

Recibido 12 de octubre de 2022
Aceptado 30 de diciembre de 2022
www.unipaz.edu.co

Estudio de la Eficiencia de la Fitorremediación empleando *Helianthus Annuus* para la Absorción de Metales Pesados en Suelos Contaminados

Study of the Efficiency of Phytoremediation using *Helianthus Annuus* for the Absorption of Heavy Metals in Polluted Soils

Orlando Andrés Amado Marín,^a Martha Isabel Rubio Salas,^{†b}

Resumen: Este estudio se realizó con la finalidad de evaluar la eficiencia de la fitorremediación a través de una investigación cualitativa y correlacional comparando los estudios realizados por diferentes autores que utilizaron el *Helianthus Annuus* como herramienta biotecnológica para la absorción de metales pesados en suelos contaminados. El *Helianthus Annuus* se considera una planta hiperacumuladora por su capacidad de crecer en suelos con grandes concentraciones de metales pesados y extraer estos metales del suelo a través de sus raíces y concentrarlos hasta niveles extremadamente altos en sus tejidos. Se realizó el análisis de los factores de bioconcentración (FBC) y traslocación (FT), los cuales se usan para evaluar el potencial de fitorremediación de las plantas y se espera que su valor sea mayor a uno. También se evidenció como la adición de enmiendas orgánicas y agentes quelantes potencian el desarrollo de la planta, la tolerancia del a los metales pesados y mejorar eficazmente la capacidad del *Helianthus Annuus* para absorber y **transportar dichos contaminantes en diversas concentraciones.**

Palabras claves: fitorremediación, *Helianthus Annuus*, metales pesados, suelos.

Abstract: This study was carried out in order to evaluate the efficiency of phytoremediation through a qualitative and correlational investigation comparing the studies carried out by different authors that used *Helianthus Annuus* as a biotechnological tool for the absorption of heavy metals in contaminated soils. *Helianthus Annuus* is considered a hyperaccumulating plant for its ability to grow in soils with high concentrations of heavy metals and extract these metals from the soil through its roots and concentrate them to extremely high levels in its tissues. Bioconcentration (BCF) and translocation (FT) factors were analyzed, which are used to evaluate the phytoremediation potential of plants and its value is expected to be greater than one. It was also evidenced how the addition of organic amendments and chelating agents enhance plant development, tolerance to heavy metals and effectively improve the ability of *Helianthus Annuus* to absorb and transport said contaminants in various concentrations.

Key words: phytoremediation, *Helianthus Annuus*, heavy metals, soils.

a. Estudiante Especialización Tecnológica en Biocombustibles Líquidos.
b. Estudiante Especialización Tecnológica en Biocombustibles Líquidos.
c. Estudiante Especialización Tecnológica en Biocombustibles Líquidos.
d. Docente Escuela de Ingeniería Agroindustrial
e. Docente Escuela de Ingeniería Agroindustrial
† marcela.duarte@unipaz.edu.co

INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. La pérdida de calidad del aire, del recurso hídrico y de suelos disponibles para actividades agrícolas se ha incrementado exponencialmente (Reyes, *et al*, 2016, p. 66). Reyes, *et al.*, especifica que la contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública. Además, los metales pesados guardan una relación directa con los riesgos por contaminación de los suelos, toxicidad en las plantas y los efectos negativos sobre la calidad de los recursos naturales y el ambiente, peligros dependientes de diversos aspectos como son la toxicidad específica del metal, bioacumulación, persistencia y no biodegradabilidad (Martínez, 2017, p. 20-32).

Diversos estudios han demostrado la degradación de suelos por Pb y Cd, debido al empobrecimiento de sus nutrientes lo cual dificulta la actividad microbiana, afectando negativamente a los cultivos. Aunque existen diversos métodos para el tratamiento de estos suelos, muchas veces las interacciones de estos metales con otros componentes dificultan su limpieza haciendo el tratamiento más costoso. Por el contrario, la fitorremediación es una tecnología ecológica y rentable, que ha surgido como una alternativa a los métodos convencionales para la recuperación de metales pesados del medio ambiente (Lothe, 2016, p. 63-70).

El término fitorremediación hace referencia a una serie de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados, como aguas, suelos, e incluso aire. Es un término relativamente nuevo, acuñado en 1991. Se compone de dos palabras, fito, ta, que en griego significa planta o vegetal, y remediar (del latín *remediare*), que significa poner remedio al daño, o corregir o enmendar algo. Fitorremediación significa remediar un daño por medio de plantas o vegetales (Núñez, 2004, p. 69-83).

De manera más completa, la fitorremediación puede definirse como una tecnología sustentable que se basa en

el uso de plantas para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua, y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a su sistema de raíz que conducen a la reducción, mineralización, degradación, volatilización y estabilización de los diversos tipos de contaminantes (Núñez, 2004, p. 69-83). Existen diversos métodos fitorremediadores que se aplican para recuperar áreas acuáticas o terrestres, contaminadas. En la Tabla 1 se encuentran descritos estos métodos.

Tabla 1. Métodos de fitorremediación

Método	Descripción
Fitoextracción o fitoacumulación	En esta estrategia se explota la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje, las cuales pueden ser fácilmente cosechadas. Los contaminantes extraídos son principalmente metales pesados, aunque también puede extraerse cierto tipo de contaminantes orgánicos y elementos e isótopos radiactivos. Generalmente, los sistemas de fitoextracción se implementan para extraer metales de suelos contaminados, por medio de plantas conocidas como metalofitas, es decir acumuladoras de metales; sin embargo, también pueden implementarse para tratar aguas residuales.
Fitovolatilización	En este caso, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes.

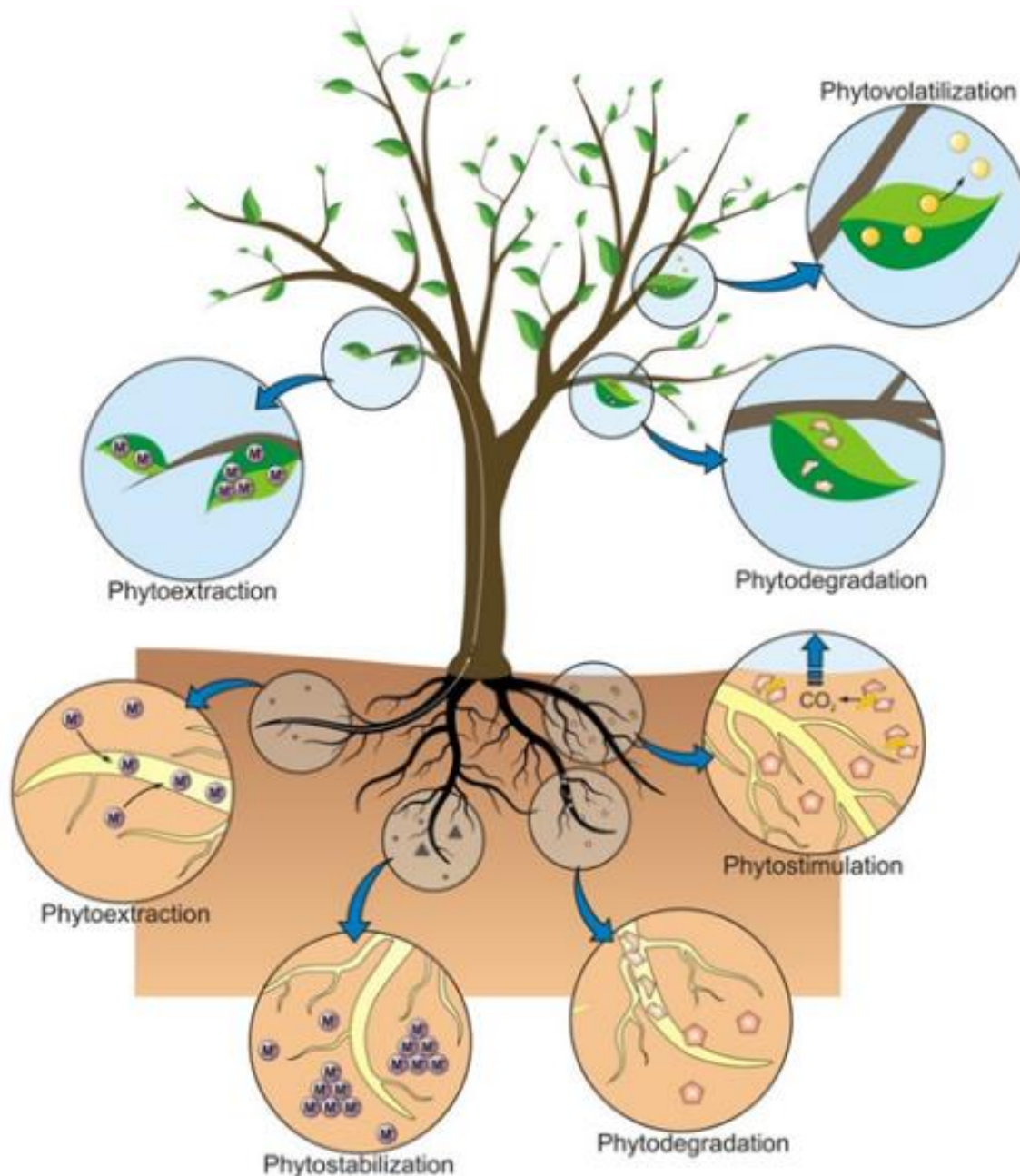
Método	Descripción
Fitodegradación	Se basa en el uso de plantas para degradar o transformar en sustancias menos tóxicas diversos tipos de contaminantes orgánicos como hidrocarburos aromáticos polinucleares, hidrocarburos totales del petróleo, plaguicidas (herbicidas, insecticidas y fungicidas), compuestos clorados, explosivos y surfactantes (detergentes). A través de reacciones enzimáticas que llevan a cabo plantas y microorganismos en la rizosfera, es decir, la zona del suelo estrechamente asociada con las raíces de las plantas, dichos contaminantes son parcial o completamente degradados o transformados. De esta manera son asimilados por las plantas y secuestrados en sus vacuolas o fijados a estructuras celulares insolubles, como la lignina.
Fitoimmobilización	Provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz-suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de adsorción o precipitación.
Fitoestabilización	Este tipo de estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema de raíz, para reducir la biodisponibilidad de metales y otros contaminantes en el ambiente por medio de mecanismos de secuestro, lignificación o humidificación. Las plantas ejercen un control hidráulico en el área contaminada, es decir, actúan como una bomba solar que succiona humedad de los suelos debido a sus altas tasas de evapotranspiración. Puesto que este proceso mantiene también una humedad constante en la zona de la rizosfera, se presentan las condiciones adecuadas para la inmovilización de los metales. Esto ocurre a través de reacciones químicas como la precipitación o formación de complejos insolubles o por mecanismos físicos, como la adsorción. En esta zona, los metales se fijan fuertemente en las raíces de las plantas o en la materia orgánica de los suelos, limitando así su biodisponibilidad y su migración vertical hacia los mantos freáticos.
Fitoestimulación	En este caso, los exudados de las raíces de las plantas estimulan el crecimiento de microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos. Como parte de sus actividades metabólicas y fisiológicas, las plantas liberan azúcares simples, aminoácidos, compuestos alifáticos y aromáticos, nutrientes, enzimas y oxígeno, y los transportan desde sus partes superiores hasta sus raíces, favoreciendo el desarrollo de comunidades microbianas en el suelo circundante; particularmente hongos y bacterias, cuyas actividades metabólicas causan la mineralización de los contaminantes.
Rizofiltración	Se basa exclusivamente en hacer crecer, en cultivos hidropónicos, raíces de plantas terrestres con alta tasa de crecimiento y área superficial para absorber, concentrar y precipitar metales pesados de aguas residuales contaminadas. Como puede apreciarse, las estrategias de fitorremediación hacen referencia a los mecanismos predominantes realizados por las propias plantas, pero también, en algunos casos, indican el papel que tienen las comunidades microbianas durante el proceso de remediación. Así, se hace evidente que la fitorremediación es un proceso complejo que involucra la participación de la comunidad microbiana asociada a su sistema de raíz.

Fuente: Elaboración propia, con base en Velásquez Arias y Núñez López .

Métodos de fitorremediación

Cada una de las estrategias tiene condiciones particulares, determinadas principalmente por el tipo de contaminante y el sustrato a tratar: suelos, sedimentos o agua. En forma general (Fig. 1), las medidas correctivas para contaminantes orgánicos incluyen la fitodegradación (o fitotransformación) y la fitoestimulación, mientras que, para los metales pesados, incluidos los metaloides, radionúclidos y ciertos tipos de contaminantes orgánicos, se aplican la fitovolatilización, la fitoestabilización, la fitoextracción y la rizofiltración (Nuñez, 2004, p. 69-83).

Figura 1. Representación esquemática de estrategias de fitorremediación (Favas, 2017, p. 411).



Ventajas y desventajas de la fitorremediación

El empleo de la técnica de fitorremediación para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados presenta numerosas ventajas con respecto a la utilización de las tecnologías convencionales. Sin embargo, no está exenta de las desventajas a la hora de su implementación (Vigil, 2017, p. 411). En la Tabla 2 se contemplan algunas ventajas y desventajas del uso de la técnica de fitorremediación.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de la fitorremediación.

Ventajas	Desventajas
Goza de una dimensión estética y es ampliamente aceptada por el público general	Los largos plazos previstos para la descontaminación.
Sus costos de instalación y mantenimiento son muy inferiores a los de las técnicas convencionales.	La incapacidad de la mayoría de especies de plantas para la absorción de más de uno o dos metales.
Permite el uso agrícola tras la remediación.	Precisa el aporte de inputs económicos de forma periódica para las labores de plantación y cosecha.
Mediante el establecimiento de una capa vegetal, la fitorremediación permite mejorar las capas edáficas del suelo al incrementar la materia orgánica del suelo y la actividad microbiana, reducir la erosión y proteger el horizonte más superficial de la luz directa.	Existencia de riesgo de que los metales se incorporen a la cadena trófica mediante el pastoreo de animales si no se evita su acceso a la parcela en remediación.
En determinadas condiciones, al tiempo que se recupera el suelo se generan retornos económicos mediante la venta de material vegetal cosechado o de los metales captados por la planta.	La incapacidad de las plantas de extraer aquellos metales alejados de la rizosfera.
La fitorremediación genera menos residuos secundarios	La gestión de la biomasa enriquecida en metales pesados después de la recolección.
La fitorremediación es método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos	No todas las plantas son resistentes a crecer en presencia de contaminantes

Fuente: Elaboración propia, con base en Vigil Berrocal y Velásquez Arias.

Uso de *Helianthus Annuus* para fitorremediación

El éxito de los tratamientos de fitorremediación depende de identificar las especies vegetales que toleren estrés, acumulen los metales pesados y produzcan cantidades grandes de biomasa. Sin embargo, existen factores fisicoquímicos que son importantes para garantizar el éxito de la fitorremediación, como: la solubilidad del metal en la solución del suelo, el tipo de suelo (textura), la humedad, el pH, el potencial redox, la capacidad de intercambio catiónico y los procesos bioquímicos (García, 2018, p. 93-111). Respecto a la especie *Helianthus annuus* (girasol) existen muchos estudios sobre la conveniencia de usarla en el proceso de fitorremediación, ya que pueden estabilizar a los metales almacenándolos en los tejidos foliares y las raíces (Munive, 2020, p. 178). Por su alta capacidad radicular puede extraer del 10 al 25 % de los metales del suelo, ya que estas plantas no son fácilmente afectadas por los contaminantes. Esta especie absorbe metales pesados en grandes cantidades, por lo que, se considera una planta hiperacumuladora para cadmio (Cd), zinc (Zn), plomo (Pb), cromo trivalente (Cr (III)) y hexavalente (Cr (VI)) (García, 2018, p. 96).

El objetivo de esta investigación de carácter cualitativo y correlacional es realizar una comparación de los estudios realizados por varios autores sobre la eficiencia de la fitorremediación empleando *Helianthus Annuus* para la absorción de metales pesados en suelos contaminados y al mismo tiempo determinar qué factores ayudan a complementar este tipo de biorremediación.

METODOLOGÍA

Factores de bioacumulación (FBC) y translocación (FT).

El factor de bioacumulación (FBC) y el factor de translocación (FT) se han utilizado ampliamente para evaluar las translocaciones de metales pesados en los tejidos de la planta en crecimiento (Alaboudi, p. 2018, p. 123-127).

El valor de FBC es la eficacia de la capacidad de las plantas para acumular metales en sus tejidos (raíces, tallos y hojas). El FBC se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Mahardika, 2018, p. 1-6):

$$FBC = \frac{\text{Concentración del metal en la planta } \left(\frac{mg}{L}\right)}{\text{Concentración del metal en el suelo } \left(\frac{mg}{L}\right)}$$

El valor de FT es la translocación del metal presente en el suelo a una parte particular de la planta. El FT se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Mahardika, 2018, p. 1-6):

$$FT = \frac{\text{Concentración del metal en brotes de la planta } \left(\frac{mg}{L}\right)}{\text{Concentración del metal en la raíz } \left(\frac{mg}{L}\right)}$$

Comparación estudios

En el Cuadro 1 se realiza una comparación de los resultados obtenidos por diferentes autores en el uso de la fitorremediación para la absorción de suelos contaminados con diferentes metales pesados.

Cuadro 1. Eficiencia de la técnica de fitorremediación empleando *Helianthus Annuus*.

Características	Munive Cerrón, <i>et al</i>	Alaboudi, Ahmed y Brodie	Chauhan y Mathur	Chen, Yang, y Wang
Uso del suelo	Agrícola	Jardín	Industrial	Agrícola
Metales pesados	Plomo y Cadmio	Plomo y Cadmio	Pb, Cd, Zn, Fe, Cu y As	Uranio y Cadmio
Método de fitorremediación	Fitoextracción	Fitoextracción	Fitoextracción	Fitoextracción
Tipo de enmienda	Compost de residuos agroindustriales de <i>Stevia rebaudiana</i> y vermicompost	Soluciones nutritivas de Hoagland	--	Agentes quelantes: ácido cítrico (CA), ácido oxálico (OA) y disuccinato de etilendiamina (EDDS). Fertilizante de N, P y K, usando (NH ₄) ₂ SO ₄ , KH ₂ PO ₄ and K ₂ SO ₄
Tiempo de cosecha	90 días	8 semanas	45 días	60 días
Concentración de metales pesados en los suelos estudiados	Suelo de Montaro: 208 mg/kg Pb 6.76 mg/kg Cd Suelo de Muqui: 1174 mg/kg Pb 8.26 mg/kg Cd	26.3 ± 3.8 mg/kg Pb Cadmio no detectado	42.09-185.6 mg/kg Pb 21.86-95.46 mg/kg Cd 46.21-230.93 mg/kg Zn 11.84-76.81 mg/kg Fe 18.55-197.81 mg/kg Cu 0.654-3.9 mg/kg As	3.48 mg/kg U 0.29 mg/kg Cd
Concentración de metales pesados agregados	--	0, 10, 20, 40, 80, 100 y 200 mg/kg Pb y Cd	--	15 mg/kg U 15 mg/kg Cd
Factor de Bioconcentración (FBC)	Cd (0.15 – 1.20) Pb (0.01-0.08)	Cd (0.35 – 1.20) Pb (0.003-0.70)	Pb (0.664-0.853) Cd (0.472-0.659) Zn (0.462-0.721) Fe (0.53-0.768) Cu (0.468-0.663) As (0.446-0.693)	Brotes: U (0.013-0.082) Cd (1.43-4.69) Raíces: U (1.13-2.99) Cd (4.18-7.22)
Factor de Translocación (FT)	Cd (0.32 – 2.29) Pb (0.22-1.19)	Cd (0.40 – 1.20) Pb (0.35-0.90)	--	U (0.011-0.033) Cd (0.33-0.65)

Fuente: Elaboración propia con base en los autores referenciados.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación (FT) se usan para evaluar el potencial de fitorremediación de las plantas. Un valor de FBC superior a uno indica que una planta es un hiperacumulador, mientras que un valor inferior a uno es indicativo de un excluidor. El valor de FT determina la eficiencia de la planta en la translocación de metales pesados de la raíz al brote. Una planta se considera eficiente en la translocación de metales de la raíz al brote cuando la FT es mayor que uno; esto se debe a un eficiente sistema de transporte de metales. Sin embargo, valores de FT inferiores a uno indican una transferencia de metal ineficaz, lo que sugiere que este tipo de plantas acumula metales en las raíces y rizomas más que en los brotes o las hojas (Usman *et al*, 2019, p – 11).

En el estudio de Munive Cerrón, *et al*, los valores de FBC se encuentra por debajo de uno, y fueron más bajos para el plomo en comparación con el cadmio. Cabe resaltar que solo un tratamiento de este estudio alcanzó un FBC superior a uno, que se explicaría con una mayor biodisponibilidad de cadmio. Respecto al FT muestra que las plantas de girasol tienen cierta habilidad de extraer concentraciones de plomo y de cadmio del suelo. De acuerdo con este estudio, el comportamiento del girasol se expresó como fitoestabilizador de metales, manteniéndose un orden potencial de acumulación decreciente $Pb > Cd$. Para ambas enmiendas aplicadas, la raíz fue el órgano que más absorbió los contaminantes, pero a diferencia del plomo, el cadmio tuvo más afinidad con los fertilizantes disueltos y en menor proporción con las enmiendas, debido a un incremento de su disponibilidad iónica en el fertilizante disuelto y a su incorporación por la planta (Munive, 2020, p. 177-186).

En el caso del estudio de Alaboudi, Ahmed y Brodie, los datos obtenidos para el FBC, el *Helianthus annuus* acumula mucha cantidad de Pb y Cd en su

raíz en comparación con los brotes. Sin embargo, *Helianthus annuus* acumula una gran cantidad de Cd en sus brotes en comparación con Pb. Por tanto, los resultados obtenidos mostraron que *Helianthus annuus* puede acumular una gran cantidad de Cd en sus tejidos en comparación con el Pb. Por este motivo, la planta estudiada puede utilizarse eficazmente para la remediación de suelos contaminados con Cd. Para el FT, el *Helianthus annuus* es más favorable para la captación de Cd en comparación con Pb; en consecuencia, la cantidad transferida de Cd a los tejidos vegetales fue mucho mayor que la de Pb (Alaboudi *et al*, 2018, p. 123-127).

El estudio de Chauhan y Mathur, se encontró que el *Helianthus annuus* tiene un gran potencial para la acumulación de metales pesados. La razón de esta alta acumulación de metales puede atribuirse parcialmente a un aumento en la tolerancia a los metales, como lo demuestra el contenido relativamente alto de clorofila y el aumento del contenido de prolina, polifenol y actividad enzimática antioxidante. También exhibe una notable capacidad para disminuir la concentración de metales pesados y otros contaminantes directamente de los efluentes industriales (Chauhan, 2020, pp. 29954-29966).

El estudio de Chen, Yang, y Wang, los agentes quelantes tienen la capacidad de aumentar la translocación y eliminar la eficiencia de los metales pesados en las plantas probadas. Todos los factores de bioconcentración de U fueron extremadamente bajos en comparación con el factor de bioconcentración de Cd, lo que sugiere que la absorción de U por los girasoles del suelo fue más difícil que la absorción de Cd. La aplicación de CA y EDDS tuvo un efecto significativamente positivo en la translocación de U y Cd del suelo a brotes/raíces. Una posible razón es que la adición de CA obstaculizó la absorción de U por las partículas del suelo, mejorando así la biodisponibilidad de U en el sistema suelo-planta y mejoró la capacidad de los girasoles para transferir U de las raíces a los brotes.

El tratamiento con EDDS aumentó significativamente el factor de translocación de Cd en las plantas probadas en comparación con CA y tratamientos de OA. Una posible razón de esto es la selectividad mutua de las plantas, tipo de agentes quelantes y tipo de metal pesado, iones involucrados; como tal, varios agente quelantes pueden tener diferentes efectos sobre la translocación de metales pesados de los brotes a las raíces (Chen, 2020, p. 1-9).

CONCLUSIONES

La fitorremediación es una técnica biotecnológica que se ofrece como una alternativa adecuada ante los métodos tradicionales para la remediación de suelos contaminados con metales pesados, metaloides, elementos químicos radiactivos, compuestos orgánicos e inorgánicos. Dichos métodos tienen la desventaja de ser muy costosos y en algunos casos, implican el movimiento de materiales contaminados a los sitios de tratamiento, lo que agrega riesgos de contaminación secundaria. La fitorremediación es un método que se puede aplicar in situ y esto lleva a que es menos perjudicial para el medio ambiente y más económica.

El *Helianthus annuus* es una planta reconocida como fitorremediadora, porque absorbe metales pesados en grandes cantidades, por lo que se le considera como planta hiperacumuladora de Cd, Pb y elementos radiactivos. Tiene la habilidad de fitoextraer y acumular metales pesados en sus tejidos, además de su comportamiento estabilizador o exclusor de dichos metales en suelo.

Las enmiendas orgánicas potencian el desarrollo y la tolerancia de los girasoles a los metales pesados. La adición de agentes quelantes puede mejorar eficazmente la capacidad de los girasoles para absorber y transportar metales pesados en diversas concentraciones.

REFERENCIAS

ALABOUDI, Khalid A.; AHMED, Berhan y BRODIE, Graham. Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. En: *Annals of agricultural sciences*. 2018, vol. 63, nro. 1, pp. 123-127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aosas.2018.05.007>

CHAUHAN, Priti y MATHUR, Jyoti. Phytoremediation efficiency of *Helianthus annuus* L. for reclamation of heavy metals-contaminated industrial soil. En: *Environmental Science and Pollution Research*. 2020, vol. 27, pp. 29954-29966. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09233-x>

CHEN, Li; YANG, Jin-yan y WANG, Dan. Phytoremediation of uranium and cadmium contaminated soils by sunflower (*Helianthus annuus* L.) enhanced with biodegradable chelating agents. En: *Journal of Cleaner Production*. 2020, vol. 263, pp. 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121491>

FAVAS, Paulo J.C., et al. Phytoremediation of Soils Contaminated with Metals and Metalloids at Mining Áreas: Potential of Native Flora. En: *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. 2014, vol. 3, pp. 485-516. DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/57469>

GARCÍA ÁVILA, Carolina; VILLADA SIERRA, Laura Andrea y ROBAYO GÓMEZ, Julian. Evaluación de la adaptación de *Helianthus annuus* en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo. En: *Cuaderno Activa*. 2018, vol. 10, pp. 93-111. ISSN: 2027-8101

LOTHE, Anjali G.; HANSDA, Arti y KUMAR, Vipin. Phytoremediation of Copper-Contaminated Soil Using *Helianthus annuus*, *Brassica nigra*, and *Lycopersicon esculentum* Mill.: A Pot Scale Study. En: *Environmental Quality Management*. 2016, vol. 25, nro. 4, pp. 63-70. DOI: [10.1002/tqem.21463](https://doi.org/10.1002/tqem.21463)

MAHARDIKA, G.; RINANTI, A. y FACHRUL, M. F. Phytoremediation of heavy metal copper (Cu²⁺) by sunflower (*Helianthus annuus* L.). En: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. pp. 1-6. DOI: 10.1088/1755-1315/106/1/012120

MARTÍNEZ, Zoraya, et al. Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Colombia. En: Temas agrarios. 2017, vol. 22, nro. 2, pp. 20-32.

MUNIVE CERRÓN, Rubén, et al. Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. En: Scientia Agropecuaria. 2020, vol. 11, nro. 2, pp. 177-186. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2020.02.04

NÚÑEZ LÓPEZ, Roberto Aurelio, et al. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. En: Revista Ciencia. 2004. pp. 69-83.

REYES, Yulieth, et al. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. En: Ingeniería, Investigación y Desarrollo: I2+ D. 2016, vol. 16, nro. 2, pp. 66-77. ISSN Online 2422-4324