

Eficiencia de la lombriz roja californiana en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos

Efficiency of the Californian red earthworm in the bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons

Eficiência da minhoca vermelha da Califórnia na biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos

Samuel Baldeon Coronado^{1(*)}, Kettly Baltazar Torres², Jhon Patrick Ríos Bartra³

Recibido: 12/11/2024

Aceptado: 26/01/2025

Resumen. - En los últimos años, el Perú ha enfrentado un incremento significativo de pasivos ambientales relacionados con hidrocarburos, lo que representa un grave problema para el medio ambiente (Bazán et al., 2024). Esta investigación evaluó la eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) en la biorremediación de suelos contaminados, comparando su capacidad para reducir los niveles de contaminación con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos para suelos. Se empleó un diseño experimental factorial 3x3, con tres niveles de tratamiento y tres repeticiones, y se aplicó la prueba ANOVA para el análisis estadístico de los resultados. Los resultados revelaron una eficiencia en la biorremediación de suelos contaminados por diesel. En el tratamiento con 10 lombrices, se encontraron diferencias significativas, destacando el tratamiento A3 (3.06 ml) como el más eficiente. En contraste, para los tratamientos con 20 y 30 lombrices, no se observaron diferencias significativas. Los análisis gráficos indican que la cantidad de lombrices y la concentración de diésel influyen en la eficiencia del proceso, siendo más efectivas en concentraciones moderadas (A2) y menos eficientes a niveles más altos. En conclusión, la lombriz roja californiana muestra un potencial significativo en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos, siendo más eficiente en menores concentraciones (A1 y A2), mientras que a concentraciones más altas (A3) se observa una saturación en su capacidad de procesamiento.

Palabras clave: Eficiencia; lombriz roja californiana, biorremediación; suelos contaminados; hidrocarburos.

(*) Autor de correspondencia

¹ Bachiller, Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, samuelbaldeon@upeu.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-0644-6034>

² Bachiller, Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, katerinbaltazar@upeu.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1132-2115>

³ Magister, Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, jhon.rios@upeu.edu.pe, ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1439-6291>

Summary. - In recent years, Peru has faced a significant increase in environmental liabilities related to hydrocarbons, which represents a serious problem for the environment (Bazán et al., 2024). This research evaluated the efficiency of the Californian red earthworm (*Eisenia fetida*) in the bioremediation of contaminated soils, comparing its ability to reduce contamination levels with the Environmental Quality Standards (ECA) established for soils. A 3x3 factorial experimental design was used, with three treatment levels and three repetitions, and the ANOVA test was applied for the statistical analysis of the results. The results revealed an efficiency in the bioremediation of soils contaminated by diesel. In the treatment with 10 worms, significant differences were found, highlighting treatment A3 (3.06 ml) as the most efficient. In contrast, for treatments with 20 and 30 worms, no significant differences were observed. The graphical analyzes indicate that the number of worms and the concentration of diesel influence the efficiency of the process, being more effective at moderate concentrations (A2) and less efficient at higher levels. In conclusion, the Californian red earthworm shows significant potential in the bioremediation of soils contaminated with hydrocarbons, being more efficient at lower concentrations (A1 and A2), while at higher concentrations (A3) a saturation is observed in its processing capacity.

Keywords: Efficiency; Californian red worm, bioremediation; contaminated soils; hydrocarbons.

Resumo. - Nos últimos anos, o Peru tem enfrentado um aumento significativo nos passivos ambientais relacionados a hidrocarbonetos, o que representa um sério problema para o meio ambiente (Bazán et al., 2024). Esta pesquisa avaliou a eficiência da minhoca vermelha da Califórnia (*Eisenia fetida*) na biorremediação de solos contaminados, comparando sua capacidade de reduzir os níveis de contaminação com os Padrões de Qualidade Ambiental (ECA) estabelecidos para solos. Foi utilizado um delineamento experimental fatorial 3x3, com três níveis de tratamento e três repetições, e o teste ANOVA foi aplicado para a análise estatística dos resultados. Os resultados revelaram uma eficiência na biorremediação de solos contaminados por diesel. No tratamento com 10 minhocas, foram encontradas diferenças significativas, destacando o tratamento A3 (3,06 ml) como o mais eficiente. Em contrapartida, para os tratamentos com 20 e 30 minhocas, não foram observadas diferenças significativas. As análises gráficas indicam que o número de minhocas e a concentração de diesel influenciam a eficiência do processo, sendo mais eficaz em concentrações moderadas (A2) e menos eficiente em níveis mais elevados. Conclui-se que a minhoca vermelha da Califórnia apresenta potencial significativo na biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos, sendo mais eficiente em concentrações mais baixas (A1 e A2), enquanto em concentrações mais elevadas (A3) observa-se uma saturação em sua capacidade de processamento.

Palavras-chave: Eficiência; verme vermelho da Califórnia, biorremediação; solos contaminados; hidrocarbonetos.

1. Introducción. - En los últimos años, el Perú ha enfrentado un aumento significativo de pasivos ambientales generados por la contaminación por hidrocarburos, lo cual representa una grave amenaza para el medio ambiente [1]. De acuerdo con un informe del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), se han identificado un total de 3,231 pasivos ambientales en el sector hidrocarburos, de los cuales 151 son considerados de alto riesgo, 1,997 de riesgo medio y 1,083 de bajo riesgo. Asimismo, se han clasificado 61 pasivos con alto riesgo para la salud, 35 para el medio ambiente y 123 para la seguridad [2].

Un caso alarmante se ha presentado en la Amazonía peruana, donde se han registrado cerca de 500 derrames de petróleo en las últimas dos décadas, principalmente debido a fallas operativas y al deterioro de la infraestructura tanto en los yacimientos como en el oleoducto que atraviesa la selva. Estas situaciones han provocado numerosas protestas por parte de las comunidades indígenas, que demandan compensación y medidas de remediación por los impactos ambientales en los cuerpos de agua, la flora y fauna, así como en su entorno social [3]. Un ejemplo notable es el derrame en Loreto, donde más de cien barriles de petróleo, operados por Petroperú, afectaron a 1,230 familias indígenas debido a la ruptura del oleoducto, permitiendo que el crudo se desplazara desde la Amazonía hasta la costa del océano Pacífico, alterando diversos factores ambientales [4].

La contaminación por hidrocarburos tiene un efecto adverso en la fertilidad del suelo, provocando toxicidad directa en los organismos, disminuyendo la retención de humedad y nutrientes, aumentando la compactación del suelo, y alterando su pH y salinidad [5]. En ese sentido, la utilización de lombrices para remediar suelos contaminados por hidrocarburos es una alternativa económica y ecológica que mejora la calidad del suelo sin generar residuos peligrosos, esta técnica sostenible es clave para innovar en la protección del medio ambiente [6].

Ante este panorama, es fundamental considerar alternativas de biorremediación para restaurar las áreas afectadas. Por lo tanto, esta investigación se centró en el uso de lombrices de tierra como agentes de remediación, evaluando su efectividad en la recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante la medición de su impacto en la calidad del suelo.

2. Materiales y métodos

2.1 Área de estudio. - El suelo utilizado para la experimentación controlada con hidrocarburos fue extraído de las áreas disponibles de la Universidad Peruana Unión, ubicada en el Jr. Los Mártires 214, urbanización Santa Lucía, distrito de Morales, provincia de San Martín, región San Martín. La Figura I muestra el mapa de ubicación del área de estudio."

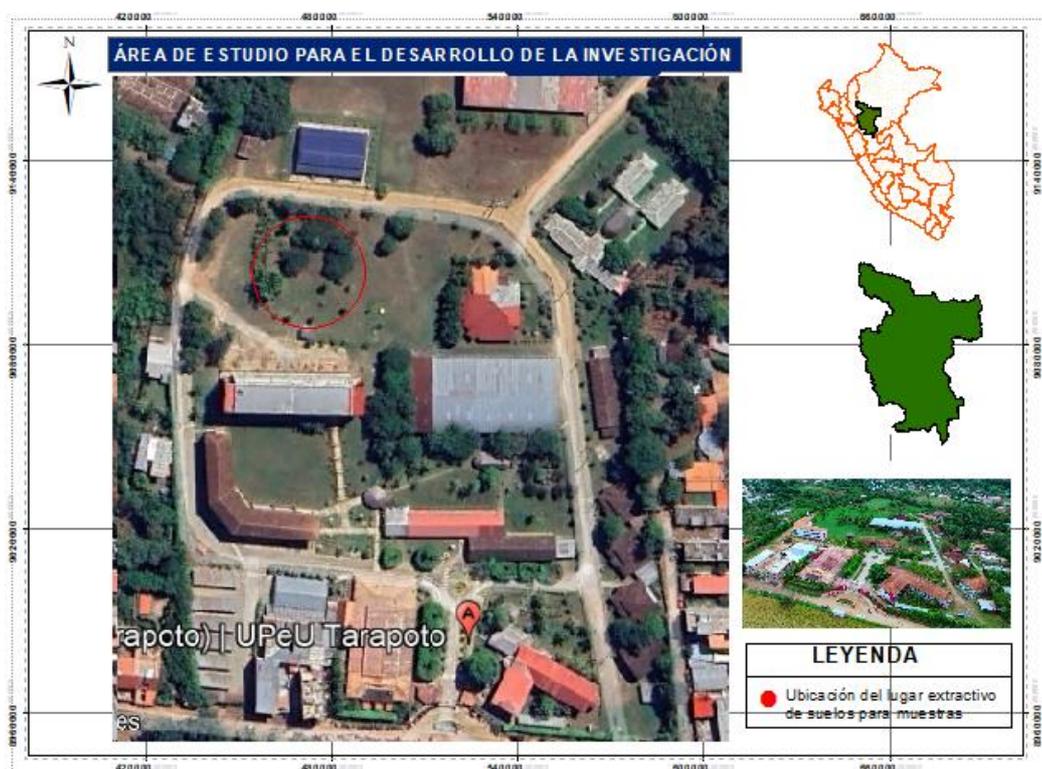


Figura I. Ubicación del lugar de estudio

Asimismo, el tratamiento del suelo contaminado con hidrocarburos se realizó a escala de laboratorio utilizando lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) bajo condiciones controladas. Este experimento se llevó a cabo en el laboratorio de la Universidad Peruana Unión, lo que permitió asegurar la precisión en el manejo de las variables ambientales y obtener resultados confiables sobre la efectividad de la biorremediación.

2.2 Diseño metodológico. - El diseño metodológico utilizado fue experimental, debido a la manipulación de la variable independiente para analizar su efecto en la variable dependiente. Asimismo, se utilizó un diseño factorial 3x3, con tres niveles de tratamiento y tres repeticiones, lo que permitió identificar las combinaciones óptimas y evaluar la interacción entre las variables bajo el mismo control.

2.3 Diseño muestral. - Para la investigación, se seleccionó 30 kg de suelo extraídos del territorio de la Universidad Peruana Unión como población de estudio. Asimismo, se aplicó un muestreo aleatorio simple, garantizando que cada unidad de suelo contaminado tuviera la misma posibilidad de ser asignada a los diferentes tratamientos del diseño factorial. Este método facilitó la obtención de una muestra representativa, permitiendo hacer conclusiones confiables sobre los efectos de variables como la dosis de diésel, la cantidad de lombrices y el tiempo de recuperación en la regeneración del suelo contaminado.

2.4 Técnicas de recolección de datos. - La recolección y análisis de las muestras se llevaron a cabo mediante el acondicionamiento de 27 maceteros, cada uno con un volumen de 30 kg de suelo contaminado con hidrocarburos. En estos maceteros, se distribuyeron lombrices en tres grupos de tratamiento, con 10, 20 y 30 unidades respectivamente. El periodo de evaluación se estableció en 15 días, tiempo suficiente para observar el impacto de las diferentes cantidades de lombrices en la remediación del suelo. Este diseño experimental permitió evaluar de manera precisa la efectividad de las lombrices en la recuperación del suelo contaminado con diésel.

2.5 Análisis estadístico. - Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos se consideró los requisitos de normalidad y homogeneidad de varianzas, posteriormente se realizó la prueba de ANOVA para realizar las comparaciones de los tratamientos, finalmente se realizó la prueba tukey para aquellos tratamientos que superaron el valor de 0.05, a fin de conocer el mejor la mejor eficiencia de las cantidades representativas de las lombrices rojas californianas.

3. Resultados. - En la Tabla I se presentan los valores obtenidos a partir del análisis de laboratorio realizado a las muestras de suelos contaminados con diferentes dosis de diésel y cantidades variables de lombrices rojas californianas. Los resultados muestran la concentración de hidrocarburos en mg/kg.

Concentración de diésel (ml)	Nº de lombrices rojas californianas	Repeticiones			\bar{x}
		R1 (mg/kg)	R2 (mg/kg)	R3 (mg/kg)	
A1 1.02	10 unidades	71.888	80.199	78.289	76.8
	20 unidades	119.739	120.722	118.82	119.8
	30 unidades	182.35	180.292	115.251	159.3
A2 2.04	10 unidades	90.765	89.566	85.199	88.5
	20 unidades	117.533	123.143	120.198	120.3
	30 unidades	150.663	150.029	149.914	150.2
A3 3.06	10 unidades	111.863	114.128	113.386	113.1
	20 unidades	120.882	118.122	115.343	118.1
	30 unidades	171.723	172.135	169.183	171.0

Tabla I. Resultados de laboratorio sobre la recuperación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando lombrices rojas californianas.

En la Tabla II se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el uso de 10, 20 y 30 unidades de lombrices rojas californianas en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos. Los resultados indican que, con 10 unidades de lombrices, se obtuvo un P-Valor de 0.000, lo que evidencia una diferencia estadísticamente significativa entre los tratamientos. En consecuencia, se realizó la prueba de Tukey para identificar el tratamiento que mostró los mejores resultados, como se detalla en la Tabla III.

En contraste, para el tratamiento con 20 unidades de lombrices, se obtuvo un P-Valor de 0.531, lo que indica que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos, y por lo tanto, no fue necesario aplicar la prueba de Tukey. De manera similar, el tratamiento con 30 unidades de lombrices mostró un P-Valor de 0.546, evidenciando nuevamente

la ausencia de diferencias significativas, por lo cual tampoco se requirió la prueba de Tukey.

	FV	Suma de cuadrados	GL	M.C	F	P-Valor
10 U	Entre grupos	2063.378	2	1031.689	107.230	0.000
	Dentro de grupos	57.728	6	9.621		
	Total	2121.105	8			
20 U	Entre grupos	7.720	2	3.860	0.704	0.531
	Dentro de grupos	32.899	6	5.483		
	Total	40.619	8			
30 U	Entre grupos	653.121	2	326.561	0.672	0.546
	Dentro de grupos	2917.718	6	486.286		
	Total	3570.840	8			

Tabla II. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el uso de 10, 20 y 30 unidades de lombrices rojas californianas en el tratamiento del suelo.

Al aplicar la prueba de Tukey para el tratamiento con 10 unidades de lombrices, se identificaron tres grupos. Los resultados muestran que el uso de 10 unidades no logra reducir eficientemente la cantidad de diésel en proporción al incremento en las dosis aplicadas

Concentración Diesel	N	Grupos		
		1	2	3
A1 (1.02 ml)	3	76.79200		
A2 (2.04 ml)	3		88.51000	
A3 (3.06 ml)	3			113.12567
Sig.		1.000	1.000	1.000

Tabla III. Resultados de la prueba de Tukey en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando 10 unidades de lombrices rojas californianas.

En los siguientes gráficos se muestra la eficiencia de la lombriz roja californiana en la biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.

En la figura II se muestra, que los valores de concentración en el suelo siguen aumentando a mayor cantidad de diésel, lo cual indica que las 10 u de lombrices no están reduciendo eficazmente la cantidad de diésel proporcional al incremento en las dosis aplicadas.

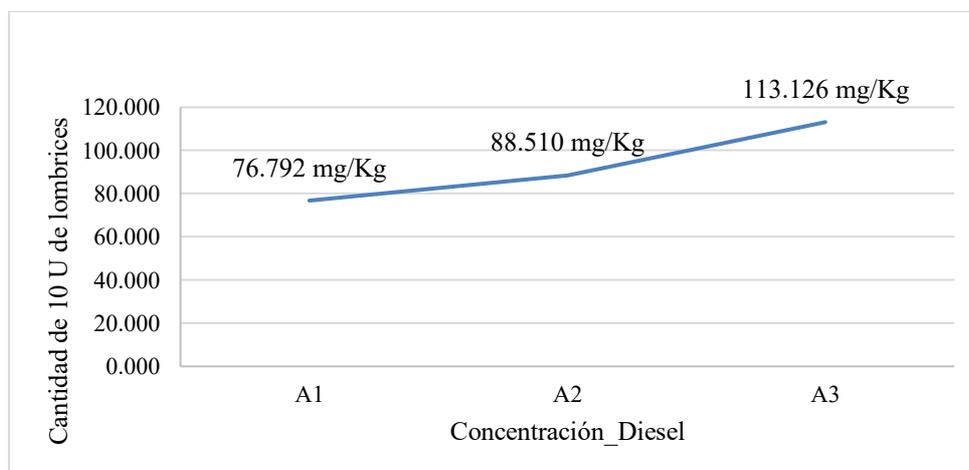


Figura II. Eficiencia del empleo de 10 u de lombriz roja californiana en la biorremediación de suelos contaminados con diésel

En la Figura III se muestra un comportamiento no lineal en la concentración de diésel tras la biorremediación con 20 lombrices. La tendencia describe un aumento inicial en la concentración de diésel de A1 a A2, seguido por una disminución en A3, por lo que el empleo de 20 u de lombrices es más eficiente en la biorremediación en concentraciones de 3.06 ml de diésel en un periodo de estudio de 15 días.

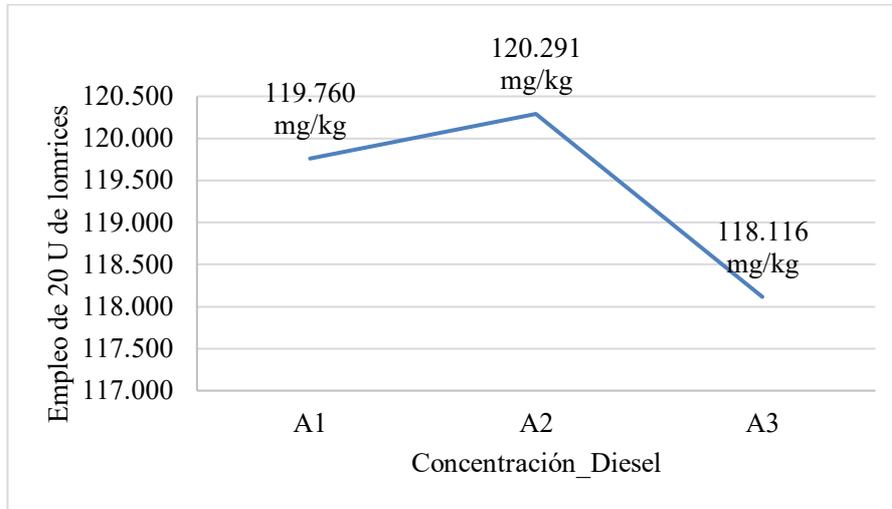


Figura III. Eficiencia del empleo de 20 u de lombriz roja californiana en la biorremediación de suelos contaminados con diésel

La Figura IV muestra una curva en "U", que indica un comportamiento no lineal entre la concentración de diésel y la eficiencia del empleo de 30 u de lombrices en la biorremediación. La concentración disminuye de A1 a A2, pero luego aumenta en A3. Las lombrices son más efectivas en el tratamiento A2, donde las concentraciones de diésel están dentro de su rango óptimo de procesamiento. En A3, la eficiencia disminuye, posiblemente debido a una saturación en su capacidad de remediación.

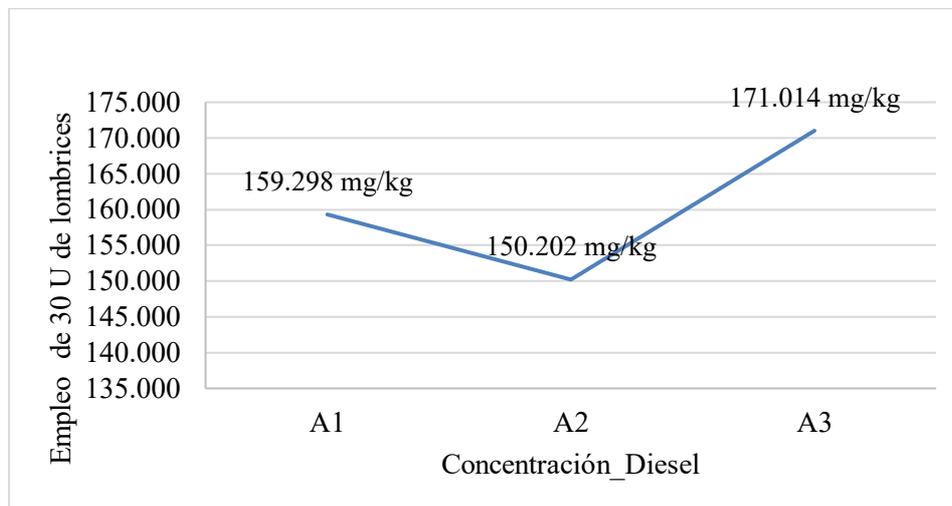


Figura IV. Eficiencia del empleo de 30 u de lombriz roja californiana en la biorremediación de suelos contaminados con diésel.

4. Discusiones. - Los resultados muestran que el empleo de 10 lombrices rojas californianas (*Eisenia fetida*) no está reduciendo eficazmente la cantidad de diésel en proporción al incremento en las dosis aplicadas. En cuanto a la utilización de 20 lombrices, el proceso de biorremediación fue más eficiente en concentraciones de 3.06 ml de diésel durante un periodo de estudio de 15 días. Para el caso de 30 lombrices, la concentración de diésel disminuyó del tratamiento A1 a A2, pero luego aumentó en A3. Las lombrices fueron más efectivas en A2, donde las concentraciones de diésel estaban dentro de su rango óptimo de procesamiento, aunque en A3 la eficiencia disminuyó, debido a una saturación en su capacidad de remediación. En ese sentido, Acuña et al., (2021) [7] reportaron que las lombrices rojas

californianas tienen un rendimiento decreciente en concentraciones elevadas de hidrocarburos. En su estudio las lombrices mostraron alta eficiencia en la degradación de hidrocarburos de fracción C10-C28 en concentraciones bajas y moderadas, pero en concentraciones más altas el porcentaje de remediación disminuyó, por lo que concuerda con los resultados obtenidos, donde las lombrices muestran mayor eficiencia en concentraciones moderadas y una saturación en concentraciones altas.

Por otro lado, Flores et al. (2021) [8] observaron que la capacidad de las lombrices para la biorremediación de suelos contaminados con diésel es limitada en concentraciones elevadas, ya que las lombrices se ven negativamente afectadas debido a la saturación, lo que reduce su eficiencia. Este hallazgo concuerda con Ortega y Quiroga (2019) [9], quienes destacaron que los mejores resultados en la biorremediación se obtienen en concentraciones moderadas de diésel. De manera similar, Ojeda y Córdova (2023) [10] reportaron que la eficiencia de las lombrices disminuye significativamente cuando las concentraciones de diésel superan ciertos límites, subrayando la importancia de mantener cantidades moderadas de contaminante para maximizar la efectividad del proceso.

5. Conclusiones. -

- El empleo de 10 unidades de lombrices rojas californianas en la biorremediación de suelos contaminados revela que, a medida que se incrementa la cantidad de diésel aplicado, también aumenta su concentración en el suelo. Esto indica que las lombrices no están reduciendo de manera efectiva la cantidad de diésel en proporción al aumento de las dosis aplicadas.
- El empleo de 20 unidades de lombrices rojas californianas en la biorremediación de suelos contaminados revela que, no es uniforme y podría estar influenciada por la cantidad de diésel. El incremento en A2 señala una saturación en la capacidad de las lombrices, pero la disminución en A3 muestra que es más eficiente en concentraciones más altas o con más tiempo de exposición.
- El empleo de 30 unidades de lombrices rojas californianas en la biorremediación de suelos contaminados revela que, las lombrices rojas californianas tienen un comportamiento variable en función de la concentración de diésel en el suelo. Son más efectivas en la biorremediación en el tratamiento A2, pero su eficiencia disminuye en concentraciones más altas (A3). Este comportamiento está relacionado con la capacidad de tolerancia de las lombrices al diésel y su habilidad para procesar el contaminante.

Referencias

- [1] Acuña S, Celedonia & Muñoz (2021). Reducción de hidrocarburos (fracción c10- c28) de petróleo en suelos contaminados por hidrocarburos con el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el distrito de Huancavelica. Universidad Nacional de Huancavelica.
- [2] Bazán S, Morales R, Rengifo G, & Valdivia (2024). Pasivos ambientales del subsector hidrocarburos y sitios impactados: Un análisis de su situación actual y perspectiva. *Gaceta Científica*, 10 (2), 53–63. <https://doi.org/10.46794/gacien.10.2.2167>
- [3] Barbaran C (2017). Reducción de Cromo en suelos contaminados por agroquímicos utilizando lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en el Centro Poblado Huarabi- Canta; 2017. 1, 1(1-14).
- [4] Buenestado C (2020). Diseño de Experimentos: Diseño Factorial. En *Diseño de Experimentos*.
- [5] Bunge, M. (2007). *La investigación científica* (4ta. Ed). Siglo XXI.
- [6] Caján, A. Pascual & Anco (2021). Efecto eco toxicológico del cloruro de potasio sobre la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 24(47), Article 47. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20658>
- [7] Cépeda, A. L., & Lossio, M. Z. (2024). La sombra de los hidrocarburos en el Perú. 56.
- [8] Chen, M., Xu, P., Zeng, G., Yang, C., Huang, D., & Zhang, J. (2015). Bioremediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons, petroleum, pesticides, chlorophenols and heavy metals by composting: applications, microbes and future research needs. *Biotechnology Advances*, 33(6), 745-755. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.05.003>.
- [9] Cruz N, Meléndez J, & Castañeda E (2021). Biorremediación con vermicomposta en la contaminación del suelo producida por hidrocarburos. 7.
- [10] Flores J, Nuñez C, & Diaz L (2021). Growth of the californian red worm (*Eisenia Foetida*) in vermicomposting process of diesel contaminated soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2226. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052226>
- [11] Gavilánez L, Freddy (2021). *Diseños y análisis estadísticos para experimentos agrícolas*. Ediciones Díaz de Santos.
- [12] Katherine, C. S. D., Antonio, V. M. L., & David, A. M. W. (2020). Aplicación de sustratos orgánicos en la cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la producción de alimento animal. *Conciencia Digital*, 3(3.1), Article 3.1. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1.1354>
- [13] Lin, Z., Zhen, Z., Ren, L., Yang, J., Luo, C., Zhong, L., ... Zhang, D. (2018). Effects of two ecological earthworm species on atrazine degradation performance and bacterial community structure in red soil. *Chemosphere*, 196, 467-475. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.177>
- [14] Ojeda M, Córdova B, Álvarez R, López L, Martínez G., & Morales (2023). Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos empleando sustancias húmicas de vermicomposta. *Terra Latinoamericana*, 41. <https://www.redalyc.org/journal/573/57375131033/html/>
- [15] Ortega O & Quiroga D (2019). Evaluación de la eficiencia de tres procesos de biorremediación en suelos contaminados con petróleo, mediante la determinación de la concentración letal 50 (CL50) en la lombriz californiana, *Eisenia Foetida* (lombricidae) [Bachelor thesis, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/19059>
- [16] Rodríguez (2018). Efecto del humus de lombriz en la remoción de suelos contaminados con crudo de petróleo. Ucayali, Perú. Universidad Nacional de Ucayali.

http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4047/000003720T_Ambiental.pdf.sequence=1&isAllowed=y

[17] Vargas M (2018). Efecto de diésel como contaminante del suelo en el crecimiento del Frijol Castilla o caupi, (*Vigna unguiculata* L) Distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. 2018. 1, 1-54.

Nota contribución de los autores:

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

SBC ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

KBT ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

JPRB ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Nota de aceptación: Este artículo fue aprobado por los editores de la revista Dr. Rafael Sotelo y Mag. Ing. Fernando A. Hernández Goberti.