



# Biorremediación verde: eficacia de *Trichoderma* sp. en suelos contaminados con aceite residual automotriz

## Bioremediation in Action: Fungal Treatment of Hydrocarbon-Contaminated Soils with *Trichoderma* sp.

Alcarraz-Cortegana, Janin Evelyn <sup>1</sup>

Quintana-Canlla, Omar Jesús <sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad César Vallejo, Moyobamba, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional de San Martín, Moyobamba, Perú

**Recibido:** 30 Set. 2024 | **Aceptado:** 14 Dic. 2024 | **Publicado:** 20 Ene. 2025

**Autor de correspondencia\*:** ojcanllaq@alumno.unsm.edu.pe

**Como citar este artículo:** Alcarraz-Cortegana, J. E. & Quintana-Canlla, O. J. (2025). Biorremediación verde: eficacia de *Trichoderma* sp. en suelos contaminados con aceite residual automotriz. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 4(1), e1121.

<https://doi.org/10.51252/reacae.v4i1.e1121>

### RESUMEN

La contaminación del suelo por aceites residuales de talleres automotrices representa una problemática ambiental relevante en el distrito de Soritor, Perú, debido a su contenido de hidrocarburos y metales pesados que deterioran las propiedades físico-químicas del suelo, afectan la microbiota y ponen en riesgo la salud pública. En este contexto, la investigación tuvo como objetivo evaluar la eficacia del hongo *Trichoderma* sp. en la reducción de hidrocarburos F3 en suelos contaminados, mediante un estudio aplicado, con enfoque cuantitativo y diseño experimental, en el que se aplicaron nueve tratamientos con tres dosis (10, 15 y 20 ml/L) y tres tiempos de exposición (20, 40 y 60 días). Los resultados demostraron que la mayor reducción se alcanzó con 20 ml/L a los 60 días, con diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). El análisis factorial indicó que la dosis, el tiempo y su interacción explicaron el 98.6% de la variabilidad de los resultados, confirmando la influencia de estos factores en la degradación de hidrocarburos. En conclusión, el uso de *Trichoderma* sp. constituye una alternativa eficaz, económica y sostenible para la biorremediación de suelos contaminados con aceites automotrices, contribuyendo a la salud ambiental y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

**Palabras clave:** contaminación del suelo; hidrocarburo; hongo; gestión ambiental

### ABSTRACT

Soil contamination by waste oils from automotive workshops is a significant environmental issue in Soritor, Peru, as these residues contain hydrocarbons and heavy metals that deteriorate the soil's physicochemical properties, affect microbial biodiversity, and pose risks to public health. In this context, the objective of this research was to evaluate the effectiveness of *Trichoderma* sp. in reducing F3 hydrocarbons in oil-contaminated soils through an applied, quantitative, and experimental study, which included nine treatments with three doses (10, 15, and 20 ml/L) and three application times (20, 40, and 60 days). The results showed that the highest reduction was achieved with 20 ml/L at 60 days, with statistically significant differences ( $p < 0.05$ ). Factorial analysis revealed that dose, time, and their interaction explained 98.6% of the variability in the results, confirming their strong influence on hydrocarbon degradation. In conclusion, the use of *Trichoderma* sp. is an effective, economical, and sustainable alternative for the bioremediation of soils contaminated with automotive oils, contributing to environmental health and to the achievement of the Sustainable Development Goals.

**Keywords:** soil pollution; hydrocarbon; fungi; environmental management



## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por aceites residuales automotrices representa una amenaza creciente para los ecosistemas terrestres a nivel global. Estos residuos contienen hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y metales pesados, que afectan negativamente la estructura del suelo, reducen su fertilidad y ponen en riesgo la biodiversidad (Ambaye et al., 2022; Correia & Rasteiro, 2025)

Estudios recientes demuestran que estos contaminantes pueden alcanzar concentraciones superiores a 75,000 ppm, alterando la retención de agua, el pH y la disponibilidad de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, además de disminuir drásticamente la actividad microbiana benéfica (Giwa et al., 2023; Huaccha et al., 2024).

Uno de los principales factores que contribuyen a esta problemática es la inadecuada disposición de aceites usados en talleres automotrices. A pesar de su peligrosidad, más del 50% no es reciclado adecuadamente, lo cual incrementa los riesgos ambientales y los costos de remediación (Arciniega et al., 2024; Del Castillo & Orobio, 2023).

En el Perú, la Norma Técnica Peruana NTP 900.050:2022 regula el manejo de aceites usados. Sin embargo, el incumplimiento persiste: se estima que, en Lima, el 80% de estos residuos se vierte en desagües. Esta situación también se refleja en distritos como Soritor, donde los talleres carecen de sistemas adecuados para la gestión de residuos peligrosos.

El uso de microorganismos con capacidad biorremediadora, como *Trichoderma* Sp., ha mostrado resultados prometedores en la degradación de hidrocarburos y metales pesados. Su aplicación constituye una estrategia sostenible, eficaz y de bajo costo, adecuada para contextos locales con recursos limitados (Cruz & Licango, 2021; Ayala & Caballón, 2022).

*Trichoderma* Sp. destaca por su rápida colonización, su adaptabilidad a diversos sustratos y su capacidad para producir metabolitos que inhiben patógenos. Estas propiedades lo convierten en una alternativa ecológica viable para recuperar suelos contaminados (Muangchinda et al., 2020; Poveda et al., 2024).

En este marco, se plantea como problema de investigación: ¿En qué medida la aplicación de *Trichoderma* Sp. reduce la fracción F3 de hidrocarburos en suelos contaminados con aceite residual en el distrito de Soritor, 2024? De ello se derivan interrogantes relacionados con dosis, tiempo y relaciones entre ambas variables.

La presente investigación se justifica teóricamente por su base en los principios de la microbiología ambiental, y socialmente por su contribución a la salud pública y sostenibilidad del entorno. Además, se alinea con los ODS 6, 9, 13 y 15, al promover prácticas de gestión sostenible de residuos y conservación de suelos.

El propósito de esta investigación es evaluar la efectividad del hongo *Trichoderma* Sp. en la reducción de hidrocarburos F3 en suelos contaminados con aceite residual. Así, se busca aportar soluciones prácticas y científicamente fundamentadas para mitigar este problema ambiental urgente en el distrito de Soritor.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Zona geográfica y espacio de estudio

El estudio se realizó en el distrito de Soritor, ubicado en la provincia de Moyobamba, región San Martín, Perú. Este distrito fue seleccionado por presentar zonas urbanas con suelos visiblemente contaminados por aceite residual automotriz, como consecuencia de actividades informales de mantenimiento vehicular. Las fases experimentales se desarrollaron en un espacio controlado, con condiciones estandarizadas de temperatura y humedad, lo cual permitió simular el ambiente natural y garantizar la reproducibilidad del experimento.

### Tipo, nivel y diseño de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada, porque tuvo como finalidad resolver un problema ambiental específico mediante una solución biotecnológica. Se trabajó con un nivel de investigación experimental y con enfoque cuantitativo, ya que se recolectaron y analizaron datos numéricos para medir la eficacia del *Trichoderma* sp. en la remoción de contaminantes.

Se utilizó un diseño experimental con un solo grupo, evaluado antes (O1) y después (O2) de la intervención (X), bajo el siguiente esquema:}

G.E.: O1 – X – O2

G.E.: Grupo experimental (suelo contaminado)

O1: Medición inicial de hidrocarburos F3

X: Aplicación de *Trichoderma* sp.

O2: Medición final de hidrocarburos F3

### Población, muestra y muestreo

La población estuvo conformada por suelos contaminados con aceite residual automotriz del distrito de Soritor. La muestra fue de 82 kilogramos de suelo contaminado, recolectado de diferentes puntos del distrito. Se empleó un muestreo probabilístico, que permitió asegurar que cada unidad tuviera la misma posibilidad de ser seleccionada.

El experimento se estructuró en nueve grupos experimentales, combinando tres dosis de *Trichoderma* sp. (10 ml, 15 ml y 20 ml por litro de solución) y tres tiempos de evaluación (20, 40 y 60 días), conforme a un diseño factorial 3x3.

### VARIABLES DE ESTUDIO

La variable independiente fue la aplicación de *Trichoderma* sp., definida como un proceso de biorremediación en el que el hongo actúa sobre el suelo contaminado para degradar hidrocarburos. La suspensión fue preparada a una concentración de  $1 \times 10^{-10}$  conidios/ml.

La variable dependiente fue la concentración de hidrocarburos F3 (fracción pesada), medida en mg/kg conforme a lo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Suelo (D.S. N.º 011-2017-MINAM).

## Métodos y técnicas utilizadas

Se empleó un procedimiento novedoso para preparar la solución de *Trichoderma* sp. como inóculo. Se utilizó arroz crudo enriquecido con ñelen como sustrato para el cultivo del hongo. Este material fue adquirido en el Instituto de Cultivos Tropicales (Tarapoto) y tratado en un recipiente de 20 litros con 5 litros de agua. Se agitó y filtró con una malla de 4.76 mm hasta obtener un líquido blanco, el cual fue mezclado con 500 gramos de melaza para activar la solución.

Para asegurar la esterilidad del suelo y evitar interferencias microbianas, los 81 kg de muestra fueron esterilizados por autoclave a 121 °C durante 45 minutos, en tres ciclos sucesivos.

## Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se elaboraron y utilizaron fichas de evaluación de campo para registrar las características físicas del suelo y su ubicación. Asimismo, se emplearon fichas de recolección postratamiento para sistematizar los resultados. La observación directa fue utilizada como técnica complementaria para describir fenómenos visuales durante la degradación.

El procedimiento de muestreo se realizó siguiendo la Resolución Ministerial N.º 118-2021-MINAM, lo que garantizó validez técnica y científica en la obtención de datos.

## Validación y confiabilidad

Se aplicaron criterios nacionales para el muestreo y análisis, asegurando la validez externa de los resultados. El empleo de estándares del MINAM y procedimientos controlados fortaleció la confiabilidad. La concentración del inóculo fue validada con base en estudios previos y recomendaciones.

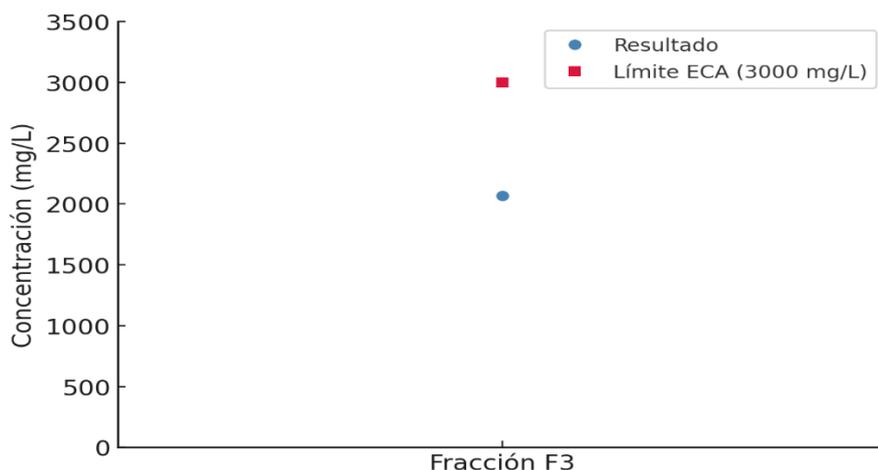
## Análisis estadístico y software utilizado

Para el procesamiento y análisis de los datos, se utilizaron los programas SPSS v26 y Microsoft Excel. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas entre las combinaciones de dosis y tiempos. Posteriormente, se realizaron pruebas post hoc (Tukey y Bonferroni) para identificar los grupos con mayor eficacia. También se analizaron interacciones entre las variables para interpretar con mayor profundidad el efecto del tratamiento.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Concentración inicial de hidrocarburos F3 en el suelo

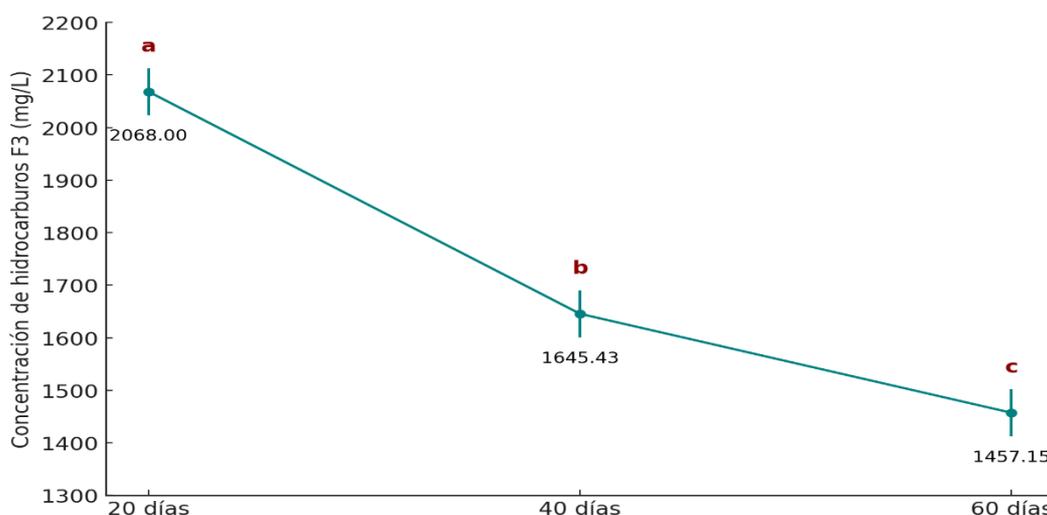
La investigación determinó la concentración inicial de la fracción de hidrocarburos F3 en suelos contaminados con aceite residual automotriz del distrito de Soritor durante el año 2024. Los análisis de laboratorio reportaron un valor de 2068 mg/kg, como se presenta en la figura 1., el cual se ubicó por debajo del límite permisible de 3000 mg/kg establecido por el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM.



**Figura 1.** Concentración inicial de fracción de hidrocarburos F3 en suelos contaminados con aceite residual en el distrito de Soritor

### 3.2. Eficacia del tiempo de tratamiento con *Trichoderma sp.*

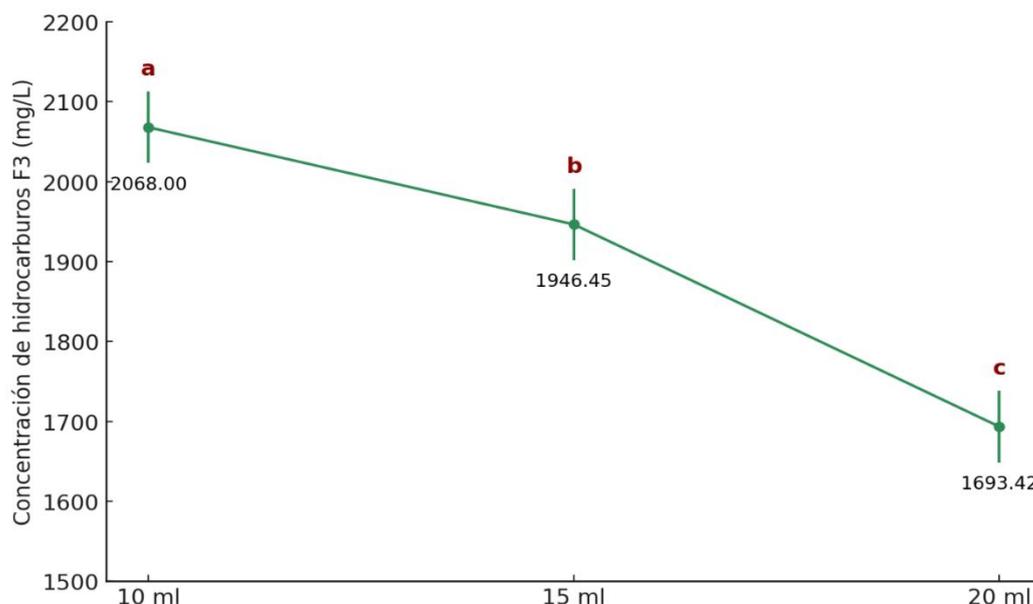
Se aplicó un análisis estadístico para determinar el tiempo óptimo de aplicación del hongo. La prueba de comparaciones múltiples de Tukey mostró diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre los intervalos de tiempo evaluados (20, 40 y 60 días). Los resultados indicaron que el tratamiento durante 60 días fue significativamente más eficaz que los tiempos de 20 y 40 días.



**Figura 2.** Tiempo óptimo para que el *Trichoderma Sp.* permita reducir las concentraciones de la fracción de hidrocarburos F3 en suelos contaminados con aceite residual

### 3.3. Eficacia de la dosis aplicada

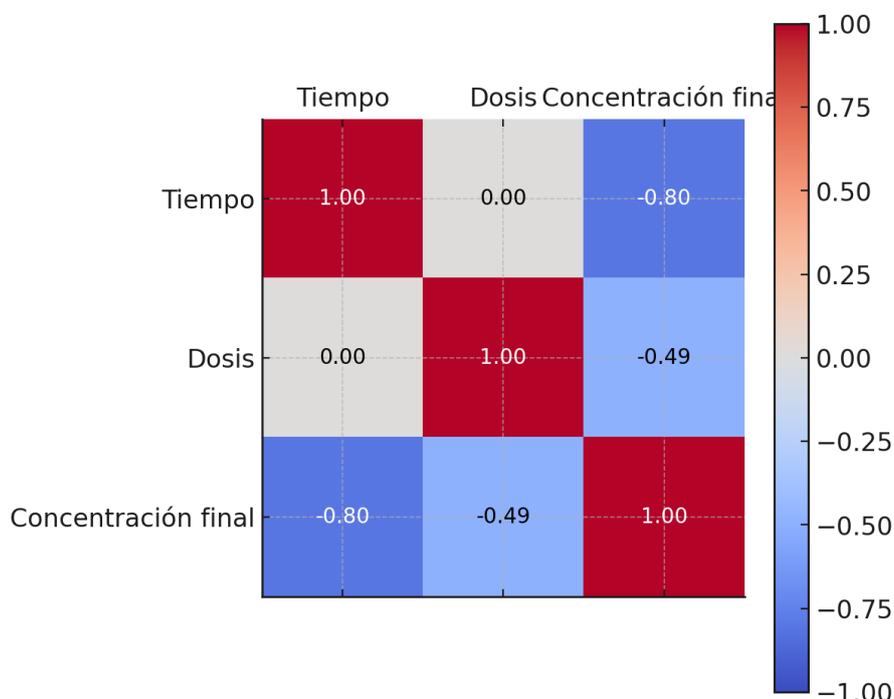
En relación con la dosis de *Trichoderma sp.*, se aplicaron niveles de 10 ml, 15 ml y 20 ml por litro de solución. Según la prueba de Tukey, la dosis de 20 ml generó una reducción significativamente mayor de la fracción F3 en comparación con las otras dosis, tal como se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Tiempo óptimo para que el *Trichoderma Sp.* permita reducir las concentraciones de la fracción de hidrocarburos F3 en suelos contaminados con aceite residual

### 3.4. Relación entre dosis, tiempo y concentración final

La prueba de correlación de Pearson evidenció que existió una relación negativa y significativa entre el tiempo de exposición y la concentración final de hidrocarburos F3 ( $r = -0.798$ ;  $p = 0.000$ ). Asimismo, se identificó una relación negativa moderada con la dosis aplicada ( $r = -0.489$ ;  $p = 0.005$ ), como se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Relación entre las dosis empleadas y el tiempo de aplicación para la reducción de la concentración de la fracción de hidrocarburos F3 en suelos contaminados con aceite residual

## CONCLUSIONES

La aplicación de *Trichoderma* sp. demostró ser eficaz para reducir las concentraciones de hidrocarburos F3 en suelos contaminados con aceite residual automotriz, como lo evidencia el análisis factorial triple, donde el modelo fue altamente significativo ( $p = 0.000$ ) y presentó un excelente ajuste ( $R^2$  ajustado = 0.980), lo que confirma que el 98% de la variabilidad en los resultados se explica por el tiempo, la dosis y su interacción. La concentración inicial de hidrocarburos F3 fue de 2068 mg/L, valor inferior al límite permitido por el Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM (3000 mg/L), lo cual indica una contaminación moderada y técnicamente controlable. Se identificó que el tiempo óptimo de tratamiento es de 60 días, alcanzando una reducción significativa frente a los tratamientos de 20 y 40 días ( $p = 0.000$ ), mientras que la dosis más efectiva fue de 20 ml, la cual presentó diferencias significativas frente a las dosis menores de 10 y 15 ml ( $p = 0.000$ ), demostrando que mayores tiempos de exposición y concentraciones del agente biorremediador incrementan su efectividad. Además, se evidenció una correlación negativa fuerte entre el tiempo y la concentración final, y una correlación negativa moderada entre la dosis y la concentración final, lo que respalda la eficacia conjunta de ambos factores. Los resultados de esta investigación brindan evidencia científica relevante para el uso de *Trichoderma* sp. como agente biorremediador en contextos rurales, y se recomienda que futuras investigaciones exploren su comportamiento frente a otros tipos de contaminantes, su efectividad en condiciones climáticas diversas o su posible combinación con otros microorganismos nativos para potenciar su acción en la restauración de suelos degradados.

## FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

## CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, validación, investigación, revisión y edición; Alcarraz Cortegana Janin Evelyn, Omar Jesús Quintana Canlla. Todos los autores han leído y están de acuerdo con la versión publicada del manuscrito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ambaye, T. G., Chebbi, A., Formicola, F., Prasad, S., Gomez, F. H., Franzetti, A., & Vaccari, M. (2022). Remediation of soil polluted with petroleum hydrocarbons and its reuse for agriculture: Recent progress, challenges, and perspectives. *Chemosphere*, 293, 133572. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133572>
- Arciniega, M., et al. (2024). Remediación de suelos contaminados con aceite automotriz residual utilizando un sistema de lavado con surfactante comercial. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(2), 5026–5036. Consulta: 9 de setiembre de 2024. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v8i2.10911](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i2.10911)
- Ayala, Y., & Caballón, J. (s.f.). *Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos con Trichoderma sp. y Exiguobacterium: una revisión sistemática de los últimos 5 años* [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].
- Correia, A., & Rasteiro, M. (2025). A Review of Persistent Soil Contaminants: Assessment and Remediation

- Strategies. *Environments*, 12(7), 229. <https://doi.org/10.3390/environments12070229>
- Cruz, J., & Licango, J. (s.f.). *Evaluación del proceso de biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos totales de petróleo utilizando Trichoderma sp. y Bacillus pumilus mediante el sistema de biopilas a escala de laboratorio* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19882/1/UPS%20-%20TTS283.pdf>
- Del Castillo, R. D., & Orobio, A. (2020). Investigación exploratoria sobre el efecto del aceite de motor usado en un suelo fino de subrasante. *Informes de la Construcción*, 72(558), 336. Consulta: 1 de noviembre de 2024. <https://doi.org/10.3989/ic.69016>
- Giwa, A. S., Maurice, N. J., Luoyan, A., Liu, X., Yunlong, Y., & Hong, Z. (2023). Advances in sewage sludge application and treatment: Process integration of plasma pyrolysis and anaerobic digestion with the resource recovery. *Heliyon*, 9(9), e19765. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19765>
- Huaccha, A., Mego, N., & Cruz, E. (2024). *Impacto ambiental del aceite residual automotriz de los servicentros de la zona urbana de Jaén* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Jaén]. Recuperado de <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/702>
- Muangchinda, C., et al. (2020). *The effect of bioaugmentation with Exiguobacterium sp. AO-11 on crude oil removal and the bacterial community in sediment microcosms, and the development of a liquid ready-to-use inoculum*. *Chemosphere*, 250, 126303. Consulta: 12 de octubre de 2024. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126303>
- Poveda, J., Millen, M. R., & Bailey, A. M. (2024). Analysis of Trichoderma as an effective biological control agent against the honey fungus (*Armillaria* spp.). *Biological Control*, 188, 105424. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2023.105424>