

# Bioremediation of soils contaminated by hydrocarbons. A systematic review of the literatura.

## Biorremediación de suelo contaminados por hidrocarburos. Una revisión sistemática de la literatura.

Cano Delgadillo Mariza <sup>1</sup>, Greyse Martinez Echenique<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Perú, [marizacano@upeu.edu.pe](mailto:marizacano@upeu.edu.pe),

<sup>2</sup>Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Perú, [77158473@upeu.edu.pe](mailto:77158473@upeu.edu.pe)

*Resumen– En la actualidad se ha presentado diversos casos de suelos contaminados por hidrocarburos, afectando seriamente al suelo y su entorno. Por ello tenemos como objetivo exponer las alternativas de biorremediación para suelos contaminados por hidrocarburos. Para este artículo de revisión se empleó como base, la metodología PRISMA, cuyo propósito es la biorremediación de suelos. Los resultados de esta revisión muestran que la alternativa de biorremediación con mejor resultado fue el hongo Trichoderma, que representaba una prometedora restauración de los suelos contaminados, asimismo que debía ser complementado con un adecuado ph, temperatura y materia orgánica. Por último, se puede mencionar que las alternativas mencionadas tuvieron resultados beneficiosos para la biorremediación de suelos, mostrando que el avance de la ciencia está logrando restaurar el daño causado por actividades humanas.*

*Palabras clave– Biorremediación, Suelos contaminados, hidrocarburos, Suelos.*

*Abstract– Currently, there have been several cases of hydrocarbon contaminated soils, seriously affecting the soil and its environment. Therefore, our objective is to present bioremediation alternatives for soils contaminated by hydrocarbons. For this review article we used as a basis the PRISMA methodology, whose purpose is the bioremediation of soils. The results of this review show that the bioremediation alternative with the best results was the Trichoderma fungus, which represented a promising restoration of contaminated soils, and that it should be complemented with an adequate pH, temperature and organic matter. Finally, it can be mentioned that the mentioned alternatives had beneficial results for soil bioremediation, showing that the advance of science is managing to restore the damage caused by human activities.*

*Keywords– Bioremediation, Contaminated soils, hydrocarbons, Soils.*

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.21> ISBN:  
978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

### I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por hidrocarburos constituye un problema ambiental significativo a nivel mundial debido al extenso uso de combustibles y lubricantes en diversas industrias (Robb & Hoggatt, 1995). Estos contaminantes pueden persistir en el medio ambiente, provocando daños ecológicos y riesgos para la salud si no se gestionan adecuadamente (Chen, 2020). Mineras Frente a estas preocupaciones, se han desarrollado métodos de remediación ecológica y sostenible, destacando entre ellos la biorremediación como una solución prometedora (Urtecho, 2022; Silva-Castro et al., 2021). metalúrgicas, La biorremediación utiliza organismos vivos, como microorganismos o plantas, para degradar o transformar contaminantes en sustancias menos tóxicas. Estas técnica ha sido

objetivo de amplios estudios en los últimos años debido a su bajo costo, eficacia y menor impacto ambiental en comparación con otros métodos como la remediación química o física (Azubuike et al., 2016) En particular , los microorganismos han demostrado ser altamente efectivos en la degradación de hidrocarburos , ya que se pueden utilizar altamente efectivos en la degradación de hidrocarburos, ya que pueden utilizar estos compuestos como fuente de carbono y energía (Agnello et al., 2020).industriales, Diversos estudios han explorado el potencial de diferentes especies microbianas para la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos (Urtecho, 2022; Tahri et al., 2013; Bilal & Iqbal, 2020; Sharma, 2021) actividades urbanas, La contaminación por hidrocarburos representa uno de los mayores problemas ambientales actuales debido a su uso generalizado en la vida cotidiana (Urtecho, 2022), impactando negativamente en el ecosistema y la salud humana (Crespo et al., 2018). de fertilizantes La contaminación de suelos y aguas subterráneas por hidrocarburos es especialmente grave en países de Asia, África y Sudamérica, donde se estima que más del 30% de las aguas subterráneas están contaminadas por compuestos orgánicos, incluidos los hidrocarburos (Urtecho, 2022) Para abordar este problema, se han desarrollado diversas técnicas de remediación, destacándose la biorremediación por su capacidad de utilizar microorganismos , como bacterias y hongos , para degradar y transformar los contaminantes en compuestos menos tóxicos o inocuos (Bilal & Iqbal, 2020).

La biorremediación ofrece varias ventajas respecto a otros métodos de remediación , siendo relativamente económica y aplicable in situ, evitando así la necesidad de excavar y transportar grandes volúmenes de suelo contaminado (Shiomi, 2018) considerados. Además , es un método respetuoso con el medio ambiente, ya que no genera subproductos tóxicos ni contamina aún más el entorno (Sharma, 2021).

Por ello , este trabajo tienen como objetivo presentar alternativas de biorremediación para abordar la problemática de la contaminación del suelo por hidrocarburos.

Se utilizó la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), su finalidad es ayudar a mejorar la integridad de los informes concernientes a revisiones sistemáticas y metanálisis, del mismo modo, contribuye a sustentar la base para otros tipos de revisiones y se utiliza para revisiones sistemáticas publicadas.

Las preguntas de investigación para el estudio de revisión fueron: ¿Que tan efectivos son las técnicas de biorremediación? ¿Qué método de biorremediación resulta ser más efectivo para la contaminación por hidrocarburos? ¿Cuántas técnicas de biorremediación fueron estudiadas? ¿Qué microorganismos se utilizan para el tratamiento de suelos contaminados por hidrocarburos?

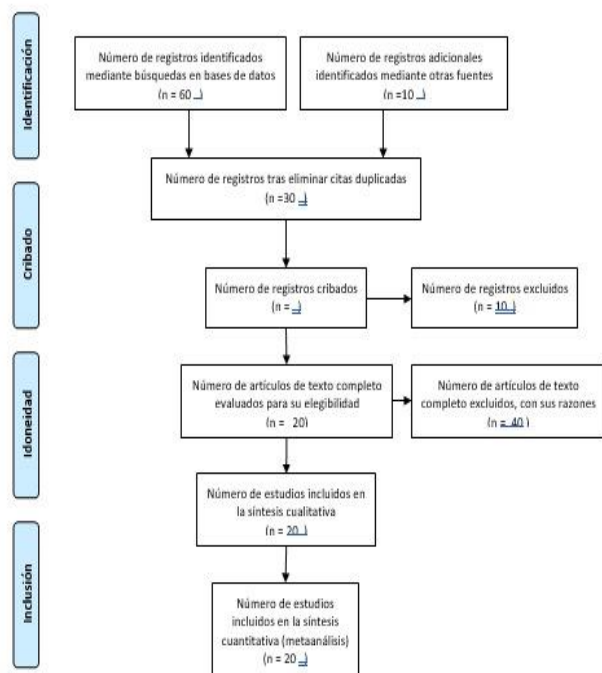
Por otro lado, para la búsqueda de información que persigue el objetivo de investigación; teniendo en cuenta la homogeneidad de estudios de variables y similitud de contexto, analizando los resultados y conclusiones que justifiquen su inclusión, en distintas bases de datos tales como: Scopus , Scielo y Google academy.

Asimismo, el criterio de búsqueda son palabras claves en el idioma inglés; se realizó la búsqueda por autores y títulos; se llegó a utilizar artículos de diversos años desde el 2000 hasta 2024.

Del mismo modo,

A continuación, la Fig. 1 se detalla el proceso de selección de artículos para el desarrollo de la investigación

Fig. 1 Diagrama de Flujo de selección de información



El documento menciona varios microorganismos utilizados en procesos de biorremediación. Entre todos los más destacados fueron:

Microorganismo	Efecto
Cianobacteria Spirulina máxima	Usada para la remoción de hidrocarburos policíclicos aromáticos con una remoción del 4.72% a 100 ppm y del 4.34% a 200 ppm después de 72 horas.
Bacterias AX15,AX67 Y AX87	Bacterias aisladas de suelos contaminados con petróleo mostraron diversas fenotípica y metabólica, siendo los que mejores crecieron.
Hongo del género Trichoderma	T. brevicompactum, T. harzianum y T. spirale mostraron alta capacidad de remoción de cadmio (Cd) y se identificaron como potenciales agentes de biorremediación para la remoción de Cd en suelos
Bacterias heterótrofas	Se realizaron recuentos de estas bacterias en el suelo, evaluando su actividad en la biodegradación.
Cepas bacterianas : Sphingobium, Sphingomonas, Acidovorax, Alkali genes, Actinobacterias, Burkholder iasp, Rhizobium sp, Pseudomonas sp, Stenotrophomonas y Sinorhizobium.	Estos microorganismos tienen la capacidad de biodegradar compuestos aromáticos con el fenantreno.
Vermicomposta	Logra degradar hidrocarburos gracias a las enzimas y microorganismos que contiene.

Según el grupo de Biotecnología de Microalgas de CINESTAV encontró que la cianobacteria Spirulina maxima puede remover hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) utilizando fenantreno como modelo, con eficiencias de remoción del 4.72% a 100 ppm y del 4.34% a 200 ppm después |In de 72 horas. Otro estudio, realizado por SEMARNAT, mostró que la adición de lodos residuales a suelos contaminados con

hidrocarburos puede lograr tasas de remoción significativas, alcanzando hasta el 93% en pruebas de laboratorio y 67% en escalas piloto.

Los estudios también sugieren que la combinación de estiércol y aserrín puede ser efectiva en la reducción de hidrocarburos en suelos contaminados, con algunas cepas de hongos *Trichoderma* mostrando capacidades para la remoción de cadmio en suelos de cacao.

Se menciona la existencia de bacterias nativas degradadoras de petróleo en suelos tropicales, que sugieren un potencial significativo para la biorremediación. El texto menciona que la adición de ácidos húmicos y fúlvicos de vermicompost y lignita mejora los procesos de biorremediación del petróleo crudo en diferentes tipos de suelos en Tabasco. Se observa que los suelos con textura arcillosos – limoso y arenosa, ambos con pH neutro, presentan mayores tasas de degradación de petróleo crudo en comparación con el suelo arcilloso con pH neutro. Además, se destacan la correlación positiva entre el número de microorganismo y la actividad deshidrogenasa en los suelos recién contaminados e intemperizados.

Las bacterias AX15, AX67 y AX87, estas bacterias aisladas de suelos contaminados con petróleo mostraron diversidad fenotípica y metabólica, siendo las que crecieron mejor en medios de cultivo preparados con extractos de suelos con diferentes concentraciones de hidrocarburos.

De estos microorganismos, las bacterias y los hongos del género **Trichoderma** son mencionados como los más prometedores y utilizados en diversos estudios para la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos y metales pesados.

### III. DISCUSIÓN

Un enfoque destacado en la biorremediación es el uso de microorganismos específicos, como las cepas de *Trichoderma*. Según el artículo de Marcia Pesántez y Rosa Castro, titulado "Potencial de cepas de *Trichoderma* spp. para la biorremediación de suelos contaminados con petróleo", se ha demostrado que la inoculación con cepas de *Trichoderma* reduce significativamente el contenido de compuestos contaminantes en el suelo. Este hallazgo es crucial, ya que valida la efectividad de *Trichoderma* en la degradación de contaminantes petroquímicos, lo cual puede tener aplicaciones extensivas en la remediación de suelos afectados por derrames de petróleo y otras fuentes de contaminación similar.

Adicionalmente, el estudio "Biorremediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en Puerto Perales, Antioquia, empleando *Trichoderma harzianum* y cáscara de naranja" de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, proporciona más evidencia del potencial de *Trichoderma harzianum*. Este estudio resalta las características

especiales de *Trichoderma harzianum*, incluyendo su resistencia a altas concentraciones de hidrocarburos. Además, se observa que su utilización no solo ayuda a la degradación de los contaminantes, sino que también promueve la bioestimulación de las plantas, en este caso, del maíz. Este doble beneficio, tanto en la remediación del suelo como en la mejora del crecimiento de las plantas, destaca el valor agregado de utilizar *Trichoderma* en prácticas agrícolas y de recuperación ambiental.

En resumen, los estudios revisados aportan una fuerte evidencia sobre la eficacia de *Trichoderma* spp. en la biorremediación de suelos contaminados. Estas investigaciones no solo corroboran su capacidad para reducir los niveles de contaminantes petroquímicos, sino que también demuestran su resistencia y adaptabilidad a condiciones adversas, como altas concentraciones de hidrocarburos. Además, la contribución de *Trichoderma* a la bioestimulación de plantas sugiere un enfoque integrador que podría mejorar la productividad agrícola en suelos previamente contaminados.

La acumulación de estos hallazgos resalta la importancia de continuar investigando y desarrollando aplicaciones prácticas de *Trichoderma* y otros microorganismos en la biorremediación. La implementación de estas técnicas a mayor escala podría ofrecer soluciones sostenibles y efectivas para la mitigación de la contaminación ambiental, al tiempo que se promueve un uso más eficiente y productivo del suelo en la agricultura.

### IV. CONCLUSIONES

A partir de los resultados de este estudio, se concluye que la biorremediación, es una técnica que ha dado buenos resultados porque se ha encontrado microorganismos con mayor eficacia, como es el *Trichoderma*. Según el artículo "Biorremediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en Puerto Perales Antioquia empleando "*Trichoderma harzianum*" y cáscara de naranja" de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, se evidenció que la *Trichoderma harzianum* posee características especiales y resistencia a las altas concentraciones de hidrocarburo que genera un gran aporte en la bioestimulación de la planta de maíz. (Luciana Cambarieri1, 2021)

### REFERENCIAS

- CUAICAL, S. D. (Julio de 2016). *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13228>
- Marcia Pesántez, R. C. (2016). *Biotecnología Vegetal*. Obtenido de Instituto de Biotecnología de las Plantas: <https://biblat.unam.mx/hevila/Biotecnologiavegetal/2016/vol16/no4/8.pdf>

- José Cayotopa-Torres<sup>1, 2</sup>. (28 de Marzo de 2021). *Scientia Agropecuaria*. Obtenido de <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v12n2/2077-9917-agro-12-02-155.pdf>
- Luciana Cambarieri<sup>1</sup>, G. N. (11 de Marzo de 2021). *Asociación española de ecología terrestre*. Obtenido de [ile:///C:/Users/mariz/Downloads/2084-Texto%20del%20articulo-10178-1-10-20210430%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mariz/Downloads/2084-Texto%20del%20articulo-10178-1-10-20210430%20(1).pdf)
- Jorge Ortíz-Maya, E. E.-E.-M. (Mayo de 2017). *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/370/37052723005/37052723005.pdf>
- Adriana MARTÍNEZ-PRADO<sup>1\*</sup>, M. E.-L.-E.-N.-R. (2011). *BIORREMEDIACIÓN DE SUELO CONTAMINADO CON HIDROCARBUROS EMPLEANDO LODOS RESIDUALES COMO FUENTE ALTERNA DE NUTRIENTES*. Dgo., México: Rev. Int. Contam. Ambie. 27(3) 241-252, 2011.
- R., H. B. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol*. Lima, Perú : Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr. .
- Ronald Ferrera-Cerrato, \*. N.-A.-V.-V. (Abril - Junio. 2006). *Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos*. Mexico: Rev Latinoam Microbiol 2006; 48 (2): 179-187.
- Adams Schroeder, R. H., Domínguez Rodríguez, V. I., & García Hernández, L. ( abril-junio, 1999). *Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano*. Chapingo, México: Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal.
- Adriana MARTÍNEZ-PRADO<sup>1\*</sup>, M. E.-L.-E.-N.-R. (2011). *BIORREMEDIACIÓN DE SUELO*
- Bioremediation of soils contaminated by hydrocarbons using animal manure, a systematic review during the years 2017-2022*. ( July 17 - 21, 2023). Buenos Aires, Argentina: LACCEI.
- R., H. B. (2012). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol*. Lima, Perú : Rev. Inst. investig. Fac. minas metal cienc. geogr. .
- Ricardo Abel Vizuet García<sup>2</sup>, A. E. (2020). *Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos a base de bacterias utilizadas como bioproductos*. Ecuador: LASALLISTA DE INVESTIGACIÓN–Vol. 17 No 1–2020–R. Vizuet García.
- Ronald Ferrera-Cerrato, \*. N.-A.-V.-V. (Abril - Junio. 2006). *Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos*. Mexico: Rev Latinoam Microbiol 2006; 48 (2): 179-187.
- Héctor H. Riojas González<sup>1, 3</sup>. L. (Diciembre de 2010). *Revista Química Viva* -. Obtenido de [tps://www.redalyc.org/pdf/863/86315692003.pdf](https://www.redalyc.org/pdf/863/86315692003.pdf)
- HERAS-MARTÍNEZ<sup>1</sup>, H. M. (2022). *Rev. Int. Contam. Ambie*. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v38/0188-4999-rica-38-54462.pdf>
- F.M., C.-R., M.J., L.-V., L.-F.G., I., V.-P.M., W., & C.-A.F., A. (2023). *Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology*. Obtenido de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85172366381&partnerID=40&md5=a0c6f6c1f7fc0b5c6b579dd16ed2ea82>
- José Cayotopa-Torres<sup>1, 2</sup>, Luis Arévalo-López<sup>1, 2</sup>, Pichis-García<sup>1</sup>, R., Olivera-Cayotopa<sup>1</sup>, D., Rimachi-Valle<sup>1</sup>, M., & Márquez-Dávila<sup>2</sup>, K. (2021). *New cadmium bioremediation agents: Trichoderma species native to the rhizosphere of cacao trees*. Trujillo, Perú: Unitru.
- Mikhedova, E. (2021). *Aspectos ecológicos del uso de sorbentes para mejorar la eficiencia de bioremediación de suelos contaminados por petróleo*. Lima, Perú: el reventón energético.
- Blanca Celeste Saucedo-Martínez<sup>2</sup>, L. M.-B.-P.-Y. (2021). *Detergentes y Biodetergentes en la Biorremediación de Suelo: Inconsistencias y Evidencias*. Mexico: LASALLISTA.