



ARTÍCULO ORIGINAL

El río Tecolutla, contaminación que fluye: Una revisión teórica

¹Luis Felipe Juárez-Santillán, Santos Israel Muñoz-López, Jocabel Extocapan- Molina, Julián Barragán-Díaz y Rosa Celia Suárez-Jacobo

¹Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Área académica de Agrobiotecnología, Campus Gutiérrez Zamora, Carretera Gutiérrez Zamora-Boca de Lima Km 2.5 Gutiérrez Zamora, Veracruz, México, Tel.: 7668451952

Recepción 29 de junio de 2022. Aceptación 30 de noviembre de 2022

PALABRAS CLAVE

Río Tecolutla, aguas residuales, leyes y regulaciones

Resumen

La contaminación del agua es uno de los principales problemas a nivel mundial. El propósito de este estudio es la revisión de artículos sobre el Río Tecolutla, ubicado en el estado de Veracruz. La revisión bibliográfica incluye cuatro tipos de contaminantes principales: Coliformes fecales, Nitritos y Fosfatos, Plaguicidas, y Metales Pesados, la búsqueda de información se realizó en las plataformas *Web of Science*, Revistas electrónicas como: *Scielo*, *Research Gate*, *Scientific Research*, así como la consulta de las principales leyes y reglamentos aplicables. Los resultados obtenidos sirven de precedente para futuras investigaciones en materia de contaminación del agua del Río Tecolutla, así como sus principales implicaciones en materia jurídica. La revisión realizada denota la poca atención brindada a las descargas de aguas residuales, así como el manejo de agroquímicos el cual se ha dado de una forma indiscriminada y se refleja con la presencia de estos en los cuerpos de agua. Estudios futuros deberán enfocarse en la correlación de la contaminación del Río Tecolutla con los problemas de salud en la población, ya que este cuerpo de agua sirve como abasto de “agua potable”.

<https://doi.org/10.56382/tdis.remcid.2022.1.2.9.18>

Correspondencia: Rosa Celia Suárez Jacobo. Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora, Campus Gutiérrez Zamora, Carretera Gutiérrez Zamora-Boca de Lima Km 2.5 Gutiérrez Zamora, Veracruz, México, Tel.: 7668451952, correo electrónico: celia_d@utgz.edu.mx

ISSN: 2954-498X · e-ISSN: 2954-4998. - Revista Multidisciplinaria de Ciencia Innovación y Desarrollo © 2022. Universidad Tecnológica de Gutiérrez Zamora. Todos los derechos reservados.

PALABRAS CLAVE

Tecolutla river, environmental contamination, laws and regulation

Abstract

One of the main problems worldwide is water pollution. The purpose of this study is to review articles related to the Tecolutla River, located in the state of Veracruz. The literature review includes four main types of contaminants: fecal coliforms, nitrites and phosphates, pesticides and heavy metals. The search for information was carried out on the Web of Science platforms, electronic journals such as: Scielo, Research Gate, Scientific research, as well as the consultation of the main applicable laws and regulations. The results obtained served as a precedent for future research on water contamination of the Tecolutla River, and its main legal implications. The review denotes the little attention given to wastewater discharges, aside from the management of agrochemicals, which has been carried out in an indiscriminate manner and is reflected in the presence of these in water bodies. Future studies should focus on the correlation of contamination of the Tecolutla River with health problems in the population, since this body of water serves as a supply of “drinking water”.

Introducción

Los recursos naturales hacen referencia a los bienes que proporciona la naturaleza y sus bondades, son las riquezas existentes que se dan de forma natural en un territorio, plataformas y aguas continentales (Valera y Silva, 2012). Estos recursos son indispensables para la vida de los seres humanos y su diversidad caracteriza en particular a una zona o región. La conservación de los recursos naturales permite garantizar la vida y el desarrollo sostenible de un destino geográfico (Ordaz, 2018). Uno de los recursos esenciales es el agua, por lo que la calidad de ésta dependen muchos ecosistemas, su uso en la vida cotidiana, y su manejo conlleva forzosamente a sistemas químicos y físicos para la potabilización, sin embargo, se tiene que analizar el ecosistema en su conjunto como el objeto de explotación y conservación; la severa transformación y deterioro de los ecosistemas, aunado a la constante expansión poblacional ponen en evidencian una falta de esta concepción ecosistémica en los esquemas de uso y conservación, lo que trae como consecuencia problemas de escasez y contaminación del recurso. Por otra parte, la evolución que han sufrido los instrumentos jurídicos de protección de la calidad del agua, va a la par y de acuerdo al proceso de urbanización e industrialización, es decir cuanto más se evoluciona en ese proceso, mejores son los instrumentos jurídicos de protección frente a la contaminación de las mismas (Guevara *et al.*, 2019).

En el año 2015 la Organización de Naciones Unidas aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, el objetivo Núm. 6 corresponde a Agua Limpia y Saneamiento, de la que se extraen las siguientes metas esperadas para el 2030.

“Mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial”. Meta 6.3 ODS 2030.

“Proteger y restablecer los ecosistemas relacionados con el agua, incluidos los bosques, las montañas, los humedales, los ríos, los acuíferos y los lagos.” Meta 6.6 ODS 2030.

El objetivo de esta investigación es realizar una revisión bibliográfica de los contaminantes encontrados en el Río Tecolutla, la clasificación de sustancias nocivas, así como de las implicaciones en materia jurídica, leyes y reglamentos.

Localización y características

El río Tecolutla es un río en el estado de Veracruz México y se ubica a una Latitud de 20°28'48"- 19°27'36" N, Longitud 98°14'24"-96°57'00" W.

La cuenca está rodeada por las sierras de Huachinango al este y Zacapoaxtla al sur está compuesto por estuarios, canales y manglares, es principal drenaje de la región del Totonacapan, alimentado por cuatro ríos que se elevan desde la Sierra Norte de Puebla: de norte a sur, son el Necaxa, el Lajajalpan (o Laxaxalpan), el Tecuantepec y el Apulco. La longitud total del río medido desde esta fuente es de 375 kilómetros según el Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica (INEGI, 2000). La cuenca hidrográfica drenada por Tecolutla cubre un área de 7,903 kilómetros cuadrados y tiene una escorrentía superficial natural promedio de 6.098 hm³ (2.153 × 1011 pies cúbicos) por año (CONAGUA, 2011). El río pasa por varias ciudades y pueblos como Cuetzalan, Huauchinango, Gutiérrez Zamora, Tajín, Cazones, Coatzintla, Chumatlán, Poza Rica, Zacapoaxtla, Zapotitlán, Tecuantepec, El Espinal, Papantla, y finalmente desemboca en Tecolutla.

A lo largo del río Tecolutla hay varias descargas de drenaje e incluso de efluentes industriales, que con el paso del tiempo han propiciado que la calidad del agua se vea afectada. El Estado tiene la potestad de planear políticas públicas en diversos ámbitos como, por ejemplo: fiscales, sociales y ambientales para tal efecto el Congreso ha promulgado una serie de ordenamientos jurídicos, en el ámbito ambientalista destacan: Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable, Ley de Aguas Nacionales, Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos que se describirán en la investigación.

Material y métodos

Los materiales utilizados son documentos que sirvieron para recopilar datos acerca de la contaminación del agua del Río Tecolutla. Para ello se utilizaron plataformas de búsqueda de documentos científicos como son: *Web of Science* y plataformas de revistas electrónicas. También se consultaron libros, artículos, páginas web dedicadas a este tema, así como la normativa vigente ambiental y de recursos naturales.

Resultados

Las aguas residuales que se generan en los hogares, comercios, industrias, drenajes y alcantarillas desembocan en ríos, mares y lagos, los cuales contienen microorganismos que pueden causar graves

enfermedades. Algunos de estos contaminantes son agentes patógenos como virus, bacterias y parásitos que provienen principalmente de desechos orgánicos, sustancias químicas inorgánicas como ácidos y metales, sustancias químicas orgánicas como los plaguicidas y los detergentes y nutrientes vegetales que pueden alterar el crecimiento excesivo de plantas del ecosistema (Guadarrama *et al.*, 2016). A continuación, se describen los siguientes:

Coliformes Fecales

La contaminación microbiana en todo el mundo es evaluada de forma rutinaria empleando como indicador las bacterias fecales, incluyendo *Escherichia coli* y *enterococos* (Wyn-Jones *et al.*, 2011). Las bacterias presentes en cuerpos de agua provienen de heces fecales, escorrentías y descargas de aguas residuales, su presencia representa un riesgo para la salud pública (Stachler *et al.*, 2017; Molina *et al.*, 2014 y Jennings *et al.*, 2018). Los coliformes fecales (CF) se emplean como indicadores microbiológicos de la calidad del agua potable. El índice de CF es importante en áreas donde los productos marinos son abundantes, por lo que, entes responsables del cuidado de la misma deberían estar al pendiente de las normas de calidad del agua, ya que los problemas de salud pública originados por patógenos se han incrementado (Frena *et al.*, 2019). Por otro lado, el estado y concentración de CF en los cuerpos de agua son dinámicos y están relacionados con factores ambientales (Chen y Liu, 2017; Carpenter *et al.*, 2019; Jeon *et al.*, 2019).

Los CF se pueden reproducir rápidamente en condiciones ambientales óptimas, tales como la temperatura, radiación solar, precipitación y turbiedad (Leigt *et al.*, 2016; Chen y Liu, 2017). La concentración de CF se ve favorecida por la presencia de nutrientes (Mallin *et al.*, 2000); otro factor son los bosques y pastos, ya que albergan aves (Smith *et al.*, 2001). La dinámica de los CF en cuerpos de agua se podría monitorear, pero debido a las fuentes difusas de éstos, no ha permitido que se haga de forma correcta, aunado a ellos los factores ambientales que son difíciles de controlar.

Nitritos y fosfatos

Los cuerpos de agua son lugares a los cuales llega fácilmente la contaminación, ya sea industrial o de la agricultura. Las aguas residuales son nocivas para la vida acuática y para el ser humano, por lo que éstas

deben ser tratadas antes de entrar al medio ambiente (de-Bashan y Bashan *et al.* 2004; Alagha *et al.* 2020); dichas aguas pueden traer en su composición productos farmacéuticos, desechos de curtiduría, así como de fertilizantes los cuales conducen a una elevada concentración de fosfato y nitrato. Los nutrientes causan problemas de eutrofización siendo los fosfatos y nitratos los principales (Blaney *et al.* 2007); estos son macronutrientes esenciales para las plantas, pero son los principales contaminantes en cuerpos de agua (Karthikeyan *et al.*, 2021; Onyango *et al.* 2010), ya que, afectan su calidad y cuando el agua es para consumo representan un riesgo para los seres humanos.

La concentración de nitratos en los últimos años ha aumentado de 1-3 mg/L debido a la actividad agrícola y cerca del 85 % de los lagos enfrentan problemas de eutrofización debido a fosfatos y nitratos (Mazarji *et al.* 2017; Liu *et al.* 2018a, b). Lugares como Arabia Saudita, India, Reino Unido, Norte América, Australia, Marruecos, Changshu en China e Irán presentan problemas de nitratos, debido a la rápida industrialización (Rezvani *et al.* 2019; Mohseni-Bandpi *et al.* 2013). La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) establece el límite de 10 mg/L como concentración máxima de nitrato en el agua potable, mientras que la Organización Mundial de la Salud, el límite seguro de fosfatos y nitratos es de 40 mg/L y 0,1 mg/L, respectivamente (Alagha *et al.* 2020; Hafshejani *et al.*, 2016). La Unión Europea (UE) establece el límite máximo de nitrato en el agua potable en 50 mg/L.

Plaguicidas

Los plaguicidas se considera que son empleados para proteger a los cultivos de plagas y enfermedades, esto hace que sean un producto para mantener y mejorar la calidad de vida; se estima que una media de 2 millones de toneladas de plaguicidas se emplea para hacer frente a las malas hierbas, insectos y plagas (De *et al.*, 2014). Los plaguicidas pueden ser clasificados en herbicidas, insecticidas, rodenticidas, fungicidas entre otros (Sharma *et al.*, 2019). Dentro de los más utilizados están los herbicidas e insecticidas con un 47.5 % y un 29.5 % del total de los plaguicidas (De *et al.*, 2014). Los países consumidores de plaguicidas son China, Estados Unidos, Argentina, India, Japón, Canadá, Brasil, Francia, Italia y Tailandia (Sharma *et al.*, 2019).

Uno de los principales plaguicidas utilizados en su momento fue el diclodifeniltricloroetano (DDT) debido a su eficacia en bajas dosis, pero su impacto negativo

en el medio ambiente se hizo evidente, debido al daño que causa en organismo vivos y alta persistencia; por lo que, se prohibió para uso agrícola y doméstico. Se siguen produciendo diversos plaguicidas sintéticos como los organofosforados y los piretroides que siguen siendo tóxicos para el medio ambiente (Mahmood *et al.*, 2016). El uso continuo de los plaguicidas ha propiciado efectos negativos en las especies y han provocado la aparición de residuos en muchos lugares, de igual forma han inducido al desarrollo de cepas resistentes en las que plagas e insectos se vuelven inmunes (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013). La presencia de plaguicidas en cuerpos de agua se debe a la escorrentía de los campos agrícolas y a las aguas residuales industriales. Los plaguicidas presentan una alta afinidad al suelo, recursos hídricos superficiales como arroyos, estuarios y lagos, así como las aguas subterráneas debido a la estrecha interconexión del suelo con las masas de agua. La baja concentración de plaguicidas acumulada en el agua puede magnificarse a través de la cadena alimentaria y entrar en los organismos acuáticos que son peligrosos para el consumo humano (Sharma *et al.*, 2019). Datos de salud indican que la exposición crónica a plaguicidas a través de la ingesta de agua reduce la inmunidad del cuerpo, interrumpen el equilibrio hormonal, desencadenan problemas relacionados con la reproducción, plantean efectos cancerígenos y reducen la inteligencia, especialmente en los niños en la etapa de desarrollo corporal (Yaday *et al.*, 2015).

Debido al uso continuo de plaguicidas, éstos llegan a las masas de agua por lixiviación, drenaje subterráneo y escorrentía, lo que hace que las aguas no sean aptas para el consumo humano. Los plaguicidas en el medio acuático han provocado la contaminación y la degradación del medio ambiente (Mahmood *et al.*, 2016 y Ortiz-Hernández *et al.*, 2013). La contaminación del agua es el principal problema medioambiental del siglo XXI, aparte del cambio climático (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013; Young *et al.*, 1996).

Metales pesados

Uno de los principales problemas en los cuerpos de agua es la acumulación de metales pesados (MP). La mayoría de los MP están presentes normalmente en el medio ambiente y algunos de ellos incluso se cree que son esenciales para la vida, (Yang *et al.*, 2018). La presencia de MP en forma de iones en concentraciones elevadas en el agua causa preocupación debido a su toxicidad en toda la vida terrestre y acuática, incluida la vida humana. Los metales pesados son utilizados por

algunas industrias, como la textil, en sus procesos y como catalizadores y productos químicos de tratamiento (Shukla y Pai, 2005).

Las fuentes de MP son la minería, la química, las curtidurías, la galvanoplastia semiconductores, baterías, fuentes metalúrgicas, industrias eléctricas e incluso artesanía de los países en desarrollo (Shukla *et al.*, 2002; McCann, 1996). Los MP incluyen principalmente cobre, zinc, plomo, cromo, cadmio y níquel (Acar y Malkoc, 2004). Diversos estudios demuestran la peligrosidad que pueden tener los MP. Por ejemplo, el cobre, que es un elemento muy importante para la vida, también puede tener efectos tóxicos, ya que, puede contaminar el agua y alimentos como el chocolate, los frutos secos y el marisco; un aumento en la inhalación de cobre puede provocar directamente cáncer de pulmón y también pueden causar irritación en el sistema nervioso, en el hígado y los riñones; además, el cobre también está muy relacionado con la depresión (Mone *et al.*, 2020; Larous *et al.*, 2005; Argun *et al.*, 2007). Otro ejemplo es el cadmio, que ni siquiera es esencial y es muy tóxico debido a su capacidad para combinarse con el azufre y desplazar elementos esenciales como el zinc y el calcio (Memon *et al.*, 2007). Los MP no sólo suponen una amenaza para la vida humana, sino que también contaminan el medio ambiente y no son biodegradables, esto significa que los MP no se transforman en elementos inofensivos con el tiempo y hay que tomar medidas para hacer frente a su potencial amenaza (Jianful *et al.*, 2019).

Se han publicado muchos reglamentos que explican el nivel tolerable de MP, por ejemplo, un reglamento conjunto de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y la Organización Mundial de la Salud recomienda un nivel máximo aceptable para la ingesta de cadmio de 1,2 µg/kg de masa corporal (Bortoleto *et al.*, 2004), mientras que los iones de plomo y cadmio están restringidos en el agua potable a 0,01 mg/L y 0,02 mg/L, respectivamente (Galvin 1996). Un estudio realizado en 2003 afirmaba que, en el agua potable, el nivel recomendado de iones de cromo hexavalente, también conocido como Cr(VI), es de hasta 0,05 mg/L (Selvaraj, *et al.*, 2003); además, el cromo en las aguas residuales debe limitarse en todo el mundo, han podido regular hasta 0,05 mg/L para el cromo hexavalente y 5 mg/L para el cromo trivalente, que es Cr(III) (Acar y Malkoc, 2004).

Contaminación del río Tecolutla

El río Tecolutla pertenece a la cuenca No. 3 y en los últimos 100 km de la cuenca, atraviesa por varios

municipios; Coyutla, Espinal, Papantla, y Gutiérrez Zamora, desembocando en Tecolutla, tres de estas cabeceras municipales y algunas comunidades importantes se encuentran a orillas de cuerpo de agua y todos los desechos urbanos se depositan en él. La actividad humana ha sido una de las principales fuentes de contaminación del río, principalmente por coliformes fecales, así como de nutrientes, recientemente se ha demostrado la presencia de plaguicidas y metales pesados, debido a la actividad agrícola a continuación se presentan estudios sobresalientes respecto a la contaminación del Río Tecolutla, específicamente en la zona de Gutiérrez Zamora, Veracruz.

Arriaga-Gaona, *et al.* (2009) realizaron un muestreo del río Tecolutla, principalmente en Coyutla, Barriles, Espinal, Papantla y Gutiérrez Zamora: dentro de los principales resultados destacan los siguientes (Arriaga-Gaona, *et al.*, 2009):

- a) El punto de mayor influencia por coliformes fecales fue Gutiérrez Zamora, todos los puntos rebasaron el número de Unidades Formadoras de Colonias establecidos por la NOM-01.
- b) En los meses de septiembre, octubre, enero, febrero y marzo, todos los puntos de muestreo rebasaron el índice de la calidad del agua.
- c) En cuanto al contenido de nitratos y fosfatos hay una tendencia a incrementar.
- d) A lo largo de los seis meses de monitoreo del río Tecolutla se notó una presencia importante de coliformes fecales, mostrando valores muy superiores a los establecidos por la norma (1000 UFC/100 ml). Este cuerpo de agua surte de ese vital líquido a todas las comunidades ribereñas y a las cabeceras municipales de El Espinal. Papantla y Gutiérrez Zamora, por lo que se debe tener cuidado con el abasto de agua en estas comunidades, debido a la mala calidad de la misma.

A 11 km de Gutiérrez Zamora se encuentra Tecolutla, es una de las playas más cercanas a la Ciudad de México. Gómez-Bernal *et al.*, 2021, realizaron una evaluación del grado de contaminación de esta zona. Tecolutla depende de la actividad turística sin embargo esta ha impactado de forma negativa al mar y río, ya que las descargas de drenaje de los hoteles se hacen sin ningún tratamiento y de forma indiscriminada. Se han detectado coliformes fecales y totales en al agua y en ostiones, las cuales tienen relación con la

contaminación antropogénica, que impacta su calidad. Así mismo, la contaminación por residuos sólidos puede afectar el desarrollo óptimo de los ecosistemas presentes en el río Tecolutla.

Ordaz (2013), realizó una evaluación en la subcuenca de Tecolutla, en la cual encontró presencia de herbicidas en agua como son: 2,4-D y Picloram, Glifosato sin combinar y 2,4-D sin combinar. Así como, Metsulfurón metil, Paraquat, 2,4-D combinado con Picloram, Piraflufen etil combinado con Glifosato y Aminopirialid combinado con 2,4-D, todos ellos en cultivos de cítricos, frijol, maíz, calabaza y en pastizales, los cuales por lixiviación o escorrentía llegan al río y estos los transporta hasta el mar.

Carrillo (2016) reportó herbicidas que se venden en Tecolutla para maíz (acetoclor) y pastizales (Picloram+2,4-D). El 2,4-D+Glifosato, Saflufenacil, Paraquat y en su mayoría una combinación de los mismos lo detectó en los cultivos de cítricos (naranja, toronja, limón y mandarina). La aplicación de estos herbicidas se realiza en los meses de abril, julio a agosto y diciembre en Tecolutla.

En Tecolutla, se han detectado al menos 30 puntos de descarga de aguas residuales de casas y negocios (Limón-Hernández, 2019), que provocan la presencia de nutrientes en exceso, contaminantes y bacterias coliformes a lo largo del río.

Bacterias como: Klebsiella, Pseudomonas, Proteus y Escherichia coli, han sido detectadas en ostión colectado en Tecolutla, lo cual denota contaminación por heces fecales (González, 1989).

Muestreos realizados por Guzmán-García *et al.*, 2012, detectaron la presencia por coliformes fecales en agua en el muelle de Tecolutla de 24,000 (NMP/100mL) y en ostión en el mismo lugar de 4,900 (NMP/100mL), en la boca del estero en agua fue de 11,000 (NMP/100mL), en el río Tecolutla en agua fue de 110,000 (NMP/100mL). Considerando que la NOM-112- SSA1-1994 fija valores máximos permisibles de 14 (NMP/100mL) en agua y de 240 (NMP/100mL) en ostión, se puede decir que el lugar no cumple con la norma.

Rangel-González (2017) (Tesis), realizó un trabajo en la subcuenca del río Tecolutla en la cual ha habido un incremento en el uso de herbicidas derivados de las actividades agrícolas. Dentro de los principales resultados destacan que en el suelo se encontraron concentraciones máximas de 2,4 D (520,65), glifosato (2383,22) y AMPA (5037,76), durante la época seca, las concentraciones de 2,4 D y AMPA fueron mayores a las reportadas dentro de la subcuenca en los municipios

de Gutiérrez Zamora y Tecolutla, zona aledaña al área de estudio. Además, se encontraron concentraciones de glifosato en los cuerpos de agua (nivel de trazas) y de AMPA (45.45 ppb) durante ambas temporadas; de glifosato y picloram por debajo del marcador límite de la Guía Canadiense de la calidad del agua para la protección de la vida acuática. Las malas prácticas más comunes fueron el uso incorrecto del equipo de protección personal y la incorrecta mezcla de herbicidas durante la aplicación y después de la mala disposición de los envases vacíos de la aplicación de herbicidas.

Los estudios aquí presentados denotan una marcada contaminación tanto de suelo como de cuerpos de agua (Río Tecolutla), lo cual representa un alto riesgo para la flora, fauna y seres humanos que se encuentren en la región. Requiere una urgente capacitación a agricultores para que hagan un buen manejo de recipientes de herbicidas, así como tener cuidado con las aplicaciones de agroquímicos. Por otro lado, se tiene la mala disposición de las aguas municipales, las cuales en su composición llevan principalmente agentes patógenos causantes de diversos problemas gastro intestinales.

En el aspecto ambiental no se debe dejar de lado que debido a que la descarga de aguas residuales al río Tecolutla, Veracruz, se incumple las NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, sin embargo, el incumplimiento a la norma ya mencionada no trae consigo el hecho constitutivo de delito, no siendo de esta manera al caer en la hipótesis entre las sanciones que se imponen a los infractores que contaminen el agua, ya sea con componentes pesados o cualquier otro y se configuren en la hipótesis enumerada en el Código Penal Federal que a la letra dice:

“Artículo 416.- Se impondrá pena de uno a nueve años de prisión y de trescientos a tres mil días multa, al que ilícitamente descargue, deposite, o infiltre, lo autorice u ordene, aguas residuales, líquidos químicos o bioquímicos, desechos o contaminantes en los suelos, subsuelos, aguas marinas, ríos, cuencas, vasos o demás depósitos o corrientes de agua de competencia federal, que cause un riesgo de daño o dañe a los recursos naturales, a la flora, a la fauna, a la calidad del agua, a los ecosistemas o al ambiente.

Cuando se trate de aguas que se encuentren depositadas, fluyan en o hacia un área natural protegida, la prisión se elevará hasta tres años más y la pena económica hasta mil días multa.”

Para el Estado de Veracruz los delitos ambientales también se encuentran regulados en el código penal Local y lo anterior se muestra en el título XI denominado DELITOS DE PELIGRO CONTRA LA SEGURIDAD COLECTIVA.

Artículo 259.-Se impondrán de uno a seis años de prisión y multa de trescientos a quinientos días de salario a quien, sin contar con los permisos, licencias o autorizaciones correspondientes o sin aplicar las medidas de previsión o de seguridad adecuadas:

II. Descargue o arroje en aguas de jurisdicción local, o infiltre en suelos o subsuelos, aguas residuales sin previo tratamiento que causen o puedan causar daños graves a la salud o a los ecosistemas;

III. Trate, almacene, arroje o evacue desechos u otras substancias o materiales contaminantes, apartándose de los tratamientos prescritos o autorizados por disposiciones legales o administrativas, causando o pudiendo causar daños graves a la salud o a los ecosistemas a que se refiere la fracción I de este artículo

Ahora bien, otra dependencia que se encarga de la protección de los recursos naturales en especial el agua y las descargas residuales a cuerpos hídricos para ser exactos el río Tecolutla, es la ley general de equilibrio ecológico y protección al ambiente (LGEEPA) en sus arábigos 170 a 174, en caso de alguno de los siguientes supuestos se aplicarán sanciones:

- a) Cuando exista riesgo inminente de desequilibrio ecológico, o de daño o deterioro grave a los recursos naturales, casos de contaminación con repercusiones peligrosas para los ecosistemas, sus componentes o para la salud pública.
- b) Cuando por verificación por parte de la procuraduría federal de protección al ambiente (PROFEPA) no se estén cumpliendo con las medidas adoptadas en el estudio de evaluación de impacto ambiental.
- c) Cuando no haya sido aprobado o entregado el estudio de impacto ambiental requerido ante la secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) y a pesar de esto se esté llevando a cabo la ejecución del proyecto.

Con fundamento en lo dispuesto por la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal se faculta a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales para vigilar el cumplimiento de la protección de los recursos naturales entre los cuales se destacan ríos, descargas

residuales. Dentro de las facultades de la dependencia ya mencionada resaltan:

- 1) Formular, conducir y evaluar la política en materia de recursos naturales, siempre que no estén encomendados expresamente a otra dependencia; así como en materia de ecología, saneamiento ambiental, agua, regulación ambiental del desarrollo urbano y de la actividad pesquera, con la participación que corresponda a otras dependencias y entidades.
- 2) Establecer, con la participación que corresponda a otras dependencias y a las autoridades estatales y municipales, normas oficiales mexicanas sobre la preservación y restauración de la calidad del medio ambiente; sobre los ecosistemas naturales; sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de la flora y fauna silvestre, terrestre y acuática; sobre descargas de aguas residuales, y en materia minera; y sobre materiales peligrosos y residuos sólidos y peligrosos; así como establecer otras disposiciones administrativas de carácter general en estas materias y otras de su competencia, para la interpretación y aplicación de las normas oficiales mexicanas.

Administrar, controlar y reglamentar el aprovechamiento de cuencas hidráulicas, vasos, manantiales y aguas de propiedad nacional, y de las zonas federales correspondientes, con exclusión de los que se atribuya expresamente a otra dependencia; establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares que deban satisfacer las descargas de aguas residuales, cuando sean de jurisdicción federal; autorizar, en su caso, el vertimiento de aguas residuales en el mar, en coordinación con la Secretaría de Marina, cuando provenga de fuentes móviles o plataformas fijas; en cuencas, cauces y demás depósitos de aguas de propiedad nacional; y promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura y los servicios necesarios para el mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas.

Conclusiones

La contaminación del agua a nivel mundial es uno de los principales problemas a atender, ya que se trata de una de las principales fuentes de vida del planeta. A partir de la contaminación generada por el hombre

y actividades económicas o industriales, la falta de medios para el tratamiento de aguas residuales y la falta de concientización de las comunidades, genera que dicha contaminación vaya a decantar en el agua de ríos mares y lagos, generando enfermedades como infecciones en la piel, cólera, disentería, entre otras. Dentro de las metas a cumplir para la agenda 2030 que incluye la mejora de la calidad del agua para garantizar el acceso a la misma y la supervivencia de los asentamientos humanos, busca además proteger al ecosistema y especies que habitan en él. La recopilación de este trabajo deja un precedente para futuras investigaciones que permitan al investigador no solo tener la fuente de los resultados de análisis químicos realizados al río Tecolutla, sino también las implicaciones en materia jurídica. La revisión realizada muestra la poca atención brindada a las descargas de aguas residuales, así como el manejo de sustancias nocivas que se han encontrado en el agua. Estudios futuros deberán enfocarse en la correlación de la contaminación del Río Tecolutla con los problemas de salud que podrían sufrir en la población si no se atiende el problema.

Contribución de los autores

LFJS, diseño del trabajo y redacción. SIML, Información referente a derecho. JEM, diseño y revisión.

JBD, Traducciones.

RCSJ, diseño del trabajo y redacción.

Financiamiento

Ninguno.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Presentaciones previas

Ninguna.

Referencias

1. Acar, F.N.; Malkoc, E. 2004. The removal of chromium (VI) from aqueous solutions y Fagus orientalis L. *Bioresour. Technol.* 94, 13-15.
2. Alagha, O., Manzar, M. S., Zubair, M., Anil, I., Mu'azu, N. D. y Qureshi, A. 2020. Magnetic Mg-Fe/LDH intercalated activated carbon composites for nitrate and phosphate removal from wastewater: insight into behavior and mechanisms. *Nanomaterials* 10(7):13-61.
3. Alagha, O., Manzar, M. S., Zubair, M., Anil, I., Mu'azu, N. D. y Qureshi, A. 2020. Comparative adsorptive removal of phosphate and nitrate from wastewater using biochar-MgAl LDH nanocomposites: coexisting anions effect and mechanistic studies. *Nanomaterials* (Basel, Switzerland). <https://doi.org/10.3390/nano10020336>
4. Argun, M. E., Dursun, S., Ozdemir, C. y Karatas, M. 2007. Heavy metal adsorption by modified oak sawdust: Thermodynamics and kinetics. *J. Hazard. Mater.* 141, 77-85.
5. Arriaga-Gaona, M. L., Hernández-Limón, L., San- doval-Reyes, J., Vera-Lara, J., Vargas-Moreno, E. y García-Rojas, L. 2009. Monitoreo de la calidad del agua del río Tecolutla desde Coyutla hasta Gutiérrez Zamora, Veracruz *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 5 (2): 141-147.
6. Blaney, L. M., Cinar, S. y SenGupta, A. K. 2007. Hybrid anion exchanger for trace phosphate removal from water and wastewater. *Water Res* 41(7):1603-1613.
7. Bortoleto, G. G., Macarovscha, G. T. y Cadore, S., 2004. Determination of cadmium by flame-atomic absorption spectrometry after pre- concentration on silica gel modified with cupfer- rron. *J. Braz. Chem. Soc.* 15, 313-317.
8. Carpenter, C. M. G., Wong, L. Y. J., Gutema, D. L. y Helbling, D. E. 2019. Fall creek monitoring station: using environmental covariates to predict micropollutant dynamics and peak events in surface water systems. *Environ. Sci. Technol.* 53, 8599e8610.
9. Carrillo, M. C. I. 2016. Uso de herbicidas y su distribución espacial en la subcuenca río Tecolutla (Municipios: Tecolutla, Gutiérrez Zamora y Papantla). Tesis Maestría en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad. CIIE- MAD-IPN, México.
10. Chen, W. B. y Liu, W. C., 2017. Investigating the fate and transport of fecal coliform contamination in a tidal estuarine system using a three-dimensional model. *Mar. Pollut. Bull.* 116, 365-384.
11. Código Penal Federal, Artículo 416 Julio 2020.

12. CONAGUA, S. (2011). Estadísticas del agua en México. México, DF: CONAGUA (2011). Estadísticas del agua en México. *Comisión Nacional del Agua. Reporte*.
13. De, A., Bose, R., Kumar, A., y Mozumdar, S. 2014. Targeted Delivery of Pesticides Using Biodegradable Polymeric Nanoparticles; Springer: New Delhi, India; ISBN 978-81-322-1689-6.
14. de-Bashan, L. E. y Bashan, Y. 2004. Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizer (1997-2003). *Water Res* 38(19), 4222-4246.
15. Frena, M., Santos, A. P. S., Souza, M. R. R., Carvalho, S. S., Madureira, L. A. S. y Alexandre, M. R. 2019. Sterol biomarkers and fecal coliforms in a tropical estuary: seasonal distribution and sources. *Mar. Pollut. Bull.* 139, 111-116.
16. Galvin, R.M. 1996. Occurrence of metals in waters: An overview. *Water SA*, 22, 7-18.
17. Guadarrama-Tejas, R., Kido-Miranda, J., Roldan-Antunez, Gustavo y Salas-Salgado, M. (2016) Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*. Septiembre 2016 Vol.2 No.5 1-10
18. Guevara A., Ovando W. Segura F. (2019) La Gestión de la Calidad del Agua en el Perú. *Sextas jornadas de Derecho de Agua*,
19. González, A. S. E. 1989. *Análisis bacteriológico del ostión y sus bancos de extracción, en el estero de Tecolutla, Ver., para su evaluación sanitaria*. Tesis de licenciatura. UNAM-ENEP-Iztacala, México.
20. Guzmán-García X., Jerónimo-Juárez, R., Barrera-Escorcía, G., Ramírez-Romero, P., y Miranda-Arce, M. G. 2012. Tecolutla S.O.S. *IX Coloquio Internacional Multidisciplinario*, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Huetamo, Michoacán, México.
21. Hafshejani L. D., Hooshmand A., Naseri, A. A., Mohammadi, A.S., Abbasi, F. y Bhatnagar, A. 2016. Removal of nitrate from aqueous solution by modified sugarcane bagasse biochar. *Ecol. Eng.*, 95, 101-111.
22. Jennings, W. C., Chern, E. C., Donohue, D., Kellogg, M. G. y Boehm, A. B., 2018. Frequent detection of a human fecal indicator in the urban ocean: environmental drivers and covariation with enterococci. *Environ. Sci. Process Impacts.*, 20 (3), 480-492.
23. Jeon, D. J., Ligaray, M., Kim, M., Kim, G., Lee, G., Pachepsky, Y.A., Cha, D. H. y Cho, K.H. 2019. Evaluating the influence of climate change on the fate and transport of fecal coliform bacteria using the modified SWAT model. *Sci. Total Environ.* 658, 753-762.
24. Jianfui, C., Sarjadi, M. S., Musta, B., Sarkar, M. S., Rahman, M. L. 2019. Synthesis of Sawdust-based Poly(amidoxime) Ligand for Heavy Metals Removal from Wastewater. *Chemistry Select*, 4, 2991-3001.
25. Karthikeyan, P., Elanchezhiyan, S. S., Preethi, J., Talukdar, K., Meenakshi, S. y Park C. M. 2021. Two-dimensional (2D) Ti3C2Tx MXene nanosheets with superior adsorption behavior for phosphate and nitrate ions from the aqueous environment. *Ceram. Int.*, 47(1), 732-739.
26. Larous, S., Meniai, A. H. y Lehocine, M. B. 2005. Experimental study of the removal of copper from aqueous solutions by adsorption using sawdust. *Desalination*, 185, 483-490.
27. Leight, A. K., Hood, R., Wood, R., Brohawn, K. 2016. Climate relationships to fecal bacterial densities in Maryland shellfish harvest waters. *Water Res.* 89, 270-281.
28. Limón-Hernández, R. A. 2019. *Electrocoagulación como tratamiento de aguas de descarga al Río Tecolutla en la zona de Gutiérrez Zamora, Veracruz*. Tesis. Universidad Veracruzana, México.
29. Liu, H., Chen, Z., Guan, Y. y Xu, S. 2018. Role and application of iron in water treatment for nitrogen removal: a review. *Chemosphere*, 204, 51-62.
30. Liu, X., Zong, E., Hu, W., Song, P., Wang, J., Liu, Q., Ma, Z. y Fu, S. 2018. Lignin-derived porous carbon loaded with La(OH)3 nanorods for highly efficient removal of phosphate. *ACS Sustain. Chem. Eng.*, 7(1), 758-768. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b04382>
31. Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A. y Hakeem, K. R. 2016. Effects of Pesticides on Environment. In *Plant, Soil and Microbes*; Hakeem, K., Akhtar, M., Abdullah, S., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, ISBN 978-33-192-7455-3.
32. Mallin, M. A., Williams, K. E., Esham, E. C. y Lowe, R. P. 2000. Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecol. Appl.* 10, 1047-1056.
33. Mazarji, M., Aminzadeh, B., Baghdadi, M. y Bhatnagar, A. 2017. Removal of nitrate from

- aqueous solution using modified granular activated carbon. *J Mol Liq* 233, 139-148.
34. McCann, M. 1996. Hazards in cottage industries in developing countries. *Am. J. Ind. Med.*, 30, 125-129.
 35. Memon, S. Q., Memon, N., Shah, S., Khuhawar, M. y Bhanger, M. 2007. Sawdust-A green and economical sorbent for the removal of cadmium (II) ions. *J. Hazard Mater*, 139, 116-121.
 36. Mohseni-Bandpi, A., Elliott, D. J. y Zazouli, M. A. 2013. Biological nitrate removal processes from drinking water supply-a review. *J Environ Health Sci Eng* 11(1), 1-11.
 37. Molina, M., Hunter, S., Cyterski, M., Peed, L.A., Kelty, C.A., Sivaganesan, M., Mooney, T., Prieto, L. y Shanks, O.C., 2014. Factors affecting the presence of human-associated and fecal indicator real-time quantitative PCR genetic markers in urban-impacted recreational beaches. *Water Res.* 64, 196-208.
 38. Mone, M., Lambropoulou, D. A., Bikiaris, D. N. y Kyzas, G. Z. 2020. Chitosan grafted with biobased 5-hydroxymethyl-furfural as adsorbent for copper and cadmium ions removal. *Polymers* 12, 1173.
 39. Onyango, M. S., Masukume, M., Ochieng, A. y Otieno, F. 2010. Functionalised natural zeolite and its potential for treating drinking water containing excess amount of nitrate. *Water SA*. <https://doi.org/10.4314/wsa.v36i5.61999>
 40. Orgaz, F. (2018). Reflexiones en torno al concepto, clasificación e importancia de los recursos naturales y la biodiversidad. *Desarrollo local sostenible*, (octubre).
 41. Ordaz, Y. 2013. Biodegradación de tordon (2,4-D y Picloram) mezcla comercial de dos de los principales herbicidas utilizados en la subcuenca Tecolutla en Veracruz, México. (Doctorado), Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.
 42. Ortíz-Hernández, M. L., Sánchez-Salinas, E., Dantán-González, E. y Castrejón-Godínez, M. L. 2013. Pesticide biodegradation: Mechanisms, genetics and strategies to enhance the process. *Biodegrad. Life Sci.* 251-287.
 43. Rezvani, F., Sarrafzadeh, M. H., Ebrahimi, S. y Oh, H. M. 2019. Nitrate removal from drinking water with a focus on biological methods: a review. *Environ Sci Pollut Res Int.* 26(2), 1124-1141.
 44. Selvaraj, K., Manonmani, S. y Pattabhi, S. 2003. Removal of hexavalent chromium using distillery sludge. *Bioresour. Technol.* 89, 207-211.
 45. Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Tanveer, M., Sidhu, G. P. S., Handa, N., Kohli, S.K., Yadav, P., Bali, A. S. y Parihar, R. D. 2019. Worldwide pesticide usage and its impacts on ecosystem. *SN Appl. Sci.* 1, 1446.
 46. Shukla, A., Zhang, Y. H., Dubey, P., Margrave, J. y Shukla, S. S. 2002. The role of sawdust in the removal of unwanted materials from water. *J. Hazard. Mater.* 95, 137-152.
 47. Shukla, S. y Pai, R. S. 2005. Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on dye loaded groundnut shells and sawdust. *Sep. Purif. Technol.* 43, 1-8.
 48. Smith, J. H., Wickham, J. D., Norton, D., Wade, T. G. y Jones, K. B. 2001. Utilization of landscape indicators to model potential pathogen impaired waters. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 37, 805-814.
 49. Stachler, E., Kelty, C., Sivaganesan, M., Li, X., Bibby, K. y Shanks, O. C. 2017. Quantitative CrAssphage PCR assays for human fecal pollution measurement. *Environ. Sci. Technol.* 51, 9146-9154.
 50. Valera Mejía, F. y Silva Naranjo, E. (2012). *Guía de capacitación en educación ambiental y cambio climático*. USAID, CDCT y The Nature Conservancy: Santo Domingo.
 51. Wyn-Jones, A. P., Carducci, A., Cook, N., D'Agostino, M., Divizia, M., Fleischer, J., Gantzer, C., Gawler, A., Girones, R., Höller, C., de Roda Husman, A.M., Kay, D., Kozyra, I., López-Pila, J., Muscillo, M., Jose Nascimento, M.S., Papageorgiou, G., Rutjes, S., Sellwood, J., Szewzyk, R. y Wyer, M. 2011. Surveillance of adenoviruses and noroviruses in European recreational waters. *Water Res.* 45, 1025-1038.
 52. Yadav, I. C., Devi, N. L., Syed, J. H., Cheng, Z., Li, J., Zhang, G. y Jones, K.C. 2015. Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. *Sci. Total Environ.* 511, 123-137.
 53. Yang, L., Tan, W. F., Mumford, K., Ding, L., Lv, J. W., Zhang, X. W., Wang, H. Q. 2018. Effects of phosphorus-rich sawdust biochar sorption on heavy metals. *Sep. Sci. Technol.* 53, 2704-2716.
 54. Young, L., Rao, S. R. y Cort, S. G. 1996. Industry Corner: The Pesticide Market and Industry: A Global Perspective. *Bus. Econ.* 31, 56-60.