se interpretaron y representaron gráficamente como categorías de degradación del suelo y de la cobertura vegetal natural, respectivamente.

Cuadro 2

Clases de cobertura vegetal del suelo y valores de ponderación de acuerdo al grado de transformación antrópica que presentan

Cobertura vegetal o uso del suelo	Estado sucesional	Ponderación (ri)
Bosque natural	Primaria	0.01
	Secundaria arbórea	0.01
	Secundaria arbustiva	0.30
	Secundaria herbácea	0.50
	Deforestado / Sin cobertura	0.90
Matorral, Chaparral	Primaria	0.01
	Secundaria arbustiva	0.30
Bosque cultivado, Palmar inducido		0.30
Pastizal inducido		0.40
Pastizal cultivado		0.50
Agricultura de temporal y Agricultura de riego permanente		0.50
Agricultura de temporal anual		0.60
Agricultura de riego anual		0.75
Asentamientos humanos		0.99

Fuente: Elaboración propia con base en Priego-Santander et al. (2005), e INEGI (2017).

Resultados

Degradación del suelo (IDS)

Con base en los resultados de este trabajo, es importante destacar que 600 km² (aproximadamente la mitad de la microcuenca) se clasificaron como paisajes con alta degradación (Figura 2). En estos, los principales problemas derivan de suelos en donde la erosión es leve, sin embargo, también se aprecian paisajes erosión moderada y en menor magnitud con erosión fuerte. Con relación a la degradación del suelo a nivel de zona hídrica funcional, la Figura 3 permite observar que la zona de transición que corresponde a la parte media de la cuenca, es donde se concentran los principales problemas de alta degradación, no obstante, en la zona de emisión que corresponde a la parte baja y en donde se da la principal actividad industrial y de asentamientos humanos, los paisajes con degradación alta del suelo afectan casi completamente a toda la unidad.

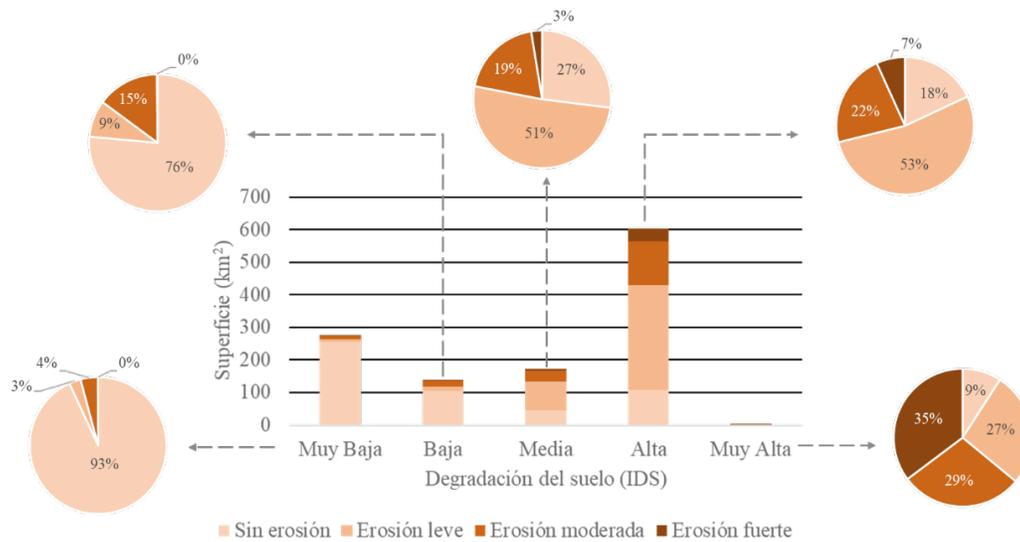
Derivado de estos resultados, el enfoque sistémico mencionado en el apartado introductorio que ofrece el análisis paisajístico, sugiere que la alta incidencia de problemas de degradación del suelo seguramente está afectando otras propiedades del paisaje, limitando así el cumplimiento de funciones ecosistémicas y servicios ambientales directamente relacionados con las capacidades edáficas. Estas pueden incluir limitaciones en el potencial para el cultivo de alimentos, para la infiltración hídrica que permita la recarga del acuífero, para la captación de CO₂ en el suelo, entre otras. De esta manera, es necesario que los programas de ordenamiento ecológico y territorial, tanto del nivel general como los locales o municipales, consideren acciones para la prevención y control de la erosión.

Degradación de la cobertura vegetal (IACV)

Los resultados mostraron que casi la mitad de la superficie tiene problemas por alta degradación de la cobertura vegetal natural (Figura 4), debido principalmente a que las zonas boscosas presentan evidencias de disturbios fuertes o bien han sido reemplazadas por tierras de cultivo. De manera más específica, la Figura 5 muestra que la alta degradación se concentra principalmente en la zona de transición y en la de emisión, en ese orden.

Figura 2

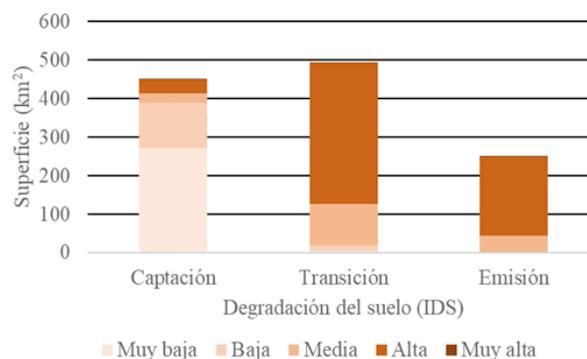
Gráfica de la degradación del suelo (IDS) donde las barras muestran la superficie para cada categoría de degradación, mientras que los diagramas circulares la proporción que corresponde a cada tipo de erosión



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2013).

Figura 3

Superficie abarcada por cada categoría de degradación del suelo, al interior de las tres zonas hídricas funcionales que conforman de la microcuenca Atoyac-Xochiac



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2013 y 2014).

De manera similar a lo que ocurre con la degradación del suelo, la presencia de disturbios en la cobertura forestal (menor densidad de arbolado que en el bosque sin disturbio,

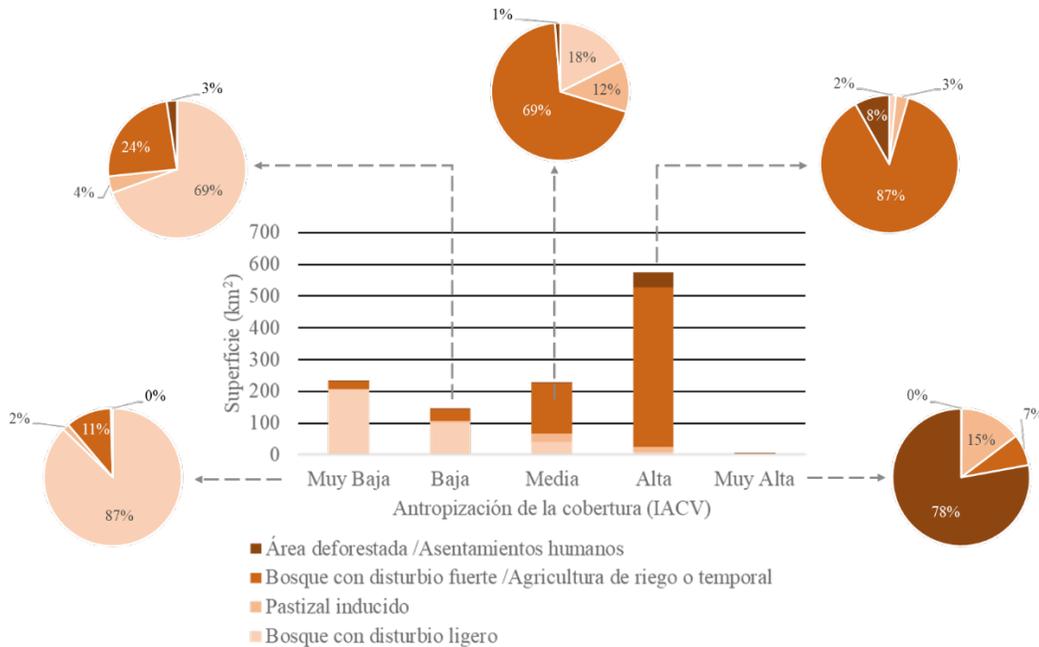
menor altura y diámetro de los árboles dominantes, mayor presencia de especies vegetales oportunistas, características de sitios que han experimentado tala o incendios), afecta otras funciones ecosistémicas, además de la provisión de bienes y servicios ambientales. Así, el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo es mayor, aumenta la velocidad de los escurrimientos superficiales y la erosión, hay menor infiltración y eventualmente menor capacidad de recarga del acuífero.

Finalmente, la Figura 6 muestra los mapas del IDS e IACV en los que se puede ubicar espacialmente aquellas unidades de paisaje en donde la incidencia de problemas es mayor, para cada zona hídrica funcional de la microcuenca. Al respecto, se destaca que la zona de captación correspondiente a la parte alta de la microcuenca, es la que presenta menores problemas ambientales. Las unidades de paisaje presentes en esta zona, pueden considerarse como Paisajes Altamente Estables (Mateo-Rodríguez, 2012), ya que conserva la estructura original, sin problemas de deterioro ambiental significativos. La influencia antropogénica en la transformación del paisaje es de moderada intensidad. Estos paisajes, constituyen los núcleos de alta estabilidad, en donde se combina un alto grado de conservación de la naturalidad y el uso compatible de los recursos.

Para el caso de la parte media y baja (transición y emisión, respectivamente), la alta incidencia de problemas ambientales observada puede corresponder con la categoría de Paisajes Escasamente Estables o con la de Paisajes Inestables cuyas particularidades se describieron en el apartado teórico. Esta problemática se asocia a la intensidad de uso del paisaje y poblamiento humano, que, con el desarrollo industrial y urbano posterior a la segunda mitad del siglo pasado, se ha venido acrecentando consistentemente. En este sentido, la microcuenca, que comprende el complejo urbano-industrial integrado por la Ciudad de San Martín Texmelucan y áreas conurbadas de los estados de Puebla y Tlaxcala, requieren de programas de ordenamiento ecológico, territorial y de desarrollo urbano, tanto en la escala regional como locales, que guíen acciones preventivas y correctivas de los problemas ambientales que han sido evidenciados con esta investigación.

Figura 4

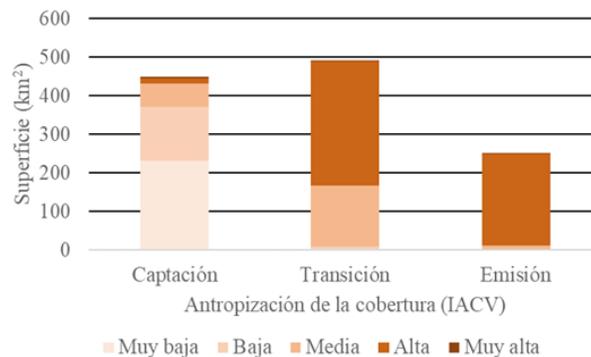
Gráfica de la degradación de la cobertura vegetal natural (IACV) donde las barras muestran la superficie para cada categoría de degradación, mientras que los diagramas circulares la proporción que corresponde a cada tipo de cobertura presente



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2017).

Figura 5

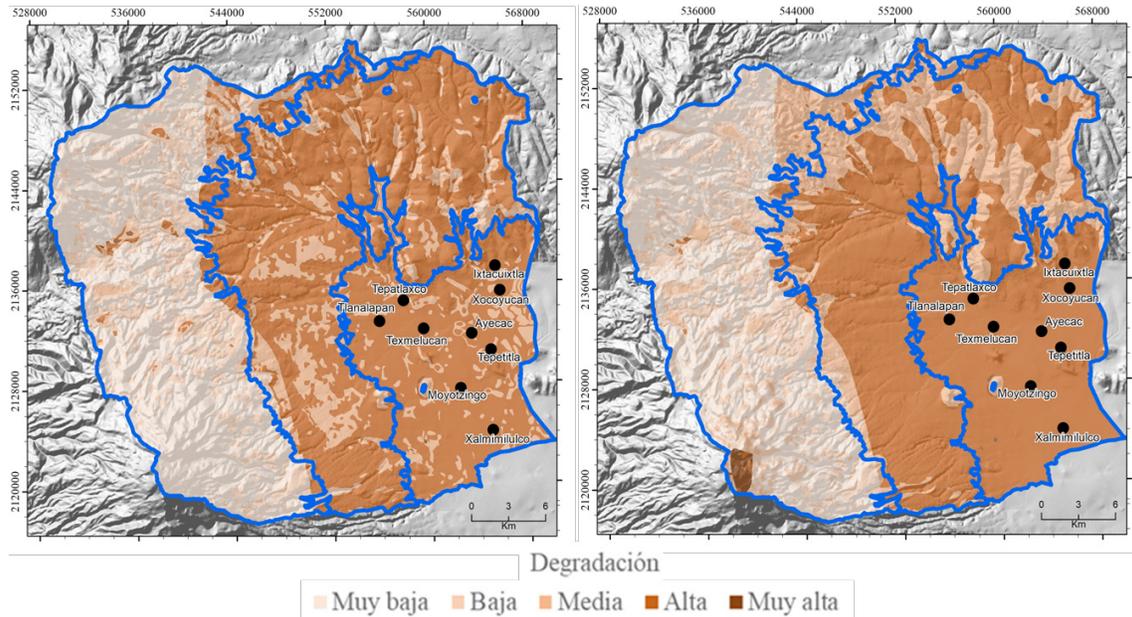
Superficie abarcada por cada categoría de degradación de la cobertura vegetal natural, al interior de las tres zonas hídricas funcionales que conforman de la microcuenca Atoyac-Xochiac



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2017).

Figura 6

Distribución espacial de los paisajes con problemas de degradación del suelo (izquierda) y de la cobertura vegetal natural (derecha) al interior de las zonas hídricas funcionales de la microcuenca Atoyac-Xochiac



Fuente: Elaboración propia con base en INEGI (2014 y 2017).

Conclusiones

La metodología implementada en este trabajo, permitió estimar cuantitativamente y representar cartográficamente ambos problemas ambientales abordados, la degradación del suelo (mediante el IDS) y la degradación de la cobertura vegetal natural (IACV). Para el caso del IDS, es factible para integrar los diferentes tipos de erosión e intensidad en un solo valor numérico, fácilmente interpretable.

No obstante, todas las categorías de degradación se integran por diversos tipos e intensidades de erosión, pero siempre hay dominancia de un tipo al interior. Al respecto, conviene señalar que tal pragmatismo puede invisibilizar la existencia en una unidad de paisaje, de fragmentos pequeños sin problemas de erosión del suelo que coexisten con fragmentos mayores degradados. Para el caso del IACV, las omisiones pueden ocurrir con respecto a fragmentos pequeños con presencia de cobertura forestal en estado aceptable de conservación.

Así, se requiere complementar los análisis geoecológicos con observaciones de campo y otros análisis a escalas más detalladas, al igual que la incorporación de otros indicadores, técnicas de observación del terreno y la participación de los actores locales en la identificación de otras problemáticas socioambientales.

Respecto a la definición de problemas ambientales en el suelo, es necesario considerar que la erosión es un proceso que causa pérdidas del suelo por la acción del viento y agua y que es incrementado por la acción humana. En este sentido, el mejor reconocimiento del agente causal (viento o agua), así como la magnitud del daño y su ubicación geográfica, permitirá el diseño de estrategias de conservación o de restauración de las propiedades del suelo más eficientes. Un paisaje degradado por erosión del suelo repercute en la disminución de la función productiva del suelo, la pérdida de la biodiversidad del lugar, incrementando las afectaciones de eventos extremos como lluvias torrenciales, sequías y desertificación, además que tiene afectaciones sociales al acentuar el grado de pobreza de la población y en muchos casos propicia la migración y abandono del campo. Finalmente, si bien el IDS y el IACV son indicadores que han sido de utilidad para diferentes evaluaciones ambientales en México (Priego-Santander *et al.* 2005; Mathews-Fernández 2008; Espinoza 2013; Velasco 2014), es conveniente incrementar el acervo de casos empíricos que utilizan esta metodología, de tal manera que el estado del arte en dicha materia se vea favorecido.

Bibliografía

- Ainstein, L., Aslan, M., Fajre, S., Kullock, D. y Rodríguez, E. (2003). *Problemática Ambiental urbana*. Documento MAB 11. Argentina
- Altieri, M.J. (2019). Los impactos de los Procesos Urbano-Territoriales y de Gestión en la Cuenca del Alto Atoyac [Tesis de Doctorado en Procesos Territoriales, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla].
- Ávila, C., Hernández-Rodríguez, M.L. y Lozano, A. (2022). Río Atoyac: Hacia una gestión integral de una problemática multifactorial. El Colegio de Tlaxcala, A.C. <http://revistacoltlax.mx/omp/index.php/repositoriocoltlax/catalog/book/8>
- Bailey, R.G. (2009). *Ecosystem Geography. From ecorregions to sites*. 2th Edition. Springer Ed. 251 pp

- Bastian, O. D. Haase y K, Grunewald. (2012). Ecosystem properties, potentials and services – The EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecological Indicators*, 21:7-16. doi:10.1016/j.ecolind.2011.03.014
- Bravo-Inclán, L.A., Sánchez-Chávez, J.J., Izurieta-Dávila, J.L. y Tomasini-Ortiz, A.C. (2015). Evaluación toxicológica del río Atoyac, Puebla y su relación con los parámetros fisicoquímicos. 2º Congreso Nacional AMICA. <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/183.pdf>
- Flores-Domínguez, A.D. y Priego-Santander, A.G. (2021). Caracterización físico-geográfica del paisaje en la microcuenca Atoyac-Xochiac, Subcuenca Alto Balsas. En C.A. Ávila-Orta, M.L. Hernández-Rodríguez y S.A. Lozano-Morales. (Coords). *Río Atoyac: Hacia una gestión integral de una problemática multifactorial*. El Colegio de Tlaxcala, A.C. México. Pp: 55-80. <http://revistacoltlax.mx/omp/index.php/repositoriocoltlax/catalog/book/8>
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2004). Guía para la interpretación de cartografía de edafología. México.
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2013). Conjunto de Datos de Erosión del Suelo, Escala 1: 250 000 Serie I
- INEGI [Instituto Nacional de Estadística y Geografía]. (2017). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación, escala 1: 250 000 serie VI
- Mateo-Rodríguez, J.M. y E.V. Da Silva. (2007). La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. *Revista Electrónica de Prodema*, 1: 77-98
- Mateo-Rodríguez, J.M. 2008. *Planificación ambiental*. Editorial Felix Varela, La Habana, Cuba. 166 pp.
- Mateo-Rodríguez, J.M. 2012. *La dimensión espacial del desarrollo sostenible; una visión desde América Latina*. Editorial UH, La Habana, Cuba. 294 pp
- Priego-Santander, A. G, Velázquez, A. y Guadarrama, C.E. (2005). El análisis de modificación geoecológica como herramienta del ordenamiento territorial: caso de estudio de la cuenca Lerma-Chapala, México. *Memorias del tercer congreso internacional de ordenación del territorio*. Universidad de Guadalajara.
- Ramírez-Varela, A., y López-Santos, J.D. (2018). ¡Luchamos por un Atoyac con Vida! La lucha contra la contaminación del Río Atoyac y los daños a la salud que origina en el sur de Tlaxcala, México. *Bajo el Volcán*, 18(28): 95-108
- Shishenko, P. G. 1988. *Estabilidad de los paisajes a las cargas económicas. Geografía física aplicada*. Editorial de la Escuela Superior de Kiev, Ucrania.

La edición de esta obra estuvo a cargo de Arturo Juárez Martínez,
Mary Carmen Paredes Díaz y Rafael Cruz Sánchez.

Se terminó de subir a la red en julio del 2024.

Se empleó tipografía Times New Roman,
tamaño 9, 10, 11, 13, 18, 20 y 24 puntos.

Julio
2024