



Article scientific

Bioremediation with African snails (*Achatina fullica*) in soils contaminated by hydrocarbons

Jean Capcha Cantalicio ^a, Frans Shenone Meza Aguirre ^a, Judner Valdizan Vonilla ^a and Jonatan Estiff León Santa María ^a

^a Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú

ITEM INFORMATION

Published: 2023-06-28
Accepted: 2023-06-26
Received: 2023-03-24

Keywords:

African snails
Oil
Pseudomonas

ABSTRACT

Bioremediation is a process that uses microorganisms, plants or other biological agents to decontaminate contaminated soil and water. In the case of African snails, it has been studied that they have pseudomonas in their digestive tract, which is an excellent hydrocarbon degrader. Seeing the problem of the oil spill and its negative impact on the environment that affects both the biotic and abiotic aspects; Seeing the abundance of African snails and their excessive proliferation, an alternative of bioremediation is proposed. The study was carried out in the university city of the Universidad Nacional Agraria de la Selva and with the climate of the place. Snails (*Achatina fullica*) have the ability to metabolize and degrade certain chemical compounds present in oil and other pollutants, converting them into compounds that are less toxic to the environment.

Biorremediación con *Achatina fullica* (caracol africano) en suelos contaminados por hidrocarburos

RESUMEN

La biorremediación es un proceso que utiliza microorganismos, plantas u otros agentes biológicos para descontaminar suelos y aguas contaminadas. En el caso de los caracoles africanos, se ha estudiado que posee pseudomonas en su tracto digestivo la cual es un excelente degradador de hidrocarburos. Viendo la problemática del derrame de los hidrocarburos y su impacto negativo en el ambiente que afecta tanto lo biótico y abiótico; viendo la abundancia de los caracoles africanos y su excesiva proliferación se plantea una alternativa de biorremediación. El estudio se realizó campos de la Universidad Nacional Agraria de la Selva y con el clima propio del lugar. Los caracoles (*Achatina fullica*) tienen la capacidad de metabolizar y degradar ciertos compuestos químicos presentes en el petróleo y otros contaminantes, convirtiéndolos en compuestos menos tóxicos para el medio ambiente.

Palabras clave:

Caracoles africanos
Petróleo
Pseudomonas



<https://doi.org/10.47422/GreenHorizon.v2i1.14>



INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por hidrocarburos es una problemática grave en muchos lugares del mundo, ya que estos compuestos pueden persistir en el suelo durante largos periodos de tiempo, causando daños al medio ambiente ya la salud humana (Chen et al., 2018), la presencia de hidrocarburos en el suelo puede afectar la calidad del agua subterránea y de los cultivos, reducir la biodiversidad del ecosistema y aumentar la erosión del suelo (Nahar et al., 2018).

Los caracoles, como organismos terrestres, poseen la capacidad de consumir y metabolizar hidrocarburos, lo que los convierte en candidatos prometedores para la biorremediación de suelos contaminados. Estos moluscos exhiben una variedad de mecanismos biológicos, incluyendo la producción de enzimas y la interacción simbiótica con microorganismos, que les permiten degradar los hidrocarburos (Martin et al., 2021).

Investigaciones realizadas durante los últimos años han demostrado resultados alentadores en cuanto al potencial de los caracoles en la degradación de hidrocarburos en diferentes tipos de suelos contaminados. Estos estudios han evaluado la capacidad de los caracoles para metabolizar compuestos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y los hidrocarburos alifáticos, y han evidenciado su eficacia en la reducción de la concentración y toxicidad de estos contaminantes (Johnson & Smith, 2019).

En estudios recientes, se ha demostrado que los caracoles africanos son capaces de degradar hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) y otros compuestos orgánicos volátiles (COVs) presentes en los suelos contaminados. Los caracoles africanos tienen la capacidad de degradar estos contaminantes a través de la producción de enzimas que pueden descomponer los compuestos orgánicos, esto se debe que en el gastro intestino de los caracoles africanos contiene pseudomonas, que según Bhatawadekar et al (2021) se comprobó la eficacia de las *Pseudomonas sp.*, que degradan hidrocarburos de bajo (fenantreno) y alto peso molecular (fluoranteno y pireno).

Uno de los beneficios de utilizar caracoles africanos en la biorremediación es que estos organismos son resistentes a las condiciones ambientales adversas, lo que los hace ideales para la restauración de suelos contaminados. Además, son capaces de movilizarse por el suelo, lo que los lleva a zonas donde otros organismos no permiten.

Sin embargo, es importante mencionar que el uso de caracoles africanos en la biorremediación de suelos debe ser cuidadosamente controlado para evitar la propagación de esta especie invasora y su posible impacto negativo en el ecosistema local. El objetivo del presente estudio es comprobar si la cantidad de caracoles africanos (*Achatina fullica*) que tanto afecta al consumo de hidrocarburos de Diesel B5 S-50 tiene un contenido máximo de azufre de 50 mg/kg (ppm) y está compuesto por:

Tabla 1

Composición de Diesel B55-50

Composición Diesel B55-50	Volumen
Una mezcla compleja de hidrocarburos que contiene cadenas de carbono de aproximadamente 9 a 30 átomos de carbono (C9-C30).	95%
Biodiesel (B100): Está compuesto principalmente por ésteres monoalquílicos de ácidos grasos de cadena larga (FAME: Mín. 96,5% masa).	5%

Nota: Recaudado Petroperú, composición de diésel

MATERIALES Y METODOS

Lugar de ejecución

El estudio se realizó en el Laboratorio General de Investigación, (altitud y latitud -9.315197312973801, -75.99494593107924) y laboratorio de análisis de la contaminación de suelos (altitud y latitud -9.3176367, -75.9944604) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. La cual consiste en la biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con caracoles africanos (*Achatina fullica*).

Materiales

Se utilizó dos cajas de madera (0.6m*0.6m*0.6m) que contiene 30 kg de suelo del BRUNAS con 6.6 pH y 150 ml diésel B55-5 cada uno de las cajas, primera para tratamiento testigo y segundo para realizar biorremediación con 15 caracoles (*Achatina fullica*), teniendo en cuenta que la alimentación diaria de los caracoles con lechuga a 1 % de diésel B55-5 por 28 días.

Las muestras del suelo se analizaron en laboratorio de calidad de suelos los parámetros pH, Materia Orgánica y

Conductividad Eléctrica. En el Laboratorio Central de Investigación se analizó las muestras del suelo testigo, heces inicial y final de los caracoles con Espectrómetro Infrarrojo - Transformada Fourier (LUMEX) modelo ART.

Metodología

Diseño y construcción de las cajas experimentales

El diseño y cálculo de las cajas para el acondicionamiento de las muestras (caracoles y el suelo contaminado con petróleo) se tomó en cuenta la cantidad de caracoles y lo que recomienda Idowu en su libro “ Veterinari Tropical: crianza de caracol africano para el consumo” el área óptimo para el hábitat de los caracoles africanos; para la cantidad de suelo contaminado se tomó a criterio de los estándares de calidad de suelos contaminados (ECA) para hidrocarburos la cual indica que los suelos que superan los 200 mg/kg PS son suelos contaminados por hidrocarburos.

Obtención del suelo contaminado

Se tomó suelo del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva la cual tenía un pH 6.6 y esto se contaminó con 150 ml de diésel B55-5 por cada 30 Kg de suelo.

Evaluación de la densidad de caracoles africanos

Se debe realizar una evaluación de la densidad de caracoles africanos en la zona de tratamiento para determinar si es necesario introducir más individuos o si hay una densidad adecuada para realizar el tratamiento.

Introducción de los caracoles africanos

Se deben introducir los caracoles africanos en la zona contaminada 28 días, preferiblemente en una cantidad adecuada para acelerar el proceso de biorremediación.

Monitoreo y prueba

Durante el período de alimentación de los caracoles africanos, se deben realizar pruebas del suelo en la zona de tratamiento para evaluar la reducción de hidrocarburos. El demostrado se debe hacer antes de la introducción de los caracoles africanos para obtener una línea base y luego a intervalos regulares de tiempo después de la introducción de los caracoles africanos.

Análisis de laboratorio

Las muestras obtenidas se analizaron en el laboratorio de calidad de suelos cuales se usó para el análisis de la materia orgánica (MO) el horno Mufla la cual consiste en poner las muestras al horno y elevar la temperatura a 360 °C con la cual toda la materia orgánica se volatiliza a esta temperatura teniendo como resultado por diferencia de masas el porcentaje de MO en el suelo.

Para el pH y la conductividad eléctrica se utilizó el multiparámetro, la cual consiste en secar las muestras de suelo triturar y tamizar luego se procedió en un vaso precipitado poner la proporción de agua destilada y suelo tamizado 1:1 y hacer una mezcla homogénea este prepara se lleva al multiparámetro con la cual se procederá a analizar el pH y la conductividad eléctrica.

La muestra del suelo y las muestras de las heces de los caracoles, se analizaron utilizando Espectrómetro Infrarrojo - Transformada Fourier (LUMEX). Modelo, InfraLUM FT-08 (Canadá) modo ART; En el primer paso, las muestras deben tamizarse a través de un tamiz con un tamaño de malla de 2 mm. Para obtener el espectro, se dirigió un haz de luz monocromática a una pequeña zona de la muestra precompactada en un recipiente, de forma que la superficie fuera lo más lisa y uniforme posible, de modo que el haz de luz incidiera uniformemente sobre todas las partículas.

Evaluación de resultados

Una vez que se han obtenido los resultados de la muestra analizado en el laboratorio, se pueden comparar los niveles de hidrocarburos antes y después del tratamiento de las muestras analizadas. Si se observa nivel significativo de hidrocarburos, se puede concluir que el tratamiento con *Achatina Fulica* ha sido efectivo.

Consideraciones adicionales

Es importante tener en cuenta que la introducción de *Achatina Fulica* en una zona puede tener impactos ambientales y económicos significativos. Por lo tanto, es esencial seguir todas las condiciones y leyes ambientales correspondientes y evaluar cuidadosamente los posibles impactos antes de realizar el tratamiento.

Los espectros de reflectancia de las muestras de suelo y heces que se obtuvieron empleando un Espectrómetro Infrarrojo - Transformada Fourier (LUMEX) disponible en Laboratorio Central de Investigación de la universidad nacional agraria de la selva (UNAS), con un Rango de Espectro (cm^{-1}) de (500 a 4000) cm^{-1} .

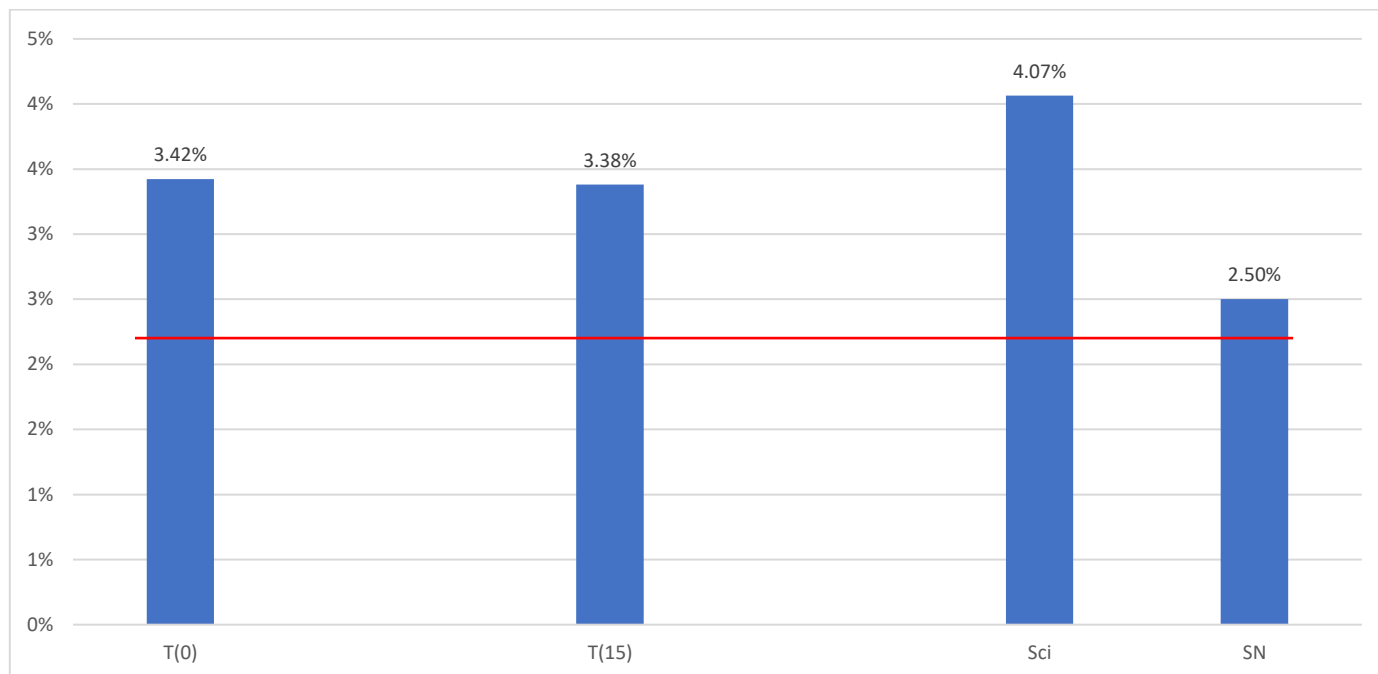
Análisis exploratorio

El análisis de componentes principales (PCA) se realizó como un análisis exploratorio de los datos de espectro completo (preprocesados). La proporción acumulada de la varianza explicada por los componentes principales (PC) se utilizó para extraer la PC óptima. Además, se desarrollaron diagramas de dispersión de CP para permitir la inspección visual de las muestras, la detección de diferencias y la evaluación de similitudes y diferencias entre ellas. Además, se examinaron las profundidades para determinar el(los) rango(s) espectral(es) para el presente trabajo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Figura 1

Efectos del tratamiento con caracoles africanos en suelos contaminados con Diesel DB5 sobre la materia orgánica (MO) del suelo.



Nota: T(0) = Testigo, T (15) = Tratamiento con 15 caracoles, Sci= suelo contaminado inicial; SN= suelo natural

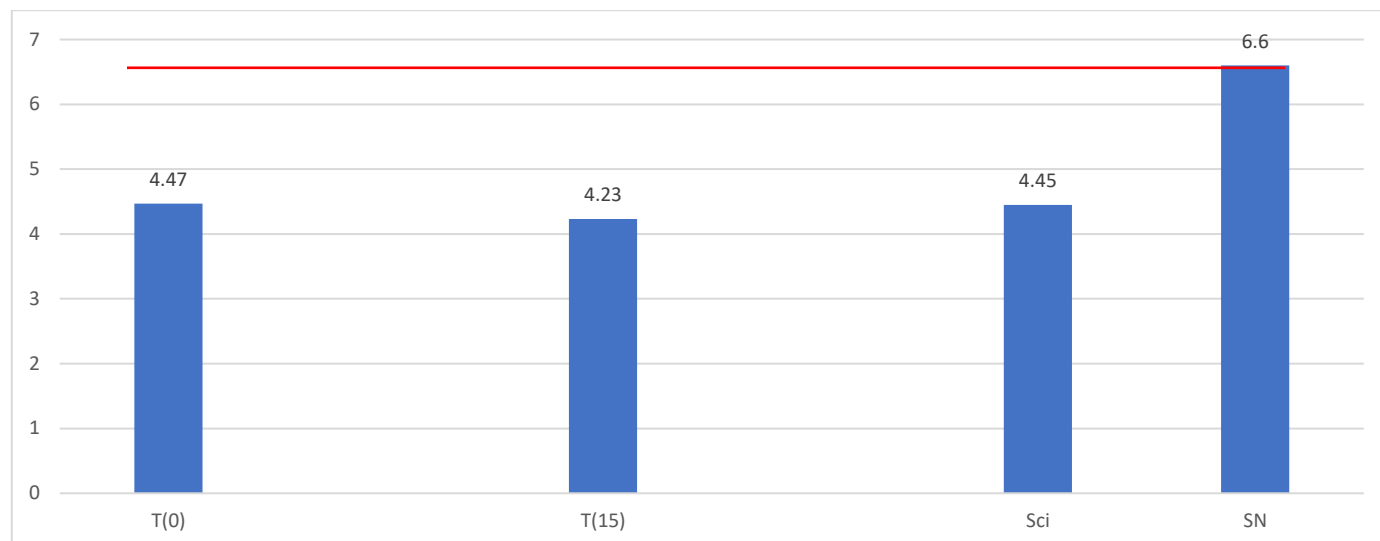
El contenido de materia orgánica en el suelo natural fue registrado como 2.5%. Estos niveles son típicos de suelos tropicales con una vegetación abundante. Para efectos de comparación, este valor podría considerarse como el límite máximo de materia orgánica.

Se observa que la cantidad de materia orgánica en suelos contaminados es mayor que la del suelo natural, alcanzando un valor de 4.07%. Esta cifra representa más del doble del contenido de materia orgánica en comparación con el suelo natural. Este comportamiento está asociado con la influencia del Diesel DB5, como han señalado Martínez y López (2020). Estos autores concluyeron que la presencia de hidrocarburos produce uno de los mayores cambios en suelos arcillosos. Además, los resultados coinciden con los hallazgos de Castellanos et al. (2015), quienes compararon el contenido de materia orgánica y observaron un incremento de más de cinco veces en relación con los hidrocarburos totales, en comparación con los valores de referencia. Este aumento se atribuye a la capacidad de adsorción del suelo en sus capilares y a la carga superficial de la arcilla, según lo señalado por Martínez y López (2020). Sin embargo, es importante destacar que el aumento de la materia orgánica en estos casos no puede interpretarse automáticamente como un efecto positivo o beneficioso, ya que en algunos casos puede implicar riesgos de ecotoxicidad, como se ha demostrado en investigaciones anteriores.

Este tratamiento tiene como objetivo reducir el impacto de los hidrocarburos y los derrames de petróleo, que son muy frecuentes en el país y conllevan riesgos ambientales significativos. Se ha buscado encontrar una solución para abordar la propagación excesiva de estos contaminantes, y se ha explorado el uso de la especie *Achatina fulica* como una forma de disminuir los niveles de hidrocarburos en el suelo contaminado y darle un propósito útil a esta especie. Principio del formulario

Figura 2

Efectos del tratamiento con caracoles africanos en suelos contaminados con Diesel 0DB5 sobre el pH del suelo



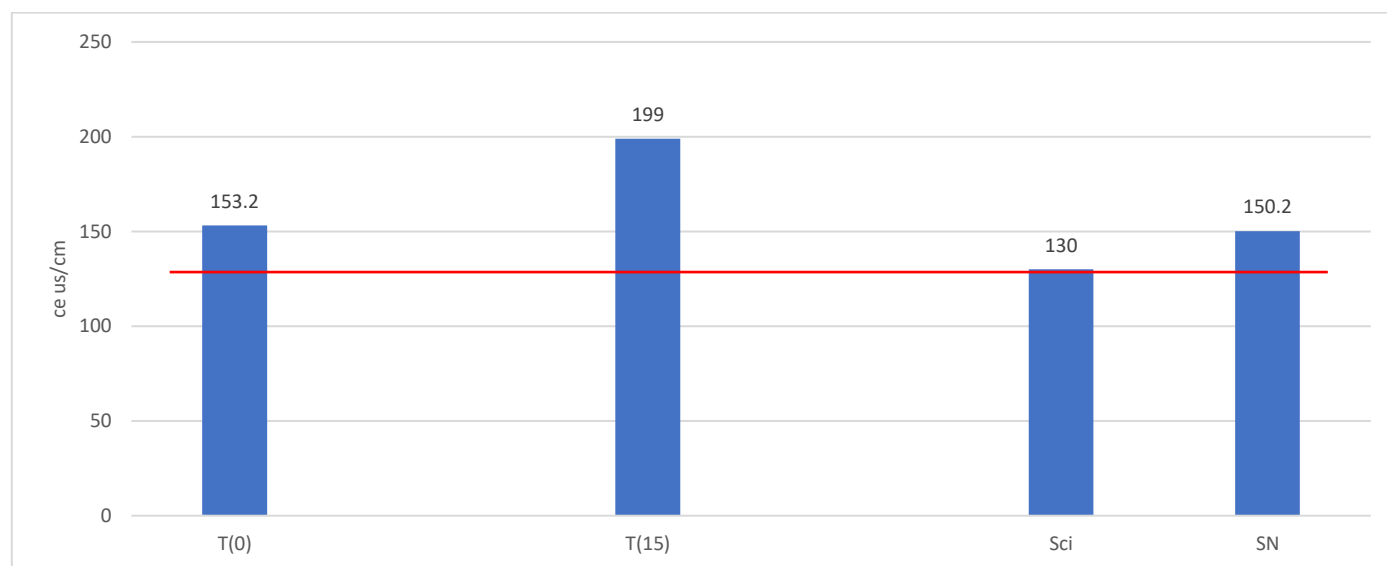
Nota: T (0) = Testigo, T (15) = Tratamiento con 15 caracoles, Sci= suelo contaminado inicial; SN= suelo natural.

En líneas generales, los resultados de este estudio son coherentes con los informados por otros investigadores. Por ejemplo, Zamora et al. (2012) encontraron que el pH del suelo arcilloso contaminado disminuyó después de 120 días de contaminación, registrando un pH de 6.49 para el suelo no contaminado y 5.81 para el suelo contaminado. De manera similar, Castellanos et al. (2015) evaluaron el efecto de los hidrocarburos en suelos urbanos con una textura predominantemente arcillosa en Colombia, y observaron una ligera disminución en el pH. Los autores explican que los ácidos grasos y los compuestos de cadena larga liberados durante el proceso de biodegradación actúan como ácidos débiles y pueden acidificar el suelo.

Es importante destacar que la eliminación natural de estos contaminantes es extremadamente lenta o nula en las condiciones del suelo que se generan a partir de eventos de contaminación, como los ocurridos en el sitio de estudio. Esto se evidencia en el pH de la muestra de control, que se mantiene en niveles de acidez similares a los del suelo contaminado inicial. Esto se debe a la formación de una costra superficial de hidrocarburos que afecta negativamente no solo la infiltración de agua en el suelo, sino también el intercambio de gases, creando condiciones anaeróbicas permanentes.

Figura 3

Efectos del tratamiento con caracoles africanos en suelos contaminados con Diesel DB5 sobre la conductividad eléctrica del suelo



Nota T1(0) = Testigo, T (15) = Tratamiento con 15 caracoles, Sci= suelo contaminado inicial; SN= suelo natural.

Se ha observado que la conductividad eléctrica del suelo proporciona información sobre la salinidad del mismo. En este caso, el proyecto se llevó a cabo en suelos con una abundante presencia de materia orgánica, lo cual se refleja en la conductividad eléctrica característica de este tipo de suelos. Se ha observado que, en el tratamiento con la presencia de *Achatina fulica*, la conductividad eléctrica es mayor en comparación con la conductividad eléctrica del suelo natural y, a su vez, es mayor que la del suelo contaminado inicial. Esto indica que la presencia de *Achatina fulica* contribuye a aumentar la salinidad del suelo.

Zamora et al. (2012) informaron un aumento en la conductividad eléctrica en muestras controladas en el laboratorio durante el primer día del experimento. Este aumento se atribuyó, entre otros factores, a la actividad biológica durante la descomposición de la materia orgánica y los procesos redox. Sin embargo, posteriormente, la conductividad eléctrica disminuyó después de 120 días.

Es evidente que la conductividad eléctrica es una propiedad altamente sensible a las condiciones y características específicas del estudio en el cual se realizan los análisis, como la concentración del contaminante y el tiempo de contacto del suelo con el Diesel D5.

Figura 4

Espectro con picos de muestra de Suelo contaminado con petróleo (Diesel D5) identificados por el equipo Espectrómetro Infrarrojo - Transformada Fourier (LUMEX)



Nota. La transmitancia (%) es una medida de la cantidad de luz que se transmite a través de la muestra en un determinado número de ondas. El número de onda, expresado en cm^{-1} , es una medida de la frecuencia de las vibraciones moleculares en el espectro infrarrojo.

El suelo testigo, la banda son anchas y ligeramente estiradas hasta una parte de la gráfica, y el resto las bandas son intensas, debido a que están fuertemente estiradas, estos efectos son producido debido a la presencia de hidrocarburos Diesel B5, que le confirió estos grupos funcionales.

Tabla 2

Presencia de frecuencias características de grupos orgánicos poliatómicos en suelos contaminados con petróleo (Diesel B5)

Número de onda (cm^{-1})	Presencia de compuesto	Intensidad
547.39	Bromuro, yoduro	f
583.64	Bromuro, yoduro	f
661.29	Bromuro, yoduro, Cloruro	f
1025.05	Fluoruro, Aminas, Alcoholes, éteres, ésteres ácidos carboxílicos, anhídridos	f,m-f, f
1228.86	Fluoruro, Aminas, Alcoholes, éteres, ésteres ácidos carboxílicos, anhídridos	f, f, m-f
1317.4	Fluoruro, Sulfones, cloruros de sulfónidos, Aminas	f,f,m-f
1377.36	Fluoruro, Sulfones, cloruros de sulfónidos	f

1614.22	Aminas y amidas primarias y secundaria (flexión)	m-f
2079.09	Alenos, quetanos, isocianatos, isotiocianatos	m-f
2569.96	Ácidos carboxílicos	f
2740.9	Ácidos carboxílicos, Aldehídos	f,d
2854.02	Ácidos carboxílicos, Aldehídos	f,d
2919.24	Ácidos carboxílicos	f
3145.66	Aminas y amidas primarias y secundarias (tensión), Ácidos carboxílicos	m, f
3263.19	Aminas y amidas primarias y secundarias (tensión), Ácidos carboxílicos, Alcoholes, enlace H	m, f, m

Nota: f = fuerte, m = medio, d = débil

Los compuestos presentes (Tabla 3), no observó la presencia de ningún tipo de hidrocarburo, si bien hay presencia de alcoholes, que son un agente inflamable que se encuentra presente el Diesel B5, este se explica los excremento al no realizar secado rápido y estar almacenado en frasco que carecía de oxígeno, los microorganismos presentes realizaron la fermentación. Además si consideramos la secreción mucosa, los microorganismos anaerobios facultativos, quimiorganotrofos, tiene la capacidad metabolismo fermentativo (Larrea-Murrell et al., 2015), lo que explica presencia de Alcoholes, éteres, ésteres ácidos carboxílicos, etc.

La presencia de grupos funcionales de aminas y amidas en los excrementos de caracoles están influenciadas por su dieta y otros factores ambientales, en gran medida se debe a la lechuga que se llegó a proporcionar y también por el contacto con el suelo contaminado.

El excremento de los caracoles iniciales, como se observó no contenía presencia del contaminante, a diferencia después la exposición, que si llegaron a presentar.

Figura 6

Espectro de muestra heces de caracol identificados por el equipo



determinado número de ondas. El número de onda, expresado en cm^{-1} , es una medida de la frecuencia de las vibraciones moleculares en el espectro infrarrojo.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento de las heces de las heces de caracoles africanos, donde gran parte no se observa la transmitancia sin picos de absorción, sin bandas elásticas intensos, en la parte final se observa bandas elásticas anchas con ligeros estiramientos, y con picos de absorbancias y estiramientos punta, estos picos indican la presencia de grupos funcionales o enlaces químicos particulares en la muestra.

Los estiramientos de la banda más resaltantes son de 1400.68, 1008.37 y 870.92 cm^{-1} , y el resto de ellos son menos pronunciados.

Tabla 4

Presencia de frecuencias características de grupos orgánicos poliatómicos en excrementos de caracoles africanos (Achatina fulica) de la exposición con petróleo (diésel DB5)

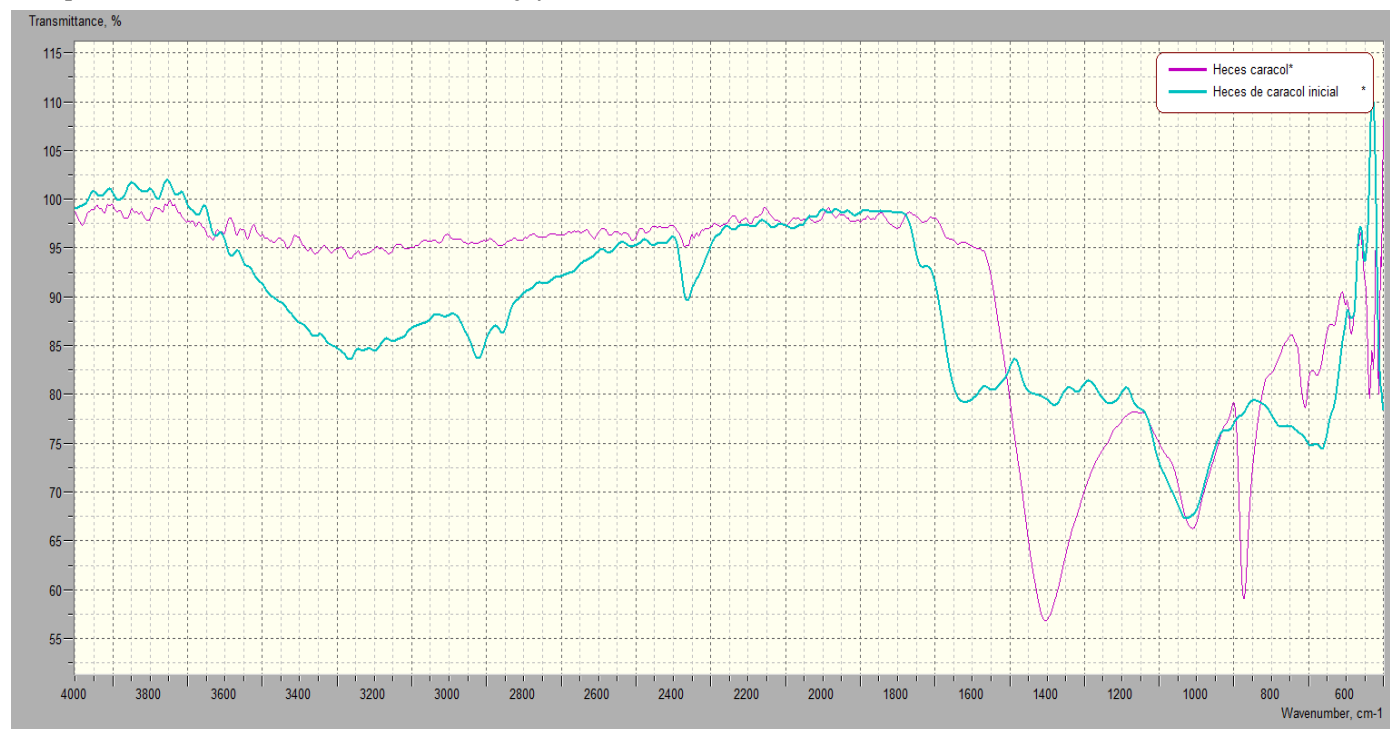
Número de onda (cm-1)	Presencia	Intensidad
502.62	Bromuro, ioduro	Fuerte
510.22	Bromuro, ioduro	Fuerte
524.25	Bromuro, ioduro	Fuerte
534.73	Bromuro, ioduro	Fuerte
583.73	Bromuro, ioduro	Fuerte
629.24	Cloruro, Bromuro, ioduro	Fuerte
675.18	Cloruro, Alquenos (fuera del plano de flexión)	Fuerte
706.9	Cloruro, Alquenos (fuera del plano de flexión), Aromáticos (fuera del plano de flexión)	Fuerte
870.92	Alquenos (fuera del plano de flexión), Aromáticos (fuera del plano de flexión)	Fuerte
1008.37	Aminas, Alcoholes, éteres, ésteres ácidos carboxílicos, anhídridos	Fuerte
1400.68	CH ₃ (flexión)	Medio
1569.11	Aminas y amidas primarias y secundaria (flexión)	Medio - Fuerte

Nota. Presencia de hidrocarburo según las bandas de absorción correspondientes de grupos orgánicos, se clasificó en 3 intensidades fuerte, medio y débil, según Robinson K.A., Robinson J.F., “Análisis Instrumental”, Ed. Pearson Educación, 2000.

La presencia Alquenos (fuera del plano de flexión), y Aromáticos (fuera del plano de flexión) en el excremento, muestra el consumo de Diesel B5 por los caracoles africanos (*Achatina Fulica*), esto grupos funcionales proviene del contaminante que es 95% Diesel N°2, contiene cadenas carbonadas que contienen entre 9 y 30 carbonos (...). otro grupo funcional de metil (CH₃), que se encuentra presente en el contaminante en un 5% de biodiesel (B100).

Figura 7

Comparación de los excrementos iniciales y final

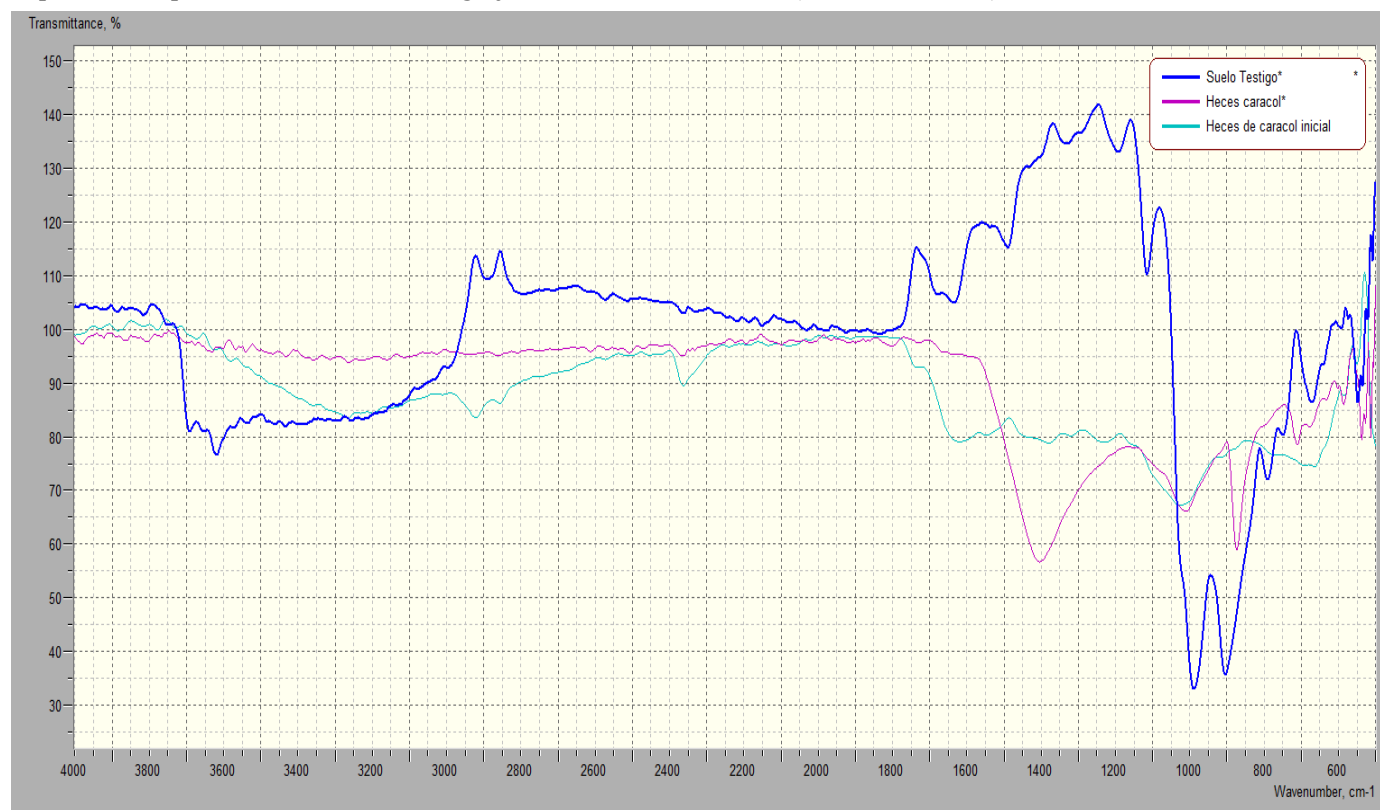


La diferencia entre el comportamiento de las bandas de absorción muestra el excremento final tiene estiramiento mayor que el de otro mostrado, razón por la cual la banda elástica son más intensa y con picos punta, según Wade, Leroy G. en el 2016 estos gráficos en punta se producen por que en su grupo funcional esta la presencia de C-H.

A pesar de que el caracol africano llegó a consumir el Diesel B5, son en pequeñas dosis y muestra la a gran cantidad del contaminante presente aun en el suelo. Donde la banda del suelo presenta mayor intensidad de estiramiento en forma punta, señalado que presenta mayor grupo funcional de hidrocarburos.

Figura 8

Espectro con picos muestra suelo testigo y excremento de caracol (Achatina Fulica)



En la gráfica de la transformación de algunos compuestos como los como alcanos (tensión) se reduce a aminas y amidas primarias y secundaria (flexión), también se observa que hay un transformación en el intervalo de las ondas de 1800 - 1050 de los compuesto presentes, como el alqueno y aromáticos que se transforman en CH₃ (flexión) y aminas y amidas primarias y secundaria (flexión), como según lo muestra Francisca and Chukwujindu en su investigación de Hidrocarburo aromático policíclico en caracol gigante africano, obtuvieron resultados se encontró benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno detectan niveles bajos y altas cantidades de fenantreno, indeno(1,2,3-cd)pireno y benzo(g,h,i)perileno, que son compuesto aromáticos.

CONCLUSIÓN

La biorremediación con caracoles africanos puede ser una opción sostenible y poco eficaz para la descontaminación de suelos afectados por hidrocarburos. Estos caracoles tienen la capacidad de metabolizar y degradar ciertos compuestos químicos presentes en el petróleo y otros contaminantes, convirtiéndolos en compuestos menos tóxicos para el medio ambiente.

Sin embargo, es importante destacar que la biorremediación con caracoles africanos no es una solución única y universal para todos los casos de contaminación del suelo. Se requiere un análisis previo de las condiciones del suelo y de la capacidad de los caracoles para degradar los contaminantes específicos presentes en la zona afectada. Además, es importante considerar la seguridad y los posibles impactos negativos en el ecosistema, por lo que la biorremediación con caracoles africanos debe ser utilizada con precaución y bajo supervisión de expertos en la materia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bhatawadekar, S. P., et al. (2021). Biorremediación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) por pseudomonas sp. Aisladas de los caracoles africanos (*Achatina fulica*). *Revista de Microbiología Ambiental*, 5(2), 127-137.
- Castellanos, M. L., Raimar, I. J., & Torres, J. M. (2015). Evaluación de los hidrocarburos totales de petróleo sobre suelos urbanos en Maicao, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 44(3), 11-17.
- Chen, H., Li, X., Qin, X., & Li, W. (2018). El grave problema de la contaminación del suelo por hidrocarburos. *Investigación Internacional de Ciencias Ambientales y Contaminación*, 25(5), 3990-4000.
- Iwegbue CM, Tesi GO, Overah LC, Bassey FI, Nwadukwe FO, Martincigh BS. Concentrations and profiles of polycyclic aromatic hydrocarbons in some popular fish species in Nigeria. *J Food Prot.* 2015 Mar;78(3):554-60.
- Johnson, A. M., & Smith, B. H. (2019). El papel de los caracoles en la biorremediación de hidrocarburos. *Revista de ingeniería y ciencia ambiental*. 1(2), 45-56.
- Martin, C. D., et al. (2021). Biorremediación mediada por caracol de suelos contaminados con hidrocarburos: Avances recientes y perspectivas futuras. *Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación*. 28(2), 1912-1927.
- Martínez, V., & López, F. (2001). Efecto de los hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de un suelo arcilloso. *Terra*, 19, 9-17.
- Nahar, M. S., Al Mamun, M., Islam, M. T., & Alam, M. K. (2018). Impacto de la contaminación por hidrocarburos en el medio ambiente. *Revista Internacional de Monitoreo y Análisis Ambiental*. 6(1), 18-25.
- Petroperú. (2023). Composición de diésel. Diesel B5 S-50 (mayo 2023). Consultado en: <https://www.petroperu.com.pe/Docs/spa/files/productos/fds-db5-s50-may2023.pdf>.
- Zamora, A., Ramos, J., & Arias, M. (2012). Efecto de la contaminación por hidrocarburos sobre algunas propiedades químicas y microbiológicas de un suelo de sabana.