

Plantas remediadoras: Una alternativa natural de descontaminación

La contaminación de los suelos por metales pesados se ha convertido en una problemática ambiental alarmante. Sin embargo, existen alternativas naturales para solucionarlo. Uno de estos es la fitorremediación el cual, permite la transformación de estos contaminantes a compuestos menos nocivos para el ambiente. Esto demuestra que las plantas no solo nos proporcionan oxígeno, regulan temperatura, conservan la biodiversidad, controlan la erosión del suelo, entre otros, sino que también pueden ayudar a solucionar problemas medioambientales causados por las acciones humanas.

Palabras clave:
Contaminación,
Fitorremediación,
Metales pesados, Suelo,
Tabaco

WILLIAM ALBERTO SÁNCHEZ-CIFUENTES*, MIGUEL ÁNGEL HERRERA-ALAMILLO Y LUIS CARLOS RODRÍGUEZ-ZAPATA

Unidad de Biotecnología, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43, No. 130 x 32 y 34, Col. Chuburná de Hidalgo, 97205, Mérida, Yucatán, México.

* WilliamSC.2599@gmail.com

Debido a las acciones del ser humano, en las ciudades se vive una problemática tanto para la salud de las personas como para el medio ambiente, el cual proviene de muchas actividades en las que se hacen uso de sustancias químicas, como los metales pesados, lo cuales, por el mal manejo de los residuos tóxicos, muchas veces pueden llegar a nuestros ecosistemas.

Los metales pesados son elementos químicos con masa atómica mayor a 4.5g/cm³ (FAO 2018), que pueden provenir de dos fuentes; ya sea de una fuente antropogénica, como son las actividades en la industria, la agricultura, excavaciones mineras y el crecimiento del tráfico vehicular. O pueden provenir también de manera natural mediante la alta tasa de meteorización, erosión de la tierra y procesos geológicos como los gases de la erupción de volcanes (Pouresmaieli *et al.* 2022, Wani *et al.* 2023).

En los últimos 50 años, se han liberado al ambiente alrededor de 30,000 toneladas de cromo y 800,000 toneladas de plomo, causantes de contaminación y problemas a la salud (Zhao *et al.* 2022).

También, se ha reportado que África, Asia y América del Sur tienen los niveles más altos de contaminación por metales pesados en comparación con Europa y América del Norte. Siendo las principales fuentes de contaminación por metales pesados procedentes de la minería, la industria manufacturera, derivados del uso de fertilizantes y pesticidas, además de la erosión de las rocas, y vertidos de desechos, responsables de contaminar las masas de agua de ríos y lagos de estos continentes (Zhou *et al.*

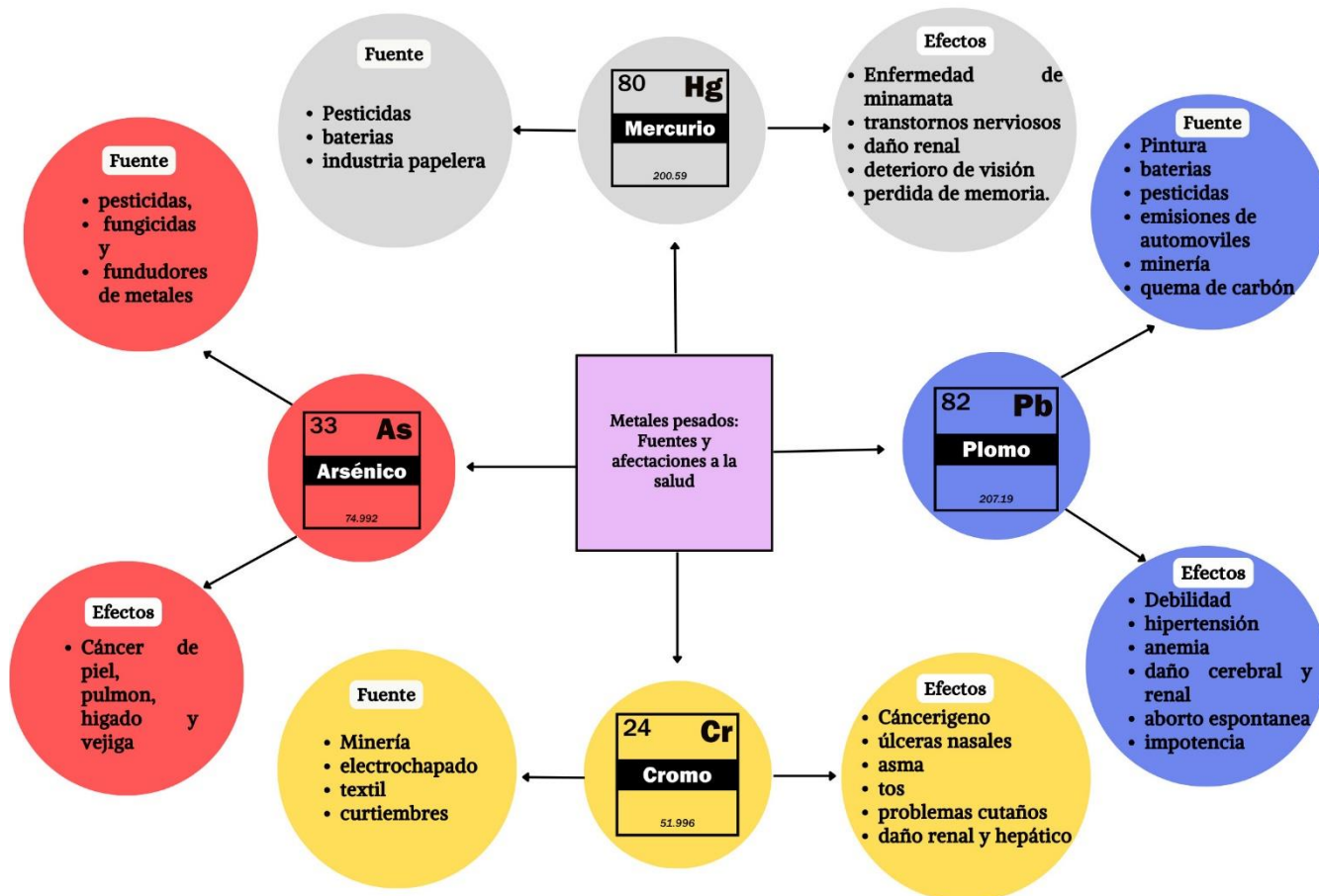


Figura 1. El mercurio, plomo, arsénico y cromo son los cuatro metales pesados más comunes en México. A raíz de las actividades antropogénicas en el país, algunos estados han presentado concentraciones elevadas de ciertos metales, terminando como residuos en nuestros ecosistemas, los cuales son factores de riesgo para la salud humana (Covarrubias *et al.* 2017) (Figura: William Sánchez).

2020). En México los estados como Guerrero, San Luis Potosí, Sonora, y Zacateca, son los que reportan los más altos índices de contaminación por metales pesados, debido a sus actividades antropogénicas (Covarrubias *et al.* 2017).

La presencia de metales pesados en el suelo trae consigo una serie de afectaciones a los seres vivos que interactúan directamente con él, como las plantas y microorganismos, en las que se puede reflejar una disminución en la biomasa e incluso la inhibición del crecimiento (Bonilla-Valencia 2013). En la figura 1 se enlistan los principales metales pesados que se han originado por la actividad humana. De igual modo, se indica la fuente y los efectos en la salud. En México, los cuatro metales pesados que más se han presentado son el mercurio, plomo, arsénico y cromo.

Biorremediación, alternativa amigable con el medio ambiente para almacenar metales pesados:

El término biorremediación hace referencia a la utilización de microorganismos u organismos complejos, los cuales biotransforman los contaminantes presentes en el ambiente, degradándolos y transformándolos a moléculas menos tóxicas o dañinas (Garbisu *et al.* 2003). Dentro de la biorremediación se encuentran diversas técnicas para degradar los contaminantes, entre los cuales podemos mencionar la cianoremediación usando cianobacterias y algas para el agua contaminada. La micorremediación con hongos y biorremediación con bacterias y otros microorganismos, en la cual estos son capaces de sintetizar enzimas que convierten compuestos tóxicos, a productos no o menos tóxicos. Y finalmente, la fitorremediación, que hace uso de plantas capaces

de acumular o transformar contaminantes. (Yaashikaa *et al.* 2022).

De acuerdo con la norma oficial mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente Y Recursos Naturales (NOM-147-SEMARNAT-2004), se establece los criterios para las concentraciones de metales pesados presentes en el suelo, en el que las extensiones de tierra menor o iguales a 1,000 m², se menciona que el arsénico no debe sobrepasar los 22 mg/kg, el mercurio 23 mg/kg, el plomo 400 mg/kg y el cromo 280 mg/kg, por encima de estos valores se considera que los suelos están contaminados. Debido a que, en muchos de los casos, los suelos presentan altas concentraciones de estos contaminantes tóxicos, se ha optado por el uso de tecnologías de remediación con base a parámetros fisicoquímicas, tales como técnicas de contención, confinamiento, descontaminación y anulación, así como los de tratamiento térmico (Volke *et al.* 2002). Estos presentan ciertas desventajas con respecto a costos o movilidad de los contaminantes, por lo cual el uso de tecnologías con base a sistemas biológicos, como el uso de plantas para remediar el suelo, son una alternativa más amigable para el medio ambiente, siendo estos de bajo costo; y los contaminantes son generalmente destruidos. (Volke *et al.* 2002).

¿Cómo trabajan las plantas fitorremediadoras?

Hoy en día es bien conocido muchos de los beneficios que las plantas pueden aportar a los seres vivos, tales como fuente de alimentos, hogar para algunos animales y por qué no, el de ayudarnos a limpiar nuestro aire, mediante la fotosíntesis, en la que las plantas absorben el CO₂, que se producen principalmente por actividades humanas, liberando oxígeno, el cual es vital para nuestra respiración.

Pero las plantas han demostrado ser más que eso, ya que algunas de estas debido a sus características intrínsecas presentan habilidades de retener en ellas contaminantes que se encuentran en el suelo, actuando como fitorremediadoras. Estas plantas tienen la capacidad de tolerar altas concentraciones de metales pesados, debido a que a nivel celular las raíces poseen paredes y membranas celulares muy particulares, que les permite establecer enlaces con los metales pesados; además de contar con vacuolas y enzimas que acumulan y metabolizan a estos contaminantes, siendo excretados fuera de la célula (Ver-

nal-Figueroa, 2014). También, contar con raíces densas y un crecimiento rápido, les permite almacenar más cantidad de metales en ellas (Wani *et al.* 2023).

Para esto, las plantas interactúan con los metales de diversas formas que les ayudan a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de estos contaminantes. Tal como es el caso de la “fitoextracción”; en donde algunas plantas tienen la capacidad de acumular metales pesados en ellas, ya sea en sus raíces, tallos o el follaje (Figura 2).

Por otra parte, la “fitoestabilización” se presenta como otro mecanismo en la cual las plantas logran adsorber, por medio de sus raíces, dichos contaminantes, evitando a que estos se dispersen por el suelo (Figura 2).

Dentro de estos, se encuentra también la “fitovolatilización”, la cual, con el uso de las raíces, las plantas absorben agua mezclada con metales pesados presentes en los suelos y sedimentos, logrando que estos sean metabolizados y transportados hacia las hojas de las plantas, para ser liberados como compuestos volátiles por medio de la transpiración, convirtiendo a estos contaminantes en menos tóxicos (Figura 2).

Por último, la “Fitoestimulación” es un mecanismo donde las plantas excretan de sus raíces, exudados constituidos por azúcares, aminoácidos, compuestos alifáticos y nutrientes, que estimulan la proliferación de microorganismos capaces de transformar y ayudar a metabolizar a las plantas los contaminantes en el suelo. (Figura 2) (Núñez *et al.* 2004, Bonilla-Valencia 2013, Wani *et al.* 2023).

La planta de tabaco, un modelo de fitorremediación

Un ejemplo de una planta capaz de fitorremediar el suelo, es “*Nicotiana tabacum* L.” (Solanaceae) (Nedjimi 2021, Wani *et al.* 2023) o mejor conocida como “tabaco”. Esta planta es famosa debido a que es usada para la producción de cigarros, que ciertamente, estos causan problemas a la salud, sin embargo, se ha demostrado que esta ayuda a secuestrar diversos metales pesados, debido a que es capaz de tolerar concentraciones altas de estos contaminantes como el cadmio, plomo y el mercurio haciendo uso de mecanismos como fitoestabilización y fitovolatilización.

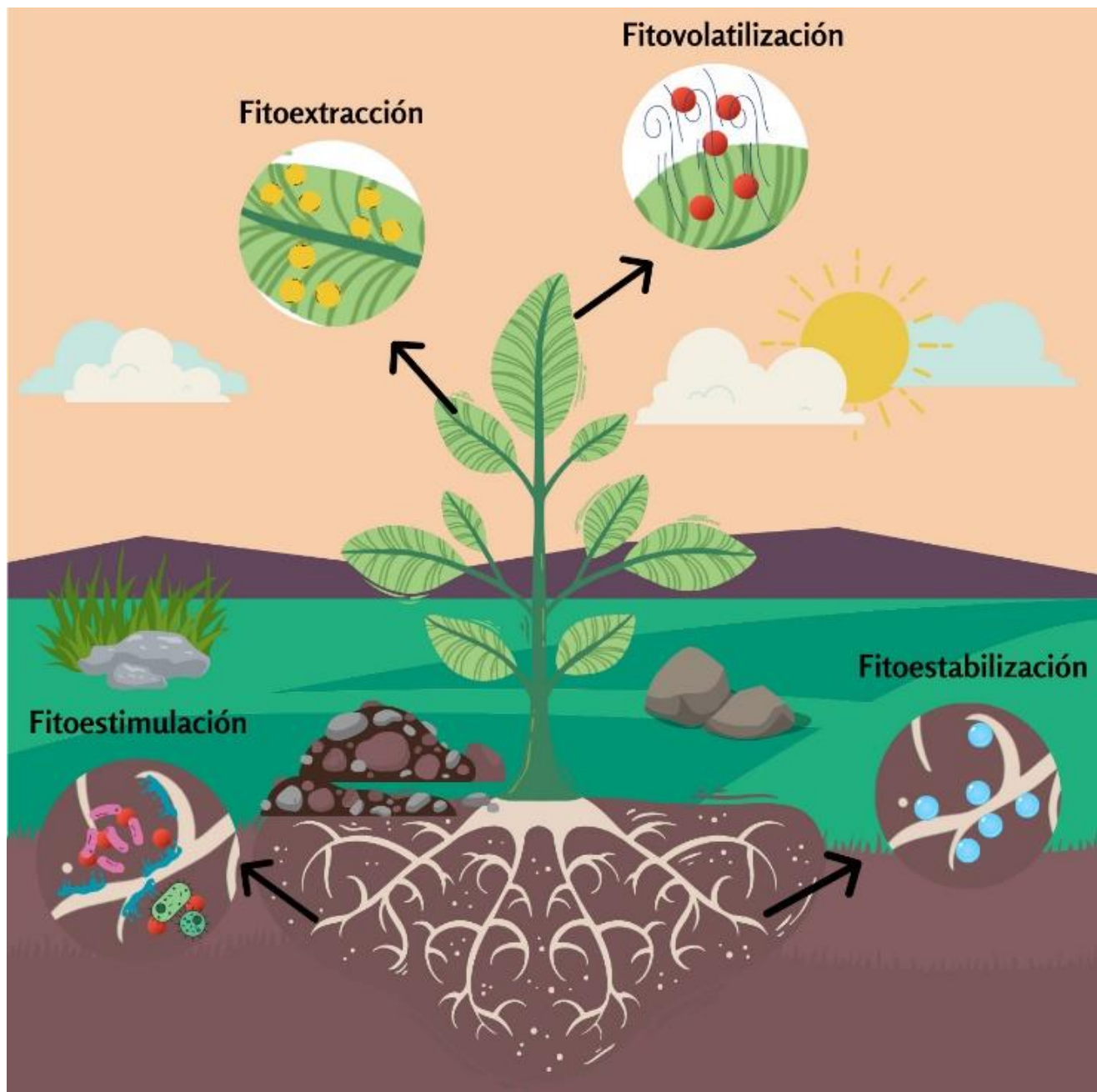


Figura 2. Principales mecanismos de fitorremediación de las plantas tratando metales pesados. Las plantas acumuladoras han desarrollado diversas interacciones con los metales pesados, lo que permite que estas almacenen o biotransformen a los contaminantes, regresando a las condiciones óptimas del suelo afectado. (Figura: William Sánchez).

zación almacenando y transformando metales pesados a compuestos menos tóxicos. Teniendo así una perspectiva más positiva sobre esta planta y los usos alternos en las que se puede implementar.

Actualmente en el laboratorio de fisiología molecular y transformación genética de plantas del CICY, se están generando líneas de tabaco resistentes y/o

tolerantes a diferentes tipos de estreses abióticos. Estas plantas transformadas o genéticamente modificadas, pueden ser una nueva alternativa para mejorar la eficiencia de las plantas fitorremediadoras, pudiendo almacenar o metabolizar grandes concentraciones de metales pesados en el suelo.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT) de México, a partir del proyecto con clave: CF-2023-G-636.

Referencias

- Bernal-Figueroa A. 2014.** Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. Carrera 2ª Este No. 64-169.
- Bonilla-Valencia S. 2013.** Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación. Tesis previa a la obtención del Título de ingeniero ambiental. Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Campus sur.
- Covarrubias S. y Peña J. 2017.** Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33 (Especial Biotecnología e ingeniería ambiental): 7-21.
- FAO [Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura]. 2018.** What is soil pollution?. In: Soil pollution a hidden reality. pp. 1-28. Food and agriculture organization of the United Nations.
- Garbisu C. y Alkorta I. 2003.** Basic concept son heavy metal soil biorremediator. The *European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection* 3: 58-66.
- Nedjimi B. 2021.** Phytoremediation: a sustainable environmental technology for heavy metals decontamination. *SN Applied Sciences* 3: 286. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04301-4>
- Núñez R., Meas Y., Ortega R. y Olguín E. 2004.** Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia-Academia Mexicana de Ciencias* 55: 69-83.
- Pouresmaieli M., Ataei M., Forouzandeh P., Azizollahi P. y Mahmoudifard M. 2022.** Recent progres on sustainable phytoremediation of heavy metal from soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 10(5): 108482–108482. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108482>
- Secretaría de gobernación. 2007.** Nom-147-SEMARNAT-2004: Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Estados Unidos Mexicanos.
- Volke T. y Velasco J. 2002.** Tecnologías de remediación de suelos contaminados. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). 64 pp.
- Wani Z., Ahmad Z., Asgher M., Bhat A., ... y Anjum N. 2023.** Phytoremediation of potentially toxic elements: Role, Status and concerns. *Plantas* 12(3): 429-429. <https://doi.org/10.3390/plants12030429>
- Yaashikaa P.R., Senthil P., Jeevanantham S. y Saravanan R. 2022.** A review on bioremediation approach for heavy metal detoxification accumulation in plants. *Environmental Pollution* 301: 0269-7491. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119035>
- Zhao H., Wu Y., Lan X., Yang Y. Wu X., Du L. 2022.** Comprehensive assessment of harmful heavy metals in contaminated soil in order to score pollution level. *Scientific reports.* 12:3553. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07602-9>
- Zhou Q., Yang N., Li Y., Ren B., ... y Yao X. 2020.** Total concentrations and sources of heavy metal pollution in global river and lake water bodies from 1972 to 2017. *Global Ecology and Conservation* 22. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00925>

Desde el Herbario CICY, 16: 224-229 (31-octubre-2024), es una publicación semanal editada por el Herbario CICY del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., con oficinas en Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Tel. 52 (999) 942-8330 Ext. 110, www.cicy.mx/Sitios/Desde_Herbario/, webmas@cicy.mx. Editores responsables: Rodrigo Duno de Stefano, Patricia Rivera Pérez y Lilia Lorena Can Itzá. Reserva de Derechos al Título Exclusivo No. 04-2016-041413195700-203, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN: 2395-8790. Responsable de la publicación: José Fernely Aguilar Cruz, Calle 43 x 32 y 34 No. 130, Col. Chuburná de Hidalgo, C.P. 97205, Mérida, Yucatán, México. Fecha de última modificación: 31 de octubre de 2024. Las opiniones expuestas por los autores no necesariamente expresan la postura del editor de la publicación. De la misma manera, la responsabilidad sobre la veracidad y la precisión de los contenidos, le corresponde totalmente a los autores de los ensayos.