

# Hongos endófitos aislados de *Vachellia farnesiana* presentan potencial para fitorremediación de metales pesados presentes en el área metropolitana de Monterrey

Gustavo Saucedo-Martínez<sup>a</sup>, Gael Eduardo Martínez-Sánchez<sup>a</sup>, Ivana Mabel Morales-González<sup>a</sup>, Julio Silva-Mendoza<sup>a\*</sup>

<sup>a</sup>Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas, Av. Universidad s/n, Ciudad universitaria, C.P. 66455, San Nicolás de los Garza, México.

\*e-mail de autor responsable: [jsilvamd@uanl.edu.mx](mailto:jsilvamd@uanl.edu.mx)

Gustavo Saucedo-Martínez: <https://orcid.org/0009-0004-3009-5765>

Gael Eduardo Martínez Sanchez: <https://orcid.org/0009-0005-9289-4527>

Ivana Mabel Morales Gonzalez: <https://orcid.org/0009-0001-8352-1543>

Julio Silva-Mendoza: <https://orcid.org/0000-0001-8236-0680>

Recibido 30 de septiembre 2025, Aceptado 10 octubre 2025

## Resumen

El crecimiento de la actividad industrial genera contaminación por metales pesados como plomo (Pb), cadmio (Cd), arsénico (As) y cobre (Cu). La acumulación de estos es una problemática ambiental actual en México, ya que generan efectos adversos en la salud humana y en los ecosistemas, debido a que no se degradan con facilidad y se acumulan en diversas matrices. En este contexto, los hongos endófitos (hongos microscópicos que habitan tejidos internos de las plantas de manera asintomática) han demostrado ser una herramienta efectiva en fitorremediación, gracias a su capacidad de tolerar y transformar metales pesados. En este estudio se seleccionó *Vachellia farnesiana* (Huizache) por cumplir con los criterios establecidos en la literatura para la búsqueda de hongos endófitos. Se aislaron 8 cepas endófitas a partir de hojas de Huizache en Potrero Chico (Hidalgo, Nuevo León). Se realizaron ensayos de tolerancia (capacidad de crecer en medio sólido) a Pb, Cd, As y Cu en agar papa dextrosa a diferentes concentraciones. Dos cepas (VfHH2 y VfHH6) toleraron Pb, Cd y As a las concentraciones más altas empleadas en el presente trabajo, demostrando su potencial uso en estrategias de fitorremediación de ambientes contaminados por metales pesados.

**Palabras clave:** hongos endófitos; metales pesados; fitorremediación; Huizache

## Abstract

The growth of industrial activity leads to pollution by heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As), and copper (Cu). The accumulation of these metals is a current environmental issue in Mexico, as they cause adverse effects on human health and ecosystems due to their poor degradability and tendency to bioaccumulate. In this context, endophytic fungi (microscopic fungi that colonize inside plant tissues asymptotically) have proven to be an effective tool for phytoremediation, thanks to their ability to tolerate and transform heavy metals. In this study, *Vachellia farnesiana* (Huizache) was selected as a host plant because it meets the established criteria in the literature for finding endophytic fungi. Eight endophytic strains were isolated from Huizache leaves collected in the Potrero Chico area (Hidalgo, Nuevo León). Tolerance assays (assessing the ability to grow on solid medium) to Pb, Cd, As, and Cu were performed on potato dextrose agar at different concentrations. Two strains (VfHH2 and VfHH6) tolerated Pb, Cd, and As at the highest concentrations tested in this work, demonstrating their potential use in phytoremediation strategies for environments contaminated by heavy metals.

**Keywords:** endophytic fungi; heavy metals; phytoremediation; Huizache

## 1. Introducción

Los hongos endófitos (del griego “endon-”, dentro, y “-phyton”, planta) son aquellos que habitan en tejidos de

plantas (hojas, semillas, tallos, flores, raíces, etc.) de forma inter e intracelular sin generar daño visible o síntomas de enfermedad en la misma. Estos contribuyen al metabolismo, desarrollo y crecimiento de la planta

hospedera. Además, a través de la producción de compuestos bioactivos, permiten la interacción con otras especies, lo que podría ser fundamental para la supervivencia y adaptación del hospedero en distintos ambientes (1,2).

Si bien los hongos endófitos se emplean en diversas áreas de investigación (3), recientemente han aumentado los reportes de su uso para fitorremediación (4,5). Se ha demostrado que la fitorremediación es una técnica efectiva para eliminar o reducir contaminantes como los metales pesados (6). Estos contaminantes se presentan en ciudades afectadas por la actividad industrial, como Monterrey, donde se ha reportado la presencia de metales como Pb (plomo), Cd (cadmio), As (arsénico) y Cu (cobre) en aire, agua y en seres vivos (7–9). La contaminación por metales pesados es de interés para la sociedad, ya que afecta el bienestar de los ecosistemas y la calidad de vida de las comunidades. La exposición constante a metales pesados está asociada con problemas respiratorios y cardiovasculares, así como un mayor riesgo de desarrollar diversos tipos de cáncer (10). Debido a esto, es necesario considerar estrategias para reducir la presencia de estos contaminantes en el medio ambiente.

Los hongos endófitos son una herramienta para fitorremediación de estos contaminantes, ya que pueden bioacumular (11) o transformar los metales pesados a formas insolubles (12), reduciendo así la contaminación.

Para el aislamiento de hongos endófitos se han propuesto los siguientes cinco criterios, con el propósito de seleccionar plantas con alta probabilidad de albergar estos microorganismos (13,14):

1. Plantas que presenten estrategias interesantes de supervivencia
2. Especies que posean historia etnobotánica;
3. Especies endémicas
4. Plantas que crezcan en áreas con alta biodiversidad
5. Plantas asintomáticas que se desarrollen cerca de plantas infectadas.

En este trabajo se seleccionó *Vachellia farnesiana* (Huizache) como potencial hospedera de hongos endófitos por cumplir con los criterios establecidos (12,15–17).

El propósito de este trabajo es aislar y realizar una identificación preliminar de hongos endófitos aislados de *V. farnesiana* con potencial para fitorremediación de metales pesados.

## 2. Metodología

### 2.1. Aislamiento e identificación preliminar de hongos endófitos

Se tomaron hojas sanas de 4 ejemplares *Vachellia farnesiana* distanciados entre sí separados por menos de 20 m<sup>2</sup>. La recolección se realizó en Potrero Chico (Hidalgo, Nuevo León 25.943102, -100.4477148) el día 3 de Marzo de 2025. Las muestras fueron transportadas al laboratorio en bolsas Ziploc®. Para realizar la desinfección superficial de las hojas, primero se lavaron con agua destilada y posteriormente, en condiciones de esterilidad, se sumergieron en etanol 70% v/v por 40 segundos. Después se sumergieron en una solución de hipoclorito de sodio 4% m/v por 20 segundos. Se realizaron lavados con agua destilada estéril entre cada solución. Posteriormente, se obtuvieron muestras de 5x5 mm de cada hoja, para ser inoculados en agar papa dextrosa (PDA) y agar-agua (AA), ambos suplementados con cloranfenicol a 50 mg/L. Se empleó un control para asegurar la eficacia del proceso de desinfección.

Los hongos endófitos recuperados fueron identificados de forma preliminar. Cada hongo fue sembrado en PDA para observar sus características macroscópicas después de 7 días. Sus características microscópicas fueron observadas mediante tinción con azul de lactofenol (18).

### 2.2. Prueba de tolerancia a metales pesados

Previo al ensayo, los hongos se incubaron en PDA por 7 días. Se inoculó cada hongo por triplicado con un sacabocados de 5mm en cajas de agar papa dextrosa (PDA) suplementadas con: Pb (acetato de plomo) a 300, 500 y 1000 ppm; Cd (sulfato de cadmio) a 3, 5 y 8 ppm; As (arsenato de sodio) a 3, 5 y 10 ppm; y Cu (sulfato de cobre pentahidratado) a 100, 300 y 500 ppm. Las soluciones se añadieron y esterilizaron por filtración con filtro de 0.22 µm. Los límites máximos reportados en la literatura fueron empleados para establecer las concentraciones utilizadas en este trabajo (5,12,19).

El crecimiento de los hongos endófitos se identificó como: (-) inhibición, (+) tolerancia leve, (++) tolerancia moderada, (+++) tolerancia alta.

## 3. Resultados y discusión

### 3.1 Aislamiento e identificación preliminar de hongos endófitos

De las hojas de *V. farnesiana* se recuperaron 18 cepas, las cuales fueron agrupadas en 8 morfotipos diferentes (Figuras 1-8).

Los géneros preliminares de los morfotipos aislados son *Alternaria* (n=3), *Hypoxylon* (n=2), *Diaporthe* (n=1) y *Aspergillus* (n=1). Estos géneros son reportados

frecuentemente como endófitos de diversas plantas (20). También se aisló un morfotipo que no fue posible identificar por características morfológicas, debido a que no produce estructuras reproductivas para ser identificado. Esta situación se presenta en más del 50% de los hongos endófitos (21). La identificación exacta del género y la especie de todos los aislados se va a determinar mediante la homologación de las características morfológicas y la secuenciación del ITS 5.8 s ribosomal (18).



Figura 1. VfHH1. *Hypoxylon* sp.

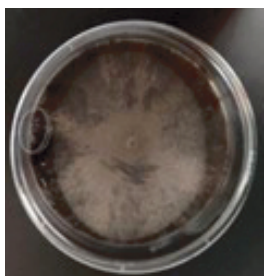


Figura 2. VfHH2. *Alternaria* sp.

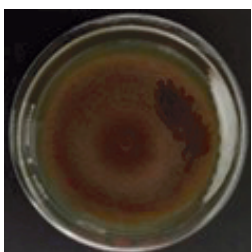


Figura 3. VfHH3. *Alternaria* sp.



Figura 4. VfHH4. Especie no identificada

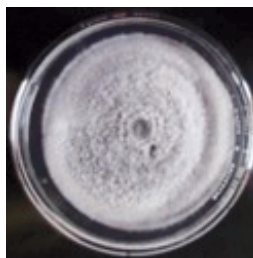


Figura 5. VfHH5. *Alternaria* sp.



Figura 6. VfHH6. *Hypoxylon* sp.

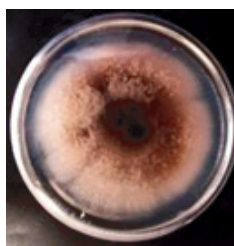


Figura 7. VfHH7. *Diaporthe* sp.

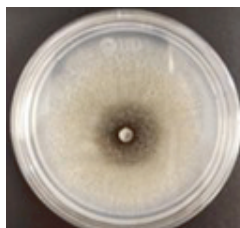


Figura 8. VfHH8. *Aspergillus niger*.

### 3.2. Prueba de tolerancia a metales pesados

Los resultados de la tolerancia a metales pesados se presentan en las tablas 1 a 4.

La mayoría de los hongos presenta tolerancia de moderada a alta al plomo, cadmio y arsénico. Las cepas VfHH2 (posible *Alternaria* sp.) y VfHH6 (posible *Hypoxylon* sp.) destacan por presentar una alta tolerancia a estos 3 metales en las concentraciones empleadas en este trabajo. Por lo cual, estos hongos se destacan como una posible herramienta para fitorremediar la contaminación con estos metales.

El cobre inhibió el crecimiento de 6 cepas a partir de 300 ppm. Solo la cepa VfHH8 (*A. niger*) toleró de forma moderada este metal en las concentraciones empleadas en este trabajo.

Como se observa, los hongos endófitos presentan mayor tolerancia a plomo, cadmio y arsénico, pero no al cobre. Esto se puede deber, en parte a una adaptación de los endófitos a estos metales pesados. Ya que se ha reportado la presencia de plomo, cadmio y arsénico en el área metropolitana de Monterrey, teniendo como posibles fuentes a empresas siderúrgicas, la quema de combustibles y el alto tráfico vehicular, por mencionar algunas (7,10). Contrario al caso del Cu, que está relacionado a la minería (10), la cual no es una actividad común en el estado de Nuevo León. Probablemente esta situación estimuló la tolerancia de las cepas a estos metales (9).

Además, es importante remarcar que los mecanismos de tolerancia de hongos endófitos a metales pesados como Pb, Cd y As, son inespecíficos: la adsorción en la pared celular, secreción de agentes quelantes o la producción de ácido orgánicos (málico, oxálico, cítrico, glucónico o acético por mencionar algunos), los cuales precipitan los metales, formando sales insolubles e inoñas para los hongos (12). El Cu es un micronutriente esencial para los hongos y tiene que ser regulado por mecanismos específicos, como transportadores de membrana (proteínas de la familia Ctr) o amortiguación intracelular (mediante proteínas quelantes de metales, denominadas metalotioneínas) que no están presentes en todos los hongos. Por lo tanto, no se regula la alta concentración de este metal y se presentan efectos tóxicos (22).

La cepa de VfHH8 (*A. niger*) fue la única que pudo tolerar de forma moderada las concentraciones más altas de Cu. Este hongo es conocido por ser un productor de melanina (23). Se ha reportado que las enzimas fúngicas productoras de melanina son lacasas dependientes de cobre. Las concentraciones altas de este metal estimulan la actividad de estas enzimas (22). Por lo tanto, puede ser un mecanismo específico por el cual la cepa VfHH8 (*A. niger*) pudo haber tolerado las altas concentraciones de Cu.

Se propone realizar un ensayo de remoción de estos metales a través de las metodologías establecidas en la literatura (5,12).

Tabla 1. Tolerancia de hongos endófitos a plomo

Morfotipo	Concentración (ppm)		
	300	500	1000
VfHH1	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH2	(++)	(+++)	(+++)
VfHH3	(+++)	(+++)	(+)
VfHH4	(+)	(+)	(+)
VfHH5	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH6	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH7	(+++)	(+++)	(++)
VfHH8	(++)	(++)	(+)

Tabla 2. Tolerancia de hongos endófitos a cadmio

Bacteria	Concentración (ppm)		
	3	5	8
VfHH1	(+++)	(++)	(+)
VfHH2	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH3	(+++)	(++)	(++)
VfHH4	/	/	/
VfHH5	(+++)	(+++)	(++)
VfHH6	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH7	/	/	/
VfHH8	(++)	(++)	(++)

/: No realizado

Tabla 3. Tolerancia de hongos endófitos a arsénico

Bacteria	Concentración (ppm)		
	3	5	10
VfHH1	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH2	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH3	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH4	/	/	/
VfHH5	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH6	(+++)	(+++)	(+++)
VfHH7	(++)	(++)	(++)
VfHH8	(++)	(++)	(++)

/: No realizado

Tabla 4. Tolerancia de hongos endófitos a cobre

Bacteria	Concentración (ppm)		
	100	300	500
VfHH1	(++)	(-)	(-)
VfHH2	(+++)	(-)	(-)
VfHH3	(++)	(-)	(-)
VfHH4	/	/	/
VfHH5	(++)	(-)	(-)
VfHH6	(+++)	(-)	(-)
VfHH7	(++)	(+)	(-)
VfHH8	(++)	(++)	(++)

/: No realizado

#### 4. Conclusión

Los hongos endófitos de las hojas de *V. farnesiana* son herramientas prometedoras para la fitorremediación de la contaminación por metales pesados. Específicamente las

cepas VfHH2 (*Alternaria* sp.) y VfHH6 (*Hypoxyylon* sp.) toleraron plomo, cadmio y arsénico a las concentraciones más altas empleadas en este trabajo. Estos contaminantes son considerables en el área metropolitana de Monterrey. Solo la cepa VfHH8 (*A. niger*) toleró de forma moderada el cobre en las concentraciones empleadas en este trabajo.

Estos microorganismos serán identificados por secuenciación y se realizarán estudios para medir su capacidad para reducir estos contaminantes.

### 5. Agradecimientos

Los autores agradecen a la UANL por su apoyo a través del programa ProACTI (clave de proyecto: 6-BYQ-2024). GSM agradece a la SECIHTI por la beca otorgada (Número de CVU: 1231595).

### 6. Referencias

- Schulz BJ, Haas S, Junker C, Andrée N, Schobert M. Fungal endophytes are involved in multiple balanced antagonisms. *Curr Sci* [Internet]. 2015;109(1):39–45. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/281720487>
- Hridoy M, Gorapi MZH, Noor S, Chowdhury NS, Rahman MM, Muscari I, et al. Putative Anticancer Compounds from Plant-Derived Endophytic Fungi: A Review. *Molecules*. 2022 Jan 1;27(296):1–37.
- Bogas AC, Cruz FPN, Lacava PT, Sousa CP. Endophytic fungi: an overview on biotechnological and agronomic potential. *Brazilian Journal of Biology*. 2024;84(e258557).
- Husna, Hussain A, Shah M, Hamayun M, Qadir M, Iqbal A. Heavy metal tolerant endophytic fungi *Aspergillus welwitschiae* improves growth, ceasing metal uptake and strengthening antioxidant system in *Glycine max* L. *Environmental Science and Pollution Research* [Internet]. 2022;29(11):15501–15. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16640-1>
- Cao GH, Li XG, Zhang CR, Xiong YR, Li X, Li T, et al. Physiological response mechanism of heavy metal-resistant endophytic fungi isolated from the roots of *Polygonatum kingianum*. *Environ Microbiol Rep*. 2023 Dec 1;15(6):568–81.
- Zheng J, Xie X, Li C, Wang H, Yu Y, Huang B. Regulation mechanism of plant response to heavy metal stress mediated by endophytic fungi. *Int J Phytoremediation* [Internet]. 2023 Oct 15;25(12):1596–613. Available from: <https://doi.org/10.1080/15226514.2023.2176466>
- Guzmán-Velasco A, Ramírez-Cruz JI, Ruiz-Aymá G, Rodríguez-Sánchez IP, Garza-Ocañas L, Treviño-Alvarado VM, et al. Great-tailed Grackles (*Quiscalus mexicanus*) as Biomonitorers of Atmospheric Heavy Metal Pollution in Urban Areas of Monterrey, Mexico. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2021 Jun 1;106(6):983–8.
- Ramos E, Bux RK, Medina DI, Barrios-Piña H, Mählknecht J. Spatial and Multivariate Statistical Analyses of Human Health Risk Associated with the Consumption of Heavy Metals in Groundwater of Monterrey Metropolitan Area, Mexico. *Water* (Switzerland). 2023 Mar 1;15(6).
- McCormick E, García de León V. Pollution. 2025. Revealed: US hazardous waste is sent to Mexico – where a ‘toxic cocktail’ of pollution emerges.
- Aguilera A, Bautista F, Gutiérrez-Ruiz M, Ceniceros-Gómez AE, Cejudo R, Goguitchaichvili A. Heavy metal pollution of street dust in the largest city of Mexico, sources and health risk assessment. *Environ Monit Assess*. 2021 Apr 1;193(4).
- You XX, Li XG, Zhang XK, Gu W, Chen D, He S, et al. Arsenic Stress Resistance in the Endophytic Fungus *Cladosporium cladosporioides*: Physiological and Transcriptomic Insights into Heavy Metal Detoxification. *Journal of Fungi*. 2025 May 1;11(5).
- Salazar-Ramírez G, Flores-Vallejo RDC, Rivera-Leyva JC, Tovar-Sánchez E, Sánchez-Reyes A, Mena-Portales J, et al. Characterization of fungal endophytes isolated from the metal hyperaccumulator plant *vachellia farnesiana* growing in mine tailings. *Microorganisms*. 2020 Feb 1;8(2).
- Strobel G, Daisy B, Castillo U, Harper J. Natural Products from Endophytic Microorganisms. *J Nat Prod*. 2004;67(2):257–68.
- Yu H, Zhang L, Li L, Zheng C, Guo L, Li W, et al. Recent developments and future prospects of antimicrobial metabolites produced by endophytes. *Microbiol Res*. 2010 Aug;165(6):437–49.
- Patricio-Hernández A, Ramírez-Peralta A, Romero Ramírez Y, Toledo Hernández E., Urióstegui Acosta M, Toribio-Jiménez J. Root Promotion of *Acacia farnesiana* by PGPB in Mine Tailings. *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences* [Internet]. 2021 Feb 28;9(1):7–11. Available from: <http://www.ijpab.com/vol9-iss1a2.php>
- Hernández-García E. AISLAMIENTO, CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL Y DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ANTIBACTERIANAS DE LOS CONSTITUYENTES DE LOS FRUTOS DE *Acacia farnesiana* [Maestría]. Universidad Autónoma de Nuevo León; 2017.
- Alcántara-Martínez IN. Influencia de la asociación endófitas entre *Acacia farnesiana* y *Methylobacterium oryzae* en la tolerancia y bioacumulación de arsénico

- [Doctorado en Biotecnología]. [Ciudad de México]: Universidad Autónoma Metropolitana; 2025.
18. dos Reis JBA, Lorenzi AS, do Vale HMM. Methods used for the study of endophytic fungi: a review on methodologies and challenges, and associated tips. Vol. 204, *Archives of Microbiology*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH; 2022.
19. Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew BB, Beeregowda KN. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. Vol. 7, *Interdisciplinary Toxicology*. Slovak Toxicology Society; 2014. p. 60–72.
20. Mérillon JM, Ramawat KG, Jha S. Diversity, Ecology, and Significance of Fungal Endophytes. In: Jha S, editor. *Endophytes and Secondary Metabolites* [Internet]. West Bengal, India: Springer; 2019. p. 78–80. Available from: <http://www.springer.com/series/13872>
21. Prajapati J, Goswami D, Rawal RM. Endophytic fungi: A treasure trove of novel anticancer compounds. *Current Research in Pharmacology and Drug Discovery*. 2021;2(100050):1–34.