

Revisión del Uso de Microorganismos para la Biorremediación de Aguas Contaminadas por Hidrocarburos

Jorge Daniel Oruna Urtecho

jorge.oruna@uct.edu.pe

Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Universidad Católica de Trujillo

Carretera Panamericana Norte Km. 555-Trujillo-Perú.

Resumen

La contaminación de los recursos hídricos a causa de los hidrocarburos representa uno de los mayores problemas ambientales. Por el número de publicaciones en referencia al daño que ocasionan los hidrocarburos y sus derivados, demuestran el gran interés por la comunidad científica. La presente revisión bibliográfica se realizó con la finalidad de recopilar información sobre los aspectos de la biorremediación de hidrocarburos en aguas contaminadas; de forma tal que, pueda ser útil para futuros trabajos sobre este tema; así como la mejora en cuanto a estrategias existentes se refiere. Finalmente, se concluyó que la biorremediación en los trabajos revisados, tuvo un desempeño satisfactorio, demostrando que es una de las mejores alternativas de solución en el tratamiento de aguas contaminadas, debido a que este método, comparado con otros, presenta un bajo costo y, a su vez, no representa otros peligros para el ambiente.

Palabras clave: Biorremediación, hidrocarburos, microorganismos, contaminación hídrica

Abstract

The contamination of water resources by hydrocarbons represents one of the biggest environmental problems. Due to the number of publications referring to the damage caused by hydrocarbons and their derivatives, they demonstrate the great interest in the scientific community. The present bibliographic review was carried out with the purpose of compiling information on the aspects of the bioremediation of hydrocarbons in contaminated waters; in such a way that it can be useful for future work related to bioremediation; as well as the improvement in terms of existing strategies. Finally, it was concluded that bioremediation, in the reviewed works, had a satisfactory performance, demonstrating that it is one of the best alternative solutions in the treatment of contaminated water, because this method, compared to others, has a low cost and in turn, it does not represent other dangers to the environment.

keywords: Bioremediation, hydrocarbons, microorganisms, water pollution

1. Introducción

La contaminación a causa de hidrocarburos representa uno de los mayores problemas ambientales en la actualidad. Sus derivados son muy usados en distintas áreas de nuestra vida cotidiana, como lo son el combustible, los plásticos, insecticidas, entre otros. La persistencia de estos en el ambiente genera pérdidas en los recursos naturales, en su composición y en el flujo de energía, causando alteraciones en el equilibrio ecológico (Hernández 2019).

La biorremediación representa una forma para poder reducir el daño causado por el uso de hidrocarburos, pues este consiste en el uso de diferentes organismos vivos como las plantas, bacterias y hongos, que tienen la capacidad de neutralizar sustancias tóxicas, disminuir su toxicidad y degradarlas, haciendo que ya no representen un daño para el medio ambiente y la salud humana (Luján-Roca 2019).

Existe una gran variedad de métodos para realizar biorremediación, dependiendo el daño que se busca remediar. Por ello, es de vital importancia poder identificar y clasificar que métodos existen para la biorremediación de hidrocarburos, y así poder saber cuál es la capacidad de degradación que presenta cada microorganismo (Kachienga, Jitendra y Momba 2018).

Por todo lo antes mencionado, esta revisión bibliográfica tiene como objetivo aportar información acerca de los microorganismos con capacidad de biorremediar los hidrocarburos en el agua contaminada, así como clasificar las características y eficiencia que los microorganismos presentan en torno a la biodegradación de los hidrocarburos en base a publicaciones recientes.

2. Métodos

Para el presente trabajo, se utilizó diferentes bases de datos: PubMed, SciELO, Google académico, EBSCO y repositorios de trabajos de tesis. Como estrategia de búsqueda, se utilizaron las palabras clave: “biorremediación”, “hidrocarburos”, “aguas contaminadas” y “microorganismos”. Cabe destacar que, de toda la información bibliográfica recopilada, se seleccionaron 16 fuentes para el presente estudio.

3. Alcance de la Revisión

3.1 Contaminación Hídrica

A lo largo de los últimos tiempos, es evidente que, con el aumento de la población mundial, la necesidad de abastecer a la población con este recurso ha aumentado, y esto ha generado una mayor presión sobre su disponibilidad. Tal situación es aún mayor en zonas donde la cantidad de la población es más alta y no disponen de agua ni de sus recursos asociados. (González 2017). Así mismo, los recursos hídricos han presentado un deterioro a causa de las actividades antropogénicas generadas por el desarrollo e incremento poblacional desmedido. Desde el desarrollo a causa de la revolución industrial, se ha generado una mayor producción de bienes, lo que trajo consigo un gran aumento de los residuos producidos por la población, y se desconocía que, muchos de estos residuos podrían causar daño al medio ambiente (Montenegro, Pulido y Calderón 2019). En los distintos tipos de aguas (superficiales, subterráneas y residuales) se comenzó a observar que ciertos componentes

presentaban una difícil degradación, siendo catalogados como compuestos xenobióticos, los cuales trajeron consigo el desarrollo de distintas enfermedades. Esta situación originó la preocupación de los investigadores de todo el mundo, lo cual motivó la búsqueda de soluciones para la eliminación de estos compuestos que afectan, de manera negativa, al ambiente y a la salud humana (Montenegro , Pulido y Calderón 2019). A lo largo de los años, se ha venido estudiando los diferentes métodos posibles para eliminar estos compuestos xenobióticos y se han encontrado métodos físicos, químicos y biológicos. De estos últimos, la biorremediación viene a ser una de las estrategias más empleadas para minimizar los impactos ya generados (Leyton-Franco y Perez-Vidal 2020).

3.2 Hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos formados por cadenas de átomos de carbono e hidrógeno; además, presentan una estructura disímil, lo que determina su clasificación. Estos se encuentran en abundancia en la naturaleza, pues poseen diversos orígenes, sin embargo, el petróleo es el que causa más interés para el hombre (Araujo, y otros 2016). Los hidrocarburos, especialmente los aromáticos, tienen importancia industrial, debido a que estos son usados para la elaboración de toneladas de plásticos, elastómeros y fibras sintéticas (Jiménez 2020) . Debido a las diversas actividades petroleras y a la gran cantidad de productos derivados, se han presentado muchos accidentes que, al causar una contaminación de manera directa sobre masas de agua, estos permanecen en la superficie y forman una capa flotante, afectando los ecosistemas y organismos de la zona. (Goya y Álvarez 2020).

3.3 Biorremediación

A fin de buscar un modo de combatir la creciente contaminación a causa de compuestos xenobióticos, se llegó a estudiar la biorremediación. Esta refiere al conjunto de mecanismos que utilizan ciertos microorganismos en la degradación de sustancias que han sido colocados en un lugar no correspondiente o que se presentan en cantidades no permitidas. (Brutti , Beltrán y García 2018). Por consiguiente, la biorremediación está basada en el uso de las capacidades que tienen los organismos vivos para degradar de forma natural ciertos compuestos contaminantes. Estos tienen la capacidad de degradar, transformar y estabilizar compuestos orgánicos e inorgánicos; todo este proceso se realiza a través de sus propias actividades metabólicas, usando como fuente de alimento a estos contaminantes (Goya y Álvarez 2020). El uso de la biorremediación es considerado una tecnología eco-amigable, debido a que no requiere la aplicación de sustancias químicas para la degradación del compuesto; lo que significa que no se formarán sub productos que puedan a la larga representar otro problema para el medio ambiente (Leyton-Franco y Perez-Vidal 2020). La biorremediación se puede llevar a cabo in situ y ex situ. La primera se refiere a que se llevará a cabo en el lugar donde se ha producido la contaminación que se busca remediar; la segunda, a que la biorremediación no se realizará en el lugar afectado, sino en un lugar preparado (Ocampo 2020).

3.4 Biorremediación de hidrocarburos

En el proyecto de investigación titulado “Uso de *Bacillus coagulans* para la biorremediación de sedimento contaminado por hidrocarburos en el ejido el Sacrificio Tuxpan, Veracruz”, realizado en el año 2019 por la bióloga Yolanda Hernández, se estudió el uso de bacterias *Bacillus coagulans* con el fin de biorremediar el sedimento contaminado por hidrocarburos en Tuxpan, Veracruz – México. Para ello, realizaron un estudio de las características del sedimento contaminado, dando como resultado que el sedimento era de clase franco arenosa y presentaba una densidad baja de 1.08g/ cm³, salinidad de 5,510 µS, Potencial de Hidrógeno (pH) con valores de 5-6 y temperatura promedio de 24°C. Obtuvieron como resultados que, los tratamientos bioaumentados presentaron un óptimo resultado, siendo que el tratamiento 2 con bioestimulación y agitación mecánica, junto con el tratamiento 4 sin nutrientes y el tratamiento 5 sin agitación mecánica presentaron una biodegradación de 52 %, 51 % y 45 % respectivamente, en un periodo de 90 días (Hernández 2019).

De acuerdo a la revisión titulada “Uso de *Pseudomonas aeruginosa* en biorremediación” realizada en el 2019 por Lujan-Roca Daniel, se informa sobre el uso de *Pseudomonas aeruginosa* para la biorremediación de hidrocarburos y metales pesados; en donde se indica que la biorremediación, por estas bacterias, es un método considerado rentable y ecológico, debido a que convierte a los hidrocarburos en subproductos como el CO₂ y agua. También, su uso es destacable, debido a la gran capacidad catabólica, sus pocos requerimientos abióticos y fácil adaptación a condiciones adversas (Luján-Roca 2019)

En el estudio titulado: “Bioremediación de hidrocarburos en aguas residuales con cultivo mixto de microorganismos: caso Lubricadora Puyango”, realizado en el año 2019 por García, J., Peñafiel, D. y Rodríguez, R., evaluaron la biorremediación de hidrocarburos en las aguas residuales de Puyango. Para ello, caracterizaron las aguas residuales y se aplicó los microorganismos para la biorremediación: la mezcla de microorganismos utilizada fue de *Acinetobacter sp.*, *Pseudomonas sp.* y *Mycobacterium sp.* Como resultado obtuvieron que, la biorremediación aplicada en la Lubricadora Puyango fue eficiente, pues se obtuvo una degradación por encima de 86 %. Además, se obtuvo mejores resultados de degradación de Hidrocarburos Totales de Petróleo a la tercera semana, con un resultado de 98 % (García, Peñafiel y Rodríguez 2019).

En el estudio titulado “Microbial Degradation of Hydrocarbons-Basic Principles for Bioremediation:” realizado en el año 2020 por Łukasz Ławniczak et al. Se hizo una revisión sobre los conceptos y principios de la biorremediación de hidrocarburos, en la cual se recolectó información analizando la eficacia de la biorremediación. Así mismo, realizaron una recolección de las estrategias de biorremediación más usadas en el tratamiento contra hidrocarburos (Tabla 1) y realizaron un gráfico con sus pro y contras correspondientes (Figura 1) (Ławniczak, y otros 2020).

Estrategia de biorremediación	Contaminantes	Sistema de prueba	Eficiencia de eliminación	Duración del proceso	Conclusiones Comentarios	Referencia
Bioaumentación autóctona	Alcanos (concentración inicial no especificada)	Microcosmos de recortes de perforación	35–66 %	12 semanas	Los consorcios se aislaron de los recortes de perforación, se enriquecieron y se reintrodujeron. Los consorcios exhibieron un alto potencial de biodegradación hacia varios sustratos de hidrocarburos y la capacidad de producir biosurfactantes. Se observó enriquecimiento de Firmicutes.	(Guerra, y otros 2018)
Bioaumentación autóctona	Fenantreno (10 mg / L)	Pruebas de botella	> 90 %	6 días	La bioaumentación autóctona permitió mejorar la eficiencia de la biodegradación. El aislado autóctono reintroducido no participó directamente en el proceso de biodegradación, y la mejora se atribuyó a la diversidad alterada de degradadores de PAH.	(Li, y otros 2018)
Bioaumentación autóctona	Petróleo crudo (10 a 50 g / kg)	Compostaje	60–91 %	12 semanas	La reintroducción de dos aislamientos autóctonos en la población permitió una bioaumentación exitosa y una mejora del proceso de biodegradación.	(Koolivand, y otros 2019).

Tabla 1: Aplicación de estrategias de biorremediación por diferentes estudios, en los cuales se especifica el contaminante a tratar, el sistema a prueba, la eficiencia de degradación que presenta el método para el contaminante respectivo, la duración del proceso de biorremediación, y comentarios/ conclusiones de cada estudio acerca de los resultados obtenidos. (Lawniczak, y otros 2020).

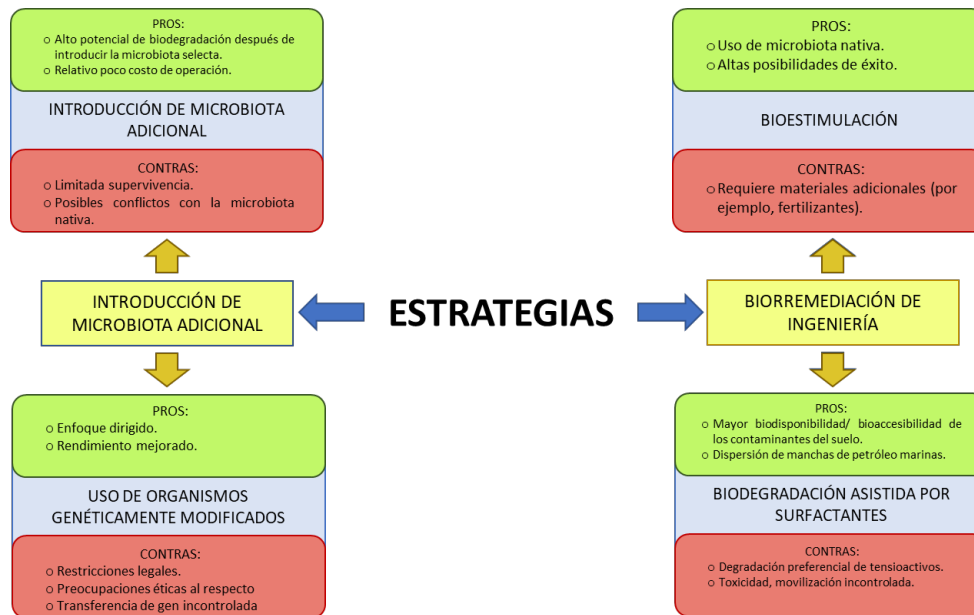


Figura 1: Estrategias de Biorremediación por introducción de microbiota y por biorremediación de ingeniería, además de incluir los beneficios y contras que presentan el uso de cada estrategia. Fuente: (Ławniczak, y otros 2020).

4. Conclusiones

- Los hidrocarburos se pueden encontrar en una gran proporción de los productos usados por los seres humanos, debido a que tienen una producción masiva de productos a partir de estos. Debido a ello, muchas extensiones del recurso hídrico mundial se han visto afectados.
- La biorremediación representa una de las mejores alternativas para la eliminación de la contaminación hídrica a causa de hidrocarburos, pues es una opción eco-amigable y de menor costo a comparación de otros métodos utilizados.
- Es notorio el interés por parte de la comunidad científica en la búsqueda de alternativas de biorremediación y los estudios de efectividad de los diferentes organismos que presentan esta capacidad. Esto es visible en la cantidad de artículos científicos relacionados al tema de estudio.
- En la mayoría de los estudios seleccionados, se pudo observar que los microorganismos más utilizados fueron las bacterias, en las que destacan los géneros de *Pseudomonas sp* y *Bacillus sp*.
- Se puede concluir que la biorremediación de ambientes contaminados a causa de hidrocarburos presenta un índice de degradación requerido para la estabilización de los ecosistemas afectados.

Referencias

- Araujo, José, Francisco Yegres, Guillermo Barreto, Angel Antequera, Belkys Depool, y Yurubit Rojas. «Biocatalizadores fúngicos hidrocarbonoclasticos del genero *Aspergillus* para la descontaminación de agua con Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (HPAs).» *Revista Cubana de Química* vol.22 N°2, 2016: 703-035.
- Brutti , Lucrecia, Marcelo Beltrán , y Inés García. *Biorremediación de los recursos naturales*. Hurlingham: Ediciones INTA, 2018.
- García, Judit, Daniel Peñafiel, y Remberto Rodríguez. «Biorremediación de hidrocarburos en aguas residuales con cultivo mixto de microorganismos: caso Lubricadora Puyango.» *Enfoque UTE* 10 (1), 2019: 185-196.
- González, Daniel. «Eliminación de xenobióticos de aguas residuales urbanas mediante biorreactores de membrana sumergida.» Universidad de Granada, 2017.
- Goya, Nelson, y Xavier Álvarez . «Análisis de las estrategias para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos totales de petróleo (TPH) .» Universidad de Guayaquil., 2020.
- Guerra, Alaine, y otros. «Metagenome enrichment approach used for selection of oil-degrading bacteria consortia for drill cutting residue bioremediation.» *Environmental Pollution* Vol 235, 2018: 869-880.
- Hernández, Yolanda. «Uso de *Bacillus coagulans* para la biorremediación de sedimento contaminado por hidrocarburos en el ejido el Sacrificio Tuxpan, Veracruz.» *UNIVERSIDAD VERACRUZANA*, 2019.
- Jiménez, Vilma. «Evaluación de bacterias y hongos potencialmente utilizables para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos.» Universidad Agraria de Ecuador , 2020.
- Kachienga, Leonard, Keshri Jitendra, y Maggy Momba. «Metagenomic profiling for assessing microbial diversity and microbial adaptation to degradation of hydrocarbons in two South African petroleum-contaminated water aquifers.» *Scientific Reports* 8, 2018.
- Koolivand, Ali, Hamid Abtahi, Maryam Parhamfar, Mojtaba Didehdar, Reza Saeedi, y Shohreh Fahimirad. «Biodegradation of high concentrations of petroleum compounds by using indigenous bacteria isolated from petroleum hydrocarbons-rich sludge: Effective scale-up from liquid medium to composting process.» *Journal of Environmental Management* Vol 248, 2019: 109228.
- Lawniczak, Lukasz, Marta Woźniak-Karczewska, Andreas Loibner, Hermann Heipieper, y Lukasz Chrzanowski. «Microbial Degradation of Hydrocarbons-Basic Principles for Bioremediation: A Review.» *Molecules*, 2020.
- Leyton-Franco, María, y Andrea Perez-Vidal. «Tecnologías para biorremediación de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos.» Universidad Santiago de Cali, 2020.

Li, Jibin, y otros. «Autochthonous Bioaugmentation-Modified Bacterial Diversity of Phenanthrene Degraders in PAH-Contaminated Wastewater as Revealed by DNA-Stable Isotope Probing.» *Environmental Science Technology* Vol 52 N°5, 2018: 2934-2944.

Luján-Roca, Daniel. «Uso de *Pseudomonas aeruginosa* en biorremediación.» *Biotecnología* 2019 Vol. 23 N°1, 2019: 32. Montenegro, Sandra, Sandra Pulido, y Luisa Calderón. «Prácticas de biorremediación en suelos y aguas.» *Notas de Campus*, 2019.

Ocampo, Candy. «El potencial de la biorremediación.» *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 2020.