

Potencial biorremediador preliminar in vitro del hongo *Favolus tenuiculus* en suelos con metales pesados

*Preliminary in vitro bioremediation potential of the fungus Favolus tenuiculus
in heavy metal-contaminated soils*

Ivanka Carofilis¹, Viviam Ruiz², Ginger Cedeño³, Luis Antonio
Maldonado⁴, Ronald Rivera⁵, Evelyn Oña⁶, Silvia Llerena⁷

¹Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0007-3857-093X>

² Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0002-6346-1499>

³ Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0003-2946-9232>

⁴ Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0001-3576-7282>

⁵ Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0001-4809-3504>

⁶ Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0009-0002-6003-9866>

⁷ Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0000-0002-0491-530X>

Autor de correspondencia: silvia.llerena@ikiam.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.63804/CIBEN.25.bbfs.e19>

Resumen

Napo, provincia amazónica ecuatoriana, es poseedor de suelos con contenido de metales pesados por sus condiciones geológicas. Estos en altas concentraciones son una amenaza para el ecosistema y la salud. En este estudio se evaluó el potencial del hongo *Favolus tenuiculus*, nativo de la Amazonía, para reducir la concentración de metales en muestras de suelos de la chakra amazónica. La muestra compuesta de suelo se recolectó de la chakra de la comunidad Atacapi. Los metales pesados se determinaron por espectrofotometría de fluorescencia de rayos X, antes y después de la micorremediación. El experimento constó de tres réplicas de la muestra de suelo con el inóculo del hongo y un control negativo. La cuantificación de esporas se realizó en cámara de Neubauer y se utilizó una concentración de 5×10^6 esporas/ml en cada repetición. Para la interpretación de la reducción de concentración de metales pesados luego de 37 días. De las comparaciones realizadas se obtuvo una disminución de concentración mayor al 85% para los metales arsénico, plomo, bario, cromo, cobre, manganeso y vanadio. Estos resultados preliminares positivos incentivan a continuar investigando el uso de hongos ligninolíticos como una solución sostenible y efectiva para mitigar la contaminación por metales pesados en suelos amazónicos.

Palabras clave: Hongo ligninolítico, Biorremediación, Suelos, Metales pesados.

Abstract

Napo, an Ecuadorian Amazonian province, possesses soils containing heavy metals due to its geological conditions. At high concentrations, these metals pose a threat to ecosystems and human health. In this study, the potential of the fungus *Favolus tenuiculus*, native to the Amazon region, was evaluated for reducing metal concentrations in soil samples collected from an Amazonian chakra system. The composite soil sample was obtained from the chakra of the Atacapi community. Heavy metals were determined by X-ray fluorescence spectrophotometry before and after mycoremediation. The experiment consisted of three replicates of the soil sample inoculated with the fungus and one negative control. Spore quantification was performed using a Neubauer chamber, and a concentration of 5×10^6 spores/mL was used in each replicate. The reduction in heavy metal concentrations was evaluated after 37 days. Comparisons showed a reduction greater than 85% for arsenic, lead, barium, chromium, copper, manganese, and vanadium. These positive preliminary results encourage further investigation into the use of ligninolytic fungi as a sustainable and effective solution for mitigating heavy metal contamination in Amazonian soils.

Keywords: Ligninolytic fungus, Bioremediation, Soils, Heavy metals.

Introducción

La provincia de Napo, perteneciente a la Amazonía ecuatoriana, es poseedor de suelos con contenido de metales pesados propio de la geología del lugar (Caprini, 2024). Se necesita encontrar métodos efectivos y sostenibles para la remediación de suelos con alto contenido de metales pesados. La biorremediación, utilizando organismos como hongos, se presenta como una alternativa viable. En particular, el hongo *Favolus tenuiculus*, nativo de la región amazónica, tiene el potencial de inmovilizar o transformar metales en formas menos tóxicas, contribuyendo así a la recuperación de los suelos afectados (Ochoa, 2021), aportando una solución ecológica y sostenible para mitigar este problema. Este hongo pertenece a los basidiomicetos de la familia *Polyporaceae*, produce enzimas ligninolíticas que podrían contribuir a la inmovilización o transformación de metales en formas menos tóxicas (Sharma, (2020) y Ochoa, (2021). Esta investigación evaluó la capacidad de *Favolus tenuiculus* para biorremediar suelos con metales.

Metodología

Se realizó un diseño experimental aleatorizado con base a dos grupos, 1) control (sin hongo) y 2) tratamiento con *Favolus tenuiculus* (n=5 réplicas por grupo), ambos incubados 37 días

bajo condiciones controladas. El hongo, con identificación molecular previa, fue donado por la investigación de Palacios y Llerena (2025), Este hongo se reactivó y se corroboró de identificación morfo cultural y microscópica del hongo mediante descripción del crecimiento, tinción con azul de metileno y visualización microscópica.

Se colocó 10 µl de muestra de *Favolus tenuiculus* en la cámara bajo un cubreobjetos. Posteriormente, se observó en el microscopio óptico a 40x, se cuentan las esporas en los cuadrantes externos y el central. finalmente se calcula el número de esporas en metros cúbicos. (Oviedo, 2021)

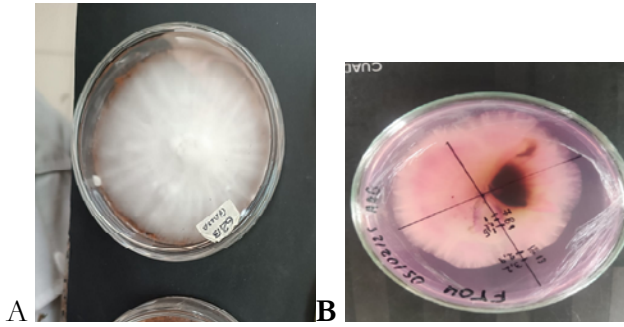
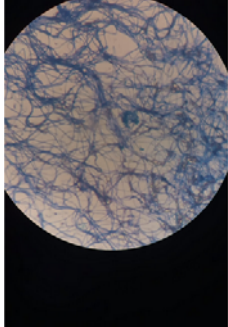
En la recolección de datos se incluyeron el muestreo de suelo previo y posterior a la incubación, la medición de concentraciones de As, Pb, Ba, Cr, Cu, Mn, V, Zn, Cd mediante XRF y el registro de variables como la humedad y temperatura de incubación.

El análisis se realizó en Python mediante estadística descriptiva, verificación de supuestos, y contraste entre grupos mediante ANOVA o Kruskal–Wallis según correspondiera ($\alpha=0,05$). Se calcularon intervalos de confianza y tamaños de efecto para interpretar la magnitud de los cambios.

Resultados y discusión

La cepa se confirmó como *Favolus tenuiculus* por caracterización macroscópica y microscópica esta verificación respaldó su uso experimental (Zabin et al., 2024).

Tabla 1. Identificación macroscópica y microscópica del hongo *Favolus tenuiculus*

Caracterización macroscópica	Caracterización microscópica Aumento: 40X
 <p>A. Crecimiento de <i>F. tenuiculus</i> en agar rosa bengala (anverso); B. Crecimiento de <i>F. tenuiculus</i> en agar rosa bengala (reverso).</p>	 <p>C. Tinción de azul de metileno para visualización de estructuras microscópicas</p>

En el análisis macroscópico se presenta una colonia blanca de textura algodonosa, que va cubriendo toda el área del medio de cultivo. El borde de cultivo tiene un contorno irregular, con ligeras hendiduras que parecen sugerir un crecimiento radial en distintas capas. El crecimiento

es plano en los contornos y más elevado en el centro; la coloración es blanca, sin cambios en el agar. De forma microscópica se aprecian hifas filamentosas, de grosor relativamente uniforme, de ramificación suave; casi todas las hifas presentan un patrón septado, formando una red bien definida, además el contraste con el azul de metileno indica un micelio incoloro o presenta un leve tono azul, característico de muchos hongos filamentosos. No se aprecian bien las estructuras esporangióforos y esporangios (Sánchez Escudero, L. 2016).

En el ensayo de 37 días con un control vs tratamiento y 5 repeticiones por grupo, *F. tenuiculus* redujo de forma considerable la carga metálica del suelo estudiado, cumpliendo el objetivo principal del estudio frente al control, La figura 1, muestra en escala logarítmica una disminución promedio cercana al 86% comparando un antes y un después para As, Pb, Ba, Cr, Cu, Mn y V. El Zn mostró una reducción más modesta (~64%), y el Cd permaneció próximo al límite de detección del equipo, aunque con tendencia descendente. La variabilidad entre réplicas fue baja, lo que sugiere un efecto sistemático del hongo sobre la matriz del suelo y respalda la robustez del hallazgo. La Tabla 2 resume los porcentajes de remoción por metal.

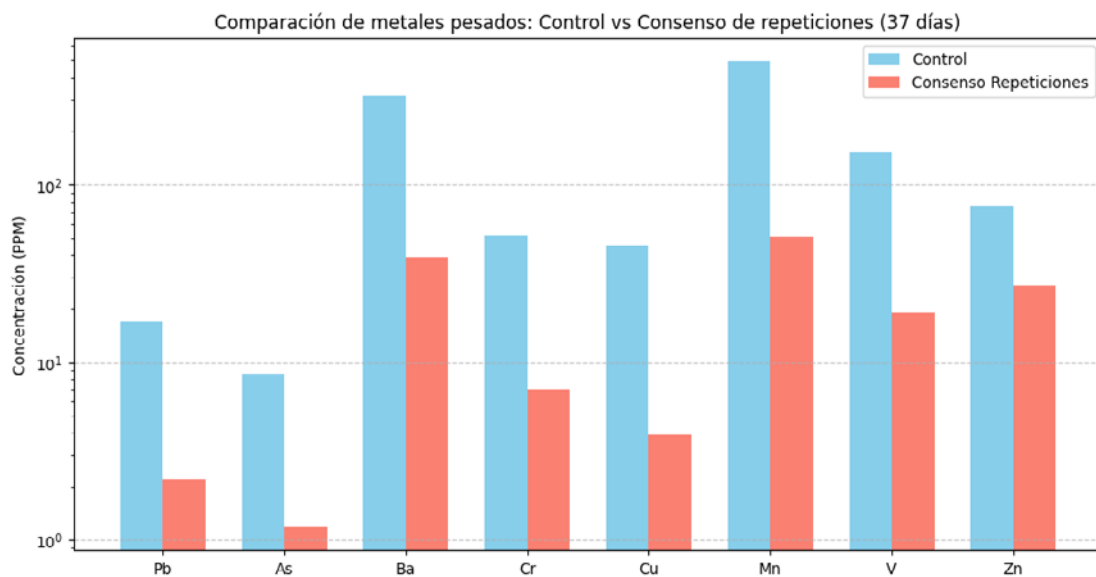


Figura 4: Comparación de las mediciones de los metales pesados de los 37 días contra el control en escala logarítmica para poder visualizar la remediación.

Tabla 2. Porcentajes de remediación obtenidos con los datos de PPM del control y del consenso de cada elemento contaminante.

Elemento	Control PPM	Consenso PPM	% Remediación
-As	8.6	0.1183	91.36
Pb	17.0	0.2200	89.60
-Ba	314.4	38.640	87.70
Cr	52.0	0.7060	87.42
Cu	45.6	0.3936	87.05
Mn	491.8	51.128	86.42
V	151.2	19.020	86.24
Zn	75.4	26.988	64.20

Las tendencias concuerdan con mecanismos esperados para macro hongos ligninolíticos: biosorción en pared celular (grupos carboxilo/amina/fosfato) y posibles transformaciones enzimáticas, particularmente notorias en Cr y Cu (Subbaiah et al., 2008,). Estudios previos reportan que poliporáceos como *trametes versicolor sp* remueven hasta ~99% de Cr(VI) vía biosorción y reducción a Cr(III) menos tóxico, y muestran altas eficiencias para Cu (Subbaiah et al., 2008; Singh & Singh, 2024); asimismo, *F. tenuiculus* figura entre macrohongos con buena tolerancia y bioacumulación de metales, incluido cromo (Zare et al., 2024). La magnitud alcanzada aquí se alinea con esos antecedentes, reforzando la pertinencia de *F. tenuiculus* para micorremediación.

La respuesta más modesta del Zn es coherente con su rol como micronutriente esencial y con fenómenos de competencia iónica, lo que puede limitar la acumulación fúngica relativa (Dursun,2006); aun así, la reducción observada es relevante. Respecto al Cd, su proximidad al LOD impide estimar con precisión el porcentaje, pero la dirección del cambio apoya una inmovilización parcial.

Conclusiones

Favolus tenuiculus indicó altos porcentajes de reducción siendo el promedio un 86% para As, Pb, Ba, Cr, Cu, Mn y V; y 64% para Zn. Aunque cabe denotar que el Cd presentó valores muy cercanos al límite bajo de detección del equipo XRF, la tendencia general de los datos sugiere que *F. tenuiculus* sí puede ayudar a la remoción o inmovilización de metales. Se recomienda escalar a mesocosmos y campo con balances de masa y seguimiento temporal, investigar mecanismos (biosorción/enzimas, transportadores)

Referencias bibliográficas

Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of Molecular Biology*, 215(3), 403–410. [https://doi.org/10.1016/S0022-2836\(05\)80360-2](https://doi.org/10.1016/S0022-2836(05)80360-2)

Alloway, B. J. (2013). Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability (Vol. 22). Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4470-7>

Bayramoğlu, G., Bektaş, S., & Arica, M. Y. (2003). Biosorption of heavy metal ions on immobilized white-rot fungus *Trametes versicolor*. *Journal of Hazardous Materials*, 101(3), 285–300. [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(03\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(03)00178-X)

Betancur-Corredor, B., Pino, N., Peñuela, G. A., & Cardona-Gallo, S. (2013). Biorremediación de suelo contaminado con pesticidas: caso DDT. *Gestión y Ambiente*, 16(3), 119–135.

Castañeda-Vera, A., Vergel-Tovar, C. E., & Torres-Lozada, P. (2019). Biosorption of manganese by residual biomass of *Ganoderma lucidum*. *Journal of Environmental Management*, 247, 743–751. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.103>

Cevallos Paguay, T. C., & García Díaz, J. D. (2018). Evaluación de la biodegradación de suelos contaminados con hidrocarburos utilizando *Aspergillus niger*, *Pleurotus ostreatus* y *Pseudomonas aeruginosa* [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana.

Cipriani-Ávila, I. (2024, 23 abril). Micorremediación como herramienta efectiva para el tratamiento de suelos contaminados con petróleo. Siembra.

Coello, J. (2012). Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados [Tesis de grado]. Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Desnos-Ollivier, M., Bretagne, S., Dromer, F., Lortholary, O., & Dannaoui, E. (2006). Molecular Identification of Black-Grain Mycetoma Agents. *Journal of Clinical Microbiology*, 44(10), 3517–3523. <https://doi.org/10.1128/JCM.00862-06>

Dimitrakopoulou, M. E., Stavrou, V., Kotsalou, C., & Vantarakis, A. (2020). Boiling extraction method vs commercial kits for bacterial DNA isolation from food samples.

Journal of Food Science and Nutrition Research, 3(4), 311–319. <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000057>

Dursun, A. Y., Uslu, G., Tepe, O., & Cuci, Y. (2006). Bioaccumulation of copper(II), lead(II), and zinc(II) on dead *Aspergillus niger* and *Rhizopus arrhizus*: Application of statistical design for optimization. *Process Biochemistry*, 41(3), 570–580. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.07.012>

Gadd, G. M. (2009). Biosorption: critical review of scientific rationale, environmental importance and significance for pollution treatment. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 84(1), 13–28. <https://doi.org/10.1002/jctb.1999>

Galliano, I., Daprà, V., Zaniol, E., Alliaudi, C., & Graziano, E. (2021). Comparison of methods for isolating fungal DNA. *Practical Laboratory Medicine*, 25, e00221. <https://doi.org/10.1016/j.plabm.2021.e00221>

Hernández-Baranda, Y., et al. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *SciELO*.

Khan, A. M., & Bhadauria, S. (2018). Molecular characterization of keratin degrading fungi isolated from semi-arid soil by PCR using ITS4 and ITS5 primers. *Journal of King Saud University*, 31(4), 1418–1423. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2018.04.014>

Lopez, T., Páramo, L., & Delgado, S. (2022). Reproducción masiva de hongos trichodermas previamente identificados de suelos nicaragüenses en diferentes sustratos orgánicos. *Nexo*, 35(10).

López-Jácome, L. E., Hernández-Durán, M., Colín-Castro, C. A., Ortega-Peña, S., Cerón-González, G., & Franco-Cendejas, R. (2014). Las tinciones básicas en el laboratorio de microbiología. *Investigación en Discapacidad*, 3(1), 10–18.

Lucena-Aguilar, G., Sánchez-López, A. M., Barberán-Aceituno, A., Carrillo-Ávila, J. A., Cobo, M., & Garrido-Ramos, M. A. (2016). DNA source selection for downstream applications based on DNA quality indicators analysis. *International Journal of Advanced Research*, 4(3), 748–754.

Martínez, Á. T., Speranza, M., Ruiz-Dueñas, F. J., Ferreira, P., Camarero, S., Guillén, F., ... & Martínez, M. J. (2005). Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. *International Microbiology*, 8(3), 195–204.

Mejía Salas, M. F. (2016). Uso del hongo *Pleurotus ostreatus* para la remoción de Pb en los suelos de Carabaylo - Lima 2016 [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo.

Ministerio del Ambiente de Ecuador. (2015). Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados (Acuerdo Ministerial 097 A, Libro VI, Registro Oficial Suplemento 2).

Moreno-Piraján, J. C., & Giraldo, L. (2010). Biosorción de metales pesados sobre residuos agroindustriales y microorganismos. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(131), 313–329. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.91>

Mudgil, D., Baskar, S., Baskar, R., Paul, D., & Shouche, Y. S. (2018). Biomineralization Potential of *Bacillus subtilis*, *Rummeliibacillus stabekisii* and *Staphylococcus epidermidis* Strains In Vitro Isolated from Speleothems, Khasi Hill Caves, Meghalaya, India. *Geomicrobiology Journal*, 35(8), 675–694.

Ochoa, M. (2021). Estudios sobre degradación de hidrocarburos en la Amazonía ecuatoriana. Recuperado de <https://repositorio.ikiam.edu.ec>

Okonechnikov, K., Golosova, O., Fursov, M., & the UGENE team. (2012). UGENE: A unified bioinformatics toolkit. *Bioinformatics*, 28(8), 1166–1167. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/bts091>

Oviedo, P. (2021). Viabilidad de esporas de *Aspergillus awamori* inmovilizado en criogeles. *Torreón Universitario*, 10(29).

Perrusquia, A. (2024). Comprender la composición de las rocas marcianas y otros meteoritos mediante la espectrometría XRF portátil. Thermo Fisher.

Queipo-Ortuño, M. I., Colmenero, J. D., Macias, M., Bravo, M. J., & Morata, P. (2008). Preparation of bacterial DNA template by boiling and effect of immunoglobulin G as an inhibitor in real-time PCR for serum samples from patients with brucellosis. *Clinical and Vaccine Immunology*, 15(2), 293–306. <https://doi.org/10.1128/CVI.00270-07>

Reátegui, K. (2018). Efecto de la dosificación de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Shahuindo Cajamarca [Tesis de grado]. Universidad César Vallejo.

Sánchez Escudero, L. (2016). Identificación y caracterización de hongos de interés para su uso industrial y, en especial, en la industria alimentaria mediante el uso de métodos moleculares.

Sarma, H. (2011). Metal hyperaccumulation in plants: A review focusing on phytoremediation technology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2), 118–138. <https://doi.org/10.3923/jest.2011.118.138>

Sharma, K., Giri, R., & Sharma, R. (2020). Lead, cadmium and nickel removal efficiency of white-rot fungus *Phlebia brevispora*. *Letters in Applied Microbiology*, 71(6), 637–644. <https://doi.org/10.1111/lam.13372>

Singh, H., & Kumar, S. (2008). Bioremediation: a sustainable tool for environmental management. In *Microbial Applications* (pp. 263–292). Springer.

Singh, V. K., & Singh, R. (2024). Role of white rot fungi in sustainable remediation of heavy metals from the contaminated environment. *Mycology*, 15(4), 585–601. <https://doi.org/10.1080/21501203.2024.2389290>

Sotome, K., Akagi, Y., Lee, S. S., Ishikawa, N. K., & Hattori, T. (2013). Taxonomic study of *Favolus* and *Neofavolus* gen. nov. segregated from *Polyporus* (Basidiomycota, Polyporales). *Fungal Diversity*, 58(1), 245–266. <https://doi.org/10.1007/s13225-012-0213-6>

Tangthirasunun, N., & Poeaim, S. (2022). Studies on the rapid and simple DNA extraction method, antibacterial activity and enzyme activity involved in plant biomass conversion by *Cookeina sulcipes* and *C. tricholoma* (cup fungi). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 16(4), 2851–2863. <https://doi.org/10.22207/JPAM.16.4.58>

Thermo Fisher Scientific. (2023). NanoDrop One user guide (Rev. I).

Venkata Subbaiah, M., Kalyani, S., Sankara Reddy, G., Boddu, V. M., & Krishnaiah, A. (2008). Biosorption of Cr(VI) from aqueous solutions using *Trametes versicolor* polyporus fungi. *Journal of Chemistry*, 5(3), 499–510.

White, T., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. (1990). Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En M. Innis, D. Gelfand, J. Sninsky, & T. White (Eds.), *PCR protocols: A guide to methods and applications* (pp. 315–322). Academic Press.

Wilfinger, W. W., Mackey, K., & Chomczynski, P. (1997). Effect of pH and ionic strength on

the spectrophotometric assessment of nucleic acid purity. *Biotechniques*, 22(3), 474–481, 478–481. <https://doi.org/10.2144/97223st01>

Zabin, D. A., Spirin, V., Vlasák, J., Coelho-Nascimento, C., & Menolli, N. (2024). Taxonomic reinvestigation of *Favolus* in the Neotropics utilizing morphological and multigene phylogenetic analyses. *Mycological Progress*, 23(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s11557-024-01979-9>

Zare, P., Giyahchi, M., & Moghimi, H. (2024). Mycosorption and mycoremediation: fungi as the tools for heavy metal removal. In *Bioprospecting of Multi-tasking Fungi for a Sustainable Environment: Volume I* (pp. 249–272). Springer Nature Singapore.