

BTEX y MTBE en aguas residuales: Riesgos ambientales y estrategias de mitigación

BTEX and MTBE in Wastewater: Environmental Risks and Mitigation Strategies

GARCIA-ABURTO SANDRA GUADALUPE², SANDOVAL-HERAZO LUIS CARLOS^{1,2} Y NANI-GONZÁLEZ GRACIELA ELIZABETH²

¹ Facultad de Ingeniería / Universidad de Sucre, Carrera 28 No. 5-267, 700001 Sincelejo, Sucre, Colombia.

² Wetlands and Environmental Sustainability Laboratory, Division of Graduate Studies and Research, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Misantla, Veracruz, Km 1.8 Carretera a Loma del Cojolite, Misantla 93821, Veracruz, México

*Autor de correspondencia: sgarciaa@itsm.edu.mx

Recibido: 03 de abril de 2025

Aceptado: 03 de septiembre de 2025

Publicado: 24 noviembre de 2025

Resumen:

El BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y el MTBE (éter metil-terc-butílico) son compuestos derivados del petróleo que representan una amenaza significativa para la salud humana y la calidad del agua, debido a su gran solubilidad y a su fácil transporte, se difunden rápidamente en los cuerpos acuáticos, lo que dificulta su eliminación y los convierte en un problema persistente. Este artículo se analizaron estudios recientes publicados en revistas indexadas, informes gubernamentales y normativas ambientales internacionales relacionadas con la contaminación por hidrocarburos en cuerpos de agua, el impacto ambiental y sanitario de estos compuestos, así como las tecnologías existentes para su eliminación. Se determinó que los métodos convencionales, como la adsorción y la oxidación avanzada, han sido utilizados, presentan limitaciones en costo y eficiencia. Sin embargo, es crucial fortalecer la regulación ambiental y desarrollar estrategias más efectivas para reducir su presencia en aguas residuales, protegiendo así los recursos hídricos y la salud pública.

Palabras clave: *BTEX, MTBE, Aguas residuales, Hidrocarburos en agua, Contaminación del agua, Riesgos para la salud.*

Abstract:

BTEX (benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes) and MTBE (methyl tert-butyl ether) are petroleum-derived compounds that pose a significant threat to human health and water quality. Due to their high solubility

and ease of transport, they spread rapidly in water bodies, making their removal difficult and resulting in a persistent problem. This article analyzes recent studies published in indexed journals, government reports, and international environmental regulations related to hydrocarbon pollution in water bodies, the environmental and health impacts of these compounds, and existing technologies for their removal. It was determined that conventional methods, such as adsorption and advanced oxidation, have limitations in cost and efficiency. However, it is crucial to strengthen environmental regulations and develop more effective strategies to reduce their presence in wastewater, thereby protecting water resources and public health.

Keywords: *BTEX, MTBE, Wastewater, Hydrocarbons in water, Water pollution, Health risks.*

1. Introducción

El acelerado aumento de la población a nivel global, aunado con el avance industrial, ha provocado un incremento considerable en la liberación de sustancias contaminantes hacia los ecosistemas acuáticos, afectando directamente la calidad tanto del agua como del suelo. Dentro de los contaminantes presentes en aguas residuales que generan mayor preocupación se encuentran los hidrocarburos derivados del petróleo, especialmente los compuestos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y el MTBE (éter metil-terc-butílico), ampliamente empleados en combustibles y solventes industriales (Stefanakis, 2019). Debido a su elevada solubilidad y capacidad de desplazamiento en el medio acuático, estos compuestos han sido identificados en diversos cuerpos de agua, representando un riesgo considerable para la salud humana y los ecosistemas.

El BTEX es un grupo de hidrocarburos aromáticos combinados presente en los combustibles fósiles y en los efluentes industriales. Su persistencia en el ambiente genera impactos ambientales severos, como la disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el medio acuático, afectando la fauna acuática y alterando el equilibrio ecológico de los cuerpos hídricos (Onyena et al., 2023). Estos compuestos, al interactuar con los suelos, modifican la estabilidad de los agregados, lo que repercute negativamente en su estructura y textura. Esto puede traducirse en una mayor vulnerabilidad a la erosión tanto hídrica como eólica, además de disminuir la capacidad de almacenamiento de carbono y nitrógeno, elementos fundamentales para mantener la fertilidad del suelo.

Desde el punto de vista de la salud pública, los impactos del BTEX resultan preocupantes. Se ha demostrado que el benceno es un carcinógeno con una fuerte asociación con la leucemia mieloide; el tolueno afecta el

sistema nervioso y la reproducción; el etilbenceno genera alteraciones en el hígado, los riñones y la sangre; mientras que los xilenos pueden provocar problemas neurológicos, cardiovasculares y respiratorios en organismos expuestos, incluidos los seres humanos (Muneron Mello et al., 2019). Estos compuestos pueden penetrar en los organismos tanto por la ingesta de agua contaminada como a través de la bioacumulación en la cadena alimentaria, lo que representa un peligro directo para la salud.

Por otro lado, el MTBE, un aditivo utilizado en combustibles para mejorar su eficiencia de combustión se ha convertido en un contaminante altamente persistente en el agua. Su elevada solubilidad facilita su infiltración en acuíferos, donde puede permanecer por largos periodos sin degradarse de manera natural. Numerosas investigaciones han vinculado la exposición al MTBE con efectos negativos en los sistemas respiratorio y digestivo, además de señalar su posible participación en procesos carcinogénicos.

Los compuestos BTEX y el MTBE llegan a los cuerpos de agua a través de múltiples vías, incluyendo derrames accidentales, filtraciones en estaciones de servicio, corrientes pluviales, descargas industriales y fugas en sistemas de almacenamiento subterráneo (Mustafa et al., 2018). Su presencia no solo compromete la disponibilidad del agua potable, sino que también reduce su aptitud para el riego agrícola y otros usos industriales.

Las tecnologías convencionales utilizadas para la eliminación de estos contaminantes incluyen procesos físicos y químicos como la adsorción, absorción, condensación, incineración térmica y separación por membranas. Sin embargo, estas técnicas suelen presentar limitaciones importantes, entre ellas sus elevados costos operativos y la posible generación de subproductos no deseados que requieren tratamientos adicionales. La creciente inquietud por la presencia de estos compuestos en aguas residuales ha motivado el desarrollo de estrategias más efectivas y sostenibles para su remoción. (Abtahi et al., 2018).

Dado el impacto ambiental y sanitario de los hidrocarburos BTEX y el MTBE, este artículo analiza su presencia en aguas residuales, sus impactos en la salud y el entorno, así como las tecnologías disponibles en la actualidad para su remoción. Entender la naturaleza de estos contaminantes y determinar las estrategias más efectivas para su tratamiento resulta fundamental para asegurar la preservación de los recursos hídricos y reducir los riesgos vinculados a su exposición.

2. Desarrollo

Para comprender la magnitud del problema que representan los compuestos BTEX y MTBE en aguas residuales, se realizó un análisis integral de fuentes científicas actuales. Se revisaron estudios recientes publicados en revistas indexadas, informes gubernamentales y normativas ambientales internacionales sobre contaminación por hidrocarburos. La búsqueda se efectuó en bases de datos como Scopus, Web of Science y Google Scholar, empleando palabras clave relacionadas con “BTEX”, “MTBE” y “tratamiento de aguas residuales”. Se seleccionaron investigaciones de los últimos 15 años que evaluaran su presencia, efectos ambientales y en la salud, así como tecnologías convencionales y emergentes aplicadas para su eliminación.

2.1. Hidrocarburos en el agua y el suelo

Los hidrocarburos, compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno, constituyen una de las principales fuentes de energía a nivel mundial. Sin embargo, su uso intensivo, junto con el crecimiento poblacional y la expansión industrial, ha provocado un incremento notable de la contaminación ambiental. Esta problemática afecta los ecosistemas terrestres, acuáticos y atmosféricos, generando un riesgo significativo para la calidad ambiental y la salud humana (Banerjee et al., 2016).

Las principales fuentes de contaminación por hidrocarburos incluyen derrames en cuerpos marinos, fugas en ductos de transporte, y operaciones asociadas a la exploración, refinación y almacenamiento. Se estima que anualmente se transportan más de 35 millones de barriles de petróleo por los océanos, incrementando la vulnerabilidad de los cuerpos de agua ante posibles episodios de contaminación. Estos eventos generan impactos severos en la fauna acuática, la flora costera y la calidad del agua, afectando ecosistemas marinos enteros.

Además, la contaminación del suelo por hidrocarburos representa una amenaza adicional, pues estos compuestos pueden infiltrarse hacia los acuíferos subterráneos, comprometiendo su calidad y disponibilidad. Incidentes de contaminación de suelo y agua se han vuelto cada vez más frecuentes en todo el mundo, especialmente en regiones con intensa actividad petroquímica.

En México, la presencia de hidrocarburos en fuentes de agua superficiales y subterráneas es una preocupación creciente. Las descargas industriales, la falta de tratamiento de aguas residuales y los derrames accidentales contribuyen a la acumulación de contaminantes, comprometiendo la seguridad hídrica del país.

2.2. BTEX y MTBE: naturaleza y comportamiento en el ambiente

Entre los hidrocarburos más estudiados por su alta toxicidad y persistencia destacan los compuestos BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) y el éter metil-terc-butílico (MTBE). En la figura 1 se muestran los porcentajes de estos compuestos son derivados del petróleo presentes en la gasolina. Estos compuestos se integran a nuestros ecosistemas a través de procesos industriales y en derrames de combustibles.

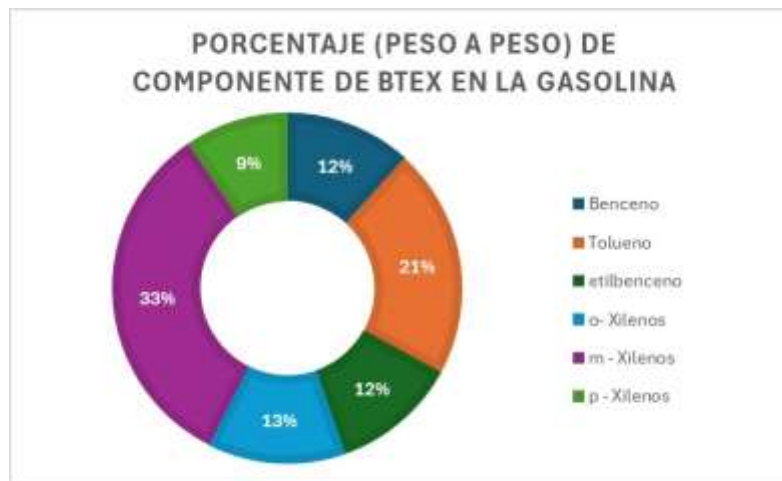


Figura 1. Porcentaje (peso a peso de componente de BTEX en la gasolina

Fuente: Kharisov, *et al.* (2014)

Debido a su alta solubilidad y movilidad, los BTEX y el MTBE se dispersan fácilmente en el ambiente, alcanzando tanto las aguas superficiales como las subterráneas. Esta característica, combinada con su volatilidad, los convierte en contaminantes de difícil eliminación. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) los ha clasificado como contaminantes prioritarios por su potencial cancerígeno y su capacidad de bioacumulación.

Desde un punto de vista químico (tabla 1), los BTEX son compuestos orgánicos volátiles con estructuras de anillos monoaromáticos. Su elevada solubilidad en agua y baja adsorción en suelos favorecen su movilidad a través de los acuíferos. Se estima que pueden representar hasta el 80% de las emisiones totales de compuestos orgánicos volátiles (COV) generadas por la industria petroquímica.

Tabla 1. Características físicas y químicas de los compuestos BTEX y MTBE a una temperatura de 25°C

Compuesto	Fórmula	Masa molecular M (g/mol)	Solubilidad S (g/cm ³)	Presión de vapor P (Pa)	Log Kow
Benceno	C ₆ H ₆	78.1	1780	12700	2.13
Tolueno	C ₆ H ₅ CH ₃	92.1	515	3800	2.69
Etilbenceno	C ₆ H ₅ CH ₂ CH ₃	106.2	160	1270	3.15
Xilenos	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂	106.2	185	1170	3.15
Metil terbutil éter	C ₅ H ₁₂ O	88.12	42000	33000	3.67

Fuente: Kharisov, *et al.* (2014)

El MTBE, por su parte, se empleó ampliamente como aditivo en combustibles para mejorar la combustión y reducir emisiones contaminantes. Sin embargo, su alta solubilidad le permite desplazarse con facilidad en el agua, generando contaminación en fuentes subterráneas y superficiales. Su persistencia y baja biodegradabilidad lo convierten en uno de los compuestos más difíciles de eliminar.

2.3. Efectos sobre la salud humana y el ecosistema

La exposición a BTEX y MTBE representa un grave riesgo para la salud humana y los ecosistemas. Estos compuestos ingresan al cuerpo principalmente por inhalación o ingestión de agua contaminada. Entre sus efectos más relevantes se encuentran daños hepáticos, renales, neurológicos y respiratorios, así como un incremento en el riesgo de cáncer.

El benceno es el compuesto más tóxico del grupo BTEX, reconocido como carcinógeno de categoría 1 por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC). La dosis letal estimada en humanos es de 10 ml (125 mg/kg). Desde 1948, el Instituto Americano del Petróleo (API) declaró que no existe una concentración segura de exposición a benceno. Los efectos sobre el ambiente son igualmente alarmantes, estos compuestos afectan la actividad microbiana del suelo, inhiben la fotosíntesis y alteran las cadenas tróficas acuáticas. Además, su volatilidad contribuye a la contaminación atmosférica, incrementando la formación de ozono troposférico.

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 establece límites máximos permisibles de 0.01 ppm para benceno, 0.7 ppm para tolueno, 0.3 ppm para etilbenceno y 0.5 ppm para xilenos, valores similares a los de la EPA y la OMS. No obstante, datos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2017) indican

que solo el 41.7% de los cuerpos de agua del país presentan calidad aceptable, lo que refleja una gestión deficiente de contaminantes como los BTEX (Tabla 2.)

Tabla 2. Valores máximos permitidos para BTEX en agua potable establecidos por diversas agencias regulatorias internacionales.

Agencias regulatorias	Benceno (ppm)	Tuleno (ppm)	Etilbenceno (ppm)	Xilenos (ppm)
NOM-127-SSA1-1994 (2000)	0.01	0.7	0.3	0.5
US EPA (1994)	0.005	1	0.7	10
OMS (2001)	0.01	0.7	0.3	0.5
ADWG (2011)	0.001	0.025	0.003	0.02

Fuente. Adecuado de NOM-127-SSA1-1994; US EPA, WHO, 2011; NHMRC, 2011

2.4. Métodos convencionales de remoción

El tratamiento de agua y suelos contaminados con BTEX y MTBE ha representado un desafío tecnológico durante décadas. Tradicionalmente, los métodos empleados incluyen adsorción, oxidación avanzada, aireación, evaporación y filtración por membranas. Los procesos de adsorción utilizan materiales como carbón activado o zeolitas para retener los contaminantes, pero su eficiencia disminuye en presencia de materia orgánica. Las tecnologías de oxidación avanzada (como el ozono o el peróxido de hidrógeno) son efectivas, pero generan subproductos tóxicos y demandan altos costos energéticos.

Por su parte, los métodos mecánicos, como el bombeo y tratamiento o el uso de barreras de contención, son útiles para emergencias, pero no garantizan la eliminación completa de los contaminantes. Los enfoques fisicoquímicos resultan costosos y poco sostenibles a largo plazo. Por ello, la investigación científica se ha orientado hacia el desarrollo de alternativas más limpias y eficientes, como la biorremediación y los humedales construidos.

2.5. Biorremediación y humedales construidos como alternativa sostenible

La biorremediación aprovecha la capacidad metabólica de microorganismos para degradar contaminantes y transformarlos en compuestos menos tóxicos. Este método es económico, ecológico y puede aplicarse in situ. Existen dos enfoques principales:

- Bioaumentación: introducción de microorganismos especializados.
- Bioestimulación: optimización de las condiciones del entorno para favorecer el crecimiento microbiano existente.

Sin embargo, la biorremediación presenta limitaciones: los compuestos aromáticos altamente estables resisten la degradación microbiana, y los procesos suelen requerir largos periodos de tratamiento (Franchi et al., 2016). En este contexto, los humedales construidos se han consolidado como una alternativa ecológica para tratar aguas contaminadas con BTEX y MTBE. Estos sistemas imitan los procesos naturales de los ecosistemas acuáticos mediante la interacción entre plantas, microorganismos y sustratos.

Los estudios han demostrado que los humedales de flujo subsuperficial horizontal (HSSF) eliminan más del 90% del benceno mediante biodegradación aeróbica. En sistemas de flujo vertical (VSSF), la volatilización tiene un papel secundario, representando menos del 1% de la eliminación total (Patil et al., 2016).

El tipo de vegetación es un factor determinante. *Phragmites australis* y *Typha latifolia* han mostrado altas tasas de remoción de BTEX, aunque *Phragmites* suele ser más eficiente debido a su mayor oxigenación radicular (Patil et al., 2016).

En el caso del MTBE, su alta solubilidad dificulta su tratamiento, pero los humedales construidos plantados con *Salix alba* o *Phragmites australis* han logrado eficiencias de eliminación superiores al 90% (Kuppusamy et al., 2016). Estos resultados confirman que los procesos combinados de adsorción, fitodepuración y biodegradación permiten una remoción efectiva de estos contaminantes.

2.6. Nuevas tecnologías: la nanotecnología en la remediación de BTEX y MTBE

La nanotecnología se ha convertido en una herramienta emergente para el tratamiento de contaminantes orgánicos. Su aplicación en la remediación de BTEX combina materiales avanzados, como nanotubos de carbono, nanopartículas metálicas y nanoadsorbentes, con los procesos convencionales (Kuppusamy et al., 2016).

Estos nanomateriales presentan propiedades excepcionales, como alta área superficial, reactividad controlable y afinidad selectiva por los contaminantes. La nanotecnología también se aplica en nano adsorbentes y nano

catalizadores, que aceleran la degradación química de los compuestos aromáticos. No obstante, persisten interrogantes sobre la toxicidad y la sostenibilidad ambiental del uso de nanomateriales en ecosistemas acuáticos (Fayemiwo et al., 2017). En México, aún no existen normativas específicas que regulen su aplicación ambiental, lo que representa un desafío para su implementación segura y a gran escala.

2.7. Desafíos y perspectivas futuras

A pesar de los avances en el conocimiento de los procesos de remediación, la eliminación completa de BTEX y MTBE sigue siendo un reto. Los métodos convencionales resultan costosos y poco sostenibles, mientras que las tecnologías emergentes requieren optimización y validación a escala real.

Los humedales construidos híbridos, que combinan sistemas de flujo vertical y horizontal, representan una de las estrategias más prometedoras, al integrar los beneficios de la aireación y la retención prolongada del agua. Su diseño modular y bajo costo de operación los posiciona como una herramienta viable para el tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos, especialmente en países en desarrollo.

El fortalecimiento de las políticas ambientales y la regulación de contaminantes prioritarios es igualmente esencial. México, al igual que otras naciones, necesita ampliar su red de monitoreo y fomentar proyectos de investigación que evalúen la eficiencia de tecnologías basadas en la naturaleza, como los humedales construidos.

Finalmente, la integración de enfoques interdisciplinarios —que combinen biotecnología, ingeniería ambiental y nanotecnología— permitirá desarrollar soluciones sostenibles y efectivas para reducir la presencia de BTEX y MTBE en los recursos hídricos. La protección del agua, recurso vital para todos los ecosistemas, requiere avanzar hacia modelos de tratamiento sustentables, accesibles y ambientalmente responsables.

3. Conclusiones

La presencia de compuestos BTEX y MTBE en las aguas residuales representa un desafío ambiental y sanitario de gran relevancia debido a su toxicidad, movilidad y persistencia. Estos contaminantes, derivados principalmente de actividades petroquímicas y del uso de combustibles, afectan la calidad del agua, los ecosistemas y la salud humana, por lo que su control y remoción son prioritarios. Si bien los métodos convencionales como la adsorción y la oxidación avanzada han mostrado eficacia, sus altos costos y limitaciones técnicas impulsan la búsqueda de alternativas sostenibles. En este contexto, los humedales

construidos destacan como una ecotecnología eficiente y económica, capaz de combinar procesos físicos, químicos y biológicos para lograr una depuración integral. Asimismo, el avance de la nanotecnología ofrece nuevas oportunidades para mejorar la detección y tratamiento de BTEX y MTBE, aunque aún requiere evaluación de riesgos ambientales. El fortalecimiento de la normativa ambiental, junto con la investigación interdisciplinaria, permitirá optimizar estas tecnologías y adaptarlas a diferentes contextos. En conjunto, la innovación científica y la gestión sostenible del agua son claves para mitigar el impacto de los hidrocarburos y avanzar hacia un modelo de tratamiento más resiliente y respetuoso con el medio ambiente.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al SECIHTI por el respaldo otorgado a la investigación. Asimismo, el primer autor reconoce el apoyo brindado mediante la beca de estudios #341486, concedida para el periodo de agosto 2023 a octubre 2027, destinada a la realización del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería en el Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Así mismo al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado con el proyecto No. 19690.24-P.D. para la realización de esta investigación.

Bibliografía

- Abtahi, M., Fakhri, Y., Conti, G.O., Ferrante, M., Taghavi, M., Tavakoli, J., Heshmati, A., Keramati, H., Moradi, B., Amanidaz, N. & Khaneghah, A.M., 2018. The concentration of BTEX in the air of Tehran: A systematic review-meta analysis and risk assessment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), p.1837. Available at: <https://doi.org/10.3390/ijerph15091837>.
- Banerjee, A., Roy, A., Dutta, S. & Mondal, S., 2016. Bioremediation of hydrocarbon - A Review. *International Journal of Advanced Research*, 4(6), pp.1303-1313. Available at: [doi:10.21474/IJAR01](https://doi.org/10.21474/IJAR01).
- CONAGUA. (2017). Estadísticas del Agua en México. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf
- Fayemiwo, O.M., 2018. Plant-Based Adsorbents for the Removal of BTEX Compounds from Water. ProQuest. Disponible en: <https://search.proquest.com/openview/799dc240c52a6c70d6847643cdd1b981/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2026366&diss=y> [Consultado el 01 abril 2025].

- Franchi, E., Agazzi, G., Rolli, E., Borin, S., Marasco, R., Chiaberge, S. y Barbafieri, M., 2016. Exploiting hydrocarbon-degrader indigenous bacteria for bioremediation and phytoremediation of a multi-contaminated soil. *Chemical Engineering & Technology*, 39(9), pp.1676-1684. doi:10.1002/ceat.201500573.
- Kaur, J., Pathak, T., Singh, A. y Kumar, K., 2017. Application of Nanotechnology in the Environment Biotechnology. En: R. Kumar, A. Sharma, y S. Ahluwalia, eds., *Advances in Environmental Biotechnology*. Springer, Singapore, pp.155-165. doi:10.1007/978-981-10-4041-2_9.
- Kuppusamy, S., Palanisami, T., Megharaj, M., Venkates, K. y Naidu, R., 2016. In-Situ Remediation Approaches for the Management of Contaminated Sites: A Comprehensive Overview. En: P. De Voogt, *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-319-20013-2_1.
- Muneron Mello, J.M., Brandão, H.L., Valério, A., de Souza, A.A.U., de Oliveira, D., da Silva, A. y de Souza, S.M.A.G.U., 2019. Biodegradation of BTEX compounds from petrochemical wastewater: Kinetic and toxicity. *Journal of Water Process Engineering*, 32, p.100914. doi:10.1016/j.jwpe.2019.100914.
- Mustafa, A., Azim, M.K., Raza, Z. y Kori, J.A., 2018. BTEX removal in a modified free water surface wetland. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894717316674> [Consultado el 01 abril 2025].
- Mustapha, H.I. y Lens, P.N.L., 2018. Constructed wetlands to treat petroleum wastewater. En: P.N.L. Lens, ed., *Environmental Management of Wastewater from Oil and Gas Industries*. Springer, pp.253-274. Recuperado de: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02369-0_10 [Consultado el 01 abril 2025].
- NOM-127-SSA1-1994, 1994. NOM-127-SSA1-1994, Norma Oficial Mexicana, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, 2012. Límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.

- Onyena, A.P., Nkwoji, J.A., Chukwu, L.O., Walker, T.R. y Sam, K., 2023. Risk assessment of sediment PAH, BTEX, and emerging contaminants in Chanomi Creek Niger Delta, Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(9), p.1080. doi:10.1007/s10661-023-11703-x.
- Patil, S., Shedbalkar, A., Truskewycz, A., Chopade, B. y Ball, A., 2016. Nanoparticles for environmental clean-up: A review of potential risks and emerging solutions. *Environmental Technology & Innovation*, 5, pp.10-21. doi:10.1016/j.eti.2015.11.001.