



Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica

Phytoremediation as an alternative to remove heavy metals from soil: A theoretical review

Jefferson J. Velásquez García¹, Hugo M. Cobeña Navarrete²

¹ Universidad Técnica de Manabí, Instituto de Posgrado, Maestría en Química Ambiental, Portoviejo, Manabí, Ecuador. jvelasquez4995@utm.edu.ec. ORCID: 0000-0001-6827-0697

² Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Departamento de Ingeniería Ambiental, Manabí, Ecuador. hugoc28@espam.edu.ec. ORCID: 0000-0001-6413-4321

Resumen

Actualmente en el mundo, existen problemas de contaminación de suelos, ocasionados principalmente por acciones antropogénicas, generando un impacto ambiental en los recursos naturales. La presente investigación tiene como finalidad buscar una reducción o mitigación en el medio ambiente, por tanto, su objetivo es determinar cuáles son las especies vegetales con mayor capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con metales pesados. Mediante una revisión de la literatura que se encuentra disponible y actualizada en los últimos 10 años, se obtuvo como resultados principales una conceptualización clara de la fitorremediación, las técnicas que se emplean, principales plantas nativas con capacidad de bioacumulación de plomo y finalmente las ventajas y desventajas de esta técnica. Se concluye que es una técnica que relaciona a la flora nativa con la toxicidad de los metales, debido a que estas se adaptan por su versatilidad con el entorno, siendo el maíz aquella planta con mayor capacidad de remoción de 76.22 mg/kg de plomo y se considera que esta técnica es poco perjudicial con el medio ambiente. Sin embargo, los resultados sólo se evidencian a largo plazo.

Palabras clave: fitorremediación; plomo; metales pesados; contaminación de suelos.

Abstract

Currently, there are soil contamination problems in the world caused mainly by anthropogenic actions, generating an environmental impact on natural resources. Therefore, the present research aims to determine the plant species and seek a reduction or mitigation in the environment with the most remarkable phytoremediation capacity of soils contaminated with heavy metals. Through a review of available and updated literature from the last ten years, the main results were a conceptualization of phytoremediation, the techniques used, the primary native plants with the capacity to bioaccumulate lead, and the advantages and disadvantages of this technique. We conclude that it is a technique that relates the native flora with the toxicity of metals because their versatility to adapt to the environment. Corn is the plant with the highest removal capacity at 76.22 mg/kg of lead, and it is considered as a method that is not harmful to the environment. However, results are evident in the long term.

Keywords: phytoremediation; lead; heavy metals; soil contamination.

Introducción

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre y constituye uno de los recursos naturales más importantes ya que es el substrato que sustenta la vida en el planeta (Hudson, 2006). Pese a ello, el suelo se ha visto afectado negativamente como consecuencia de las actividades humanas, principalmente la industrial, acumulándose numerosos compuestos en grandes cantidades y/o en formas solubles, rompiendo el equilibrio natural y causando la contaminación del suelo, acuíferos y, en ocasiones, la introducción de estos elementos en la red trófica. Particularmente importantes en este sentido son los llamados metales pesados (Bautista, 1999).

Los metales pesados son considerados como peligrosos debido a que no pueden degradarse ni destruirse fácilmente, constituyéndose como contaminantes estables y persistentes en el medioambiente, pueden cambiar su estado de oxidación representando cierta movilidad

hacia los seres vivos (Méndez et al., 2016); estos representan un riesgo alto tanto para el medio ambiente, como para la salud humana.

En Ecuador, el incremento de diversas actividades como la minería, ha provocado un aumento de la contaminación por metales pesados, siendo a su vez causantes de graves daños en los sectores del país. El sector agropecuario desempeña un papel crucial en la economía de los habitantes, es la columna vertebral del sistema económico, generador de riqueza y empleo de mano de obra. Cada año su aporte es constante a la producción nacional de alimentos y materias primas para el mercado local, regional e internacional (Ramos et al., 2016).

Ante esta problemática nacen las técnicas de remediación de suelos mediante investigaciones encaminadas a recuperar los suelos contaminados en lugar de destruirlos o simplemente calcinarlos o aislarlos. Muchos métodos fisicoquímicos convencionales utilizados para la remediación son costosos, poco ecológicos y generan subproductos secundarios perjudiciales para el ambiente (Kumari y Singh, 2016), en tanto que las técnicas biológicas son de bajo costo y ecológicas, los resultados se obtienen a largo plazo (Canales, 2021).

Es sumamente importante tener en consideración que el plomo (Pb) es el metal tóxico más extendido y presente en el ambiente. Estudios en mamíferos concluye que afecta al sistema nervioso, al sistema linfático y afecta gravemente a los glóbulos rojos. De ahí su importancia de evitar la contaminación de entornos que puedan afectar directamente al ser humano.

Por lo tanto, la búsqueda de alternativas para el manejo de suelos contaminados es de mucha importancia debido al daño que pueden causar al medio ambiente. Las regulaciones ambientales son cada vez más estrictas y los consumidores son cada vez más sensibles al impacto ambiental del proceso productivo de un determinado producto (Jiménez, 2017).

Según Munive et al. (2018), la aplicación de la técnica de remediación de suelos empleando plantas para degradar contaminantes, puede constituir una alternativa viable para su manejo en lugares donde exista una contaminación por metales pesados, contribuyendo a la sostenibilidad productiva.

De esta manera, la fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo (Delgadillo et al., 2011), y debido al poco conocimiento acerca de las especies que se pueden emplear en nuestro entorno, nace el interés de investigar la literatura existente sobre la utilización de esta técnica.

No obstante, en la actualidad no se dispone de un análisis comparativo de las metodologías sobre fitorremediación de suelos implementadas como un instrumento de consulta y que permita consolidar las ventajas y desventajas de estas técnicas documentadas a la fecha. Los riesgos mínimos que puedan representar para el ambiente, la eficiencia en la remoción de metales demostrada en cada proceso y si supera las limitaciones tecnológicas inherentes que enfrentan los procesos convencionales de remediación, se considera como una herramienta eficaz para facilitar la remediación de sustancias tóxicas persistentes.

Por ello, el interés de la investigación es solventar esa problemática mediante la elaboración de una síntesis documental sobre los estudios desarrollados para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, centrándose en la revisión bibliográfica de métodos y especies de plantas con capacidad para absorber, acumular y degradar compuestos como metales pesados, tales como el plomo en suelos contaminados esto en busca plantear alternativas o ecotecnologías actuales.

De esta manera esta investigación tiene sentido debido a que, existe una necesidad en recopilar y resumir la información conseguida en la base de información de acceso abierto, con la finalidad de determinar cuáles son los principales métodos de fitorremediación existentes y su relación con las especies vegetales usadas para la remediación de suelos contaminados por metales pesados. Se pretende realizar un aporte teórico y actualizado referente a este tema que sirva de apoyo a futuros trabajos de investigación.

El objetivo de este trabajo fue determinar cuáles son las especies vegetales con mayor capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con metales pesados, mediante una revisión de la literatura.

Metodología

Esta investigación es de tipo no experimental con un enfoque explicativo, analítico de tipo descriptivo, en el cual se empleó la recopilación documental y la revisión de la literatura existente entre 2012 a 2021 sobre la aplicación de plantas nativas que se puedan utilizar como mecanismo de fitorremediación del suelo contaminado por presencia de metales pesados, particularmente el plomo.

Durante el proceso, los autores verificarán la literatura recolectada para seleccionar aquellos cuyo contenido sea pertinente a la temática y vinculante a la contaminación mediante metales pesados. Los resultados serán caracterizados, comparados y analizados para identificar las especies vegetales con mayor capacidad fitorremediadora de suelos contaminados.

Resultados

La búsqueda de alternativas para el manejo de suelos contaminados es de mucha importancia, debido al daño que pueden causar al medio ambiente; además conociendo que, las regulaciones ambientales son cada vez más estrictas y los consumidores son cada vez más sensibles al impacto ambiental del proceso productivo de un determinado producto (Jiménez, 2017). En la revisión de la literatura, se determinaron varios conceptos acerca de la fitorremediación los cuales se exponen en la Tabla 1.

Tabla 1

Concepto de fitorremediación de acuerdo con diversos autores

Referencia	Concepto
Delgadillo et al. (2011)	Capacidad de las plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes como metales pesados, radioactivos, compuestos orgánicos que se encuentran en el suelo, agua o aire.
Núñez et al. (2017)	Tecnología sustentable que se basa en el uso de plantas para reducir <i>in situ</i> 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.
Munive et al. (2018)	Es una tecnología emergente basada en plantas superiores y microorganismos asociados que constituye una opción para la remoción <i>in situ</i> o <i>ex situ</i> de contaminantes.
Ferrua y Aimituma (2019)	Uso de plantas para eliminar contaminantes del suelo mediante la acumulación en el tejido vegetal, tal método es una prometedora tecnología de limpieza para una variedad de suelos que contienen metales.
Paredes Campos y Rodríguez Rojas (2020)	Es la técnica que se fundamenta en la capacidad que tienen algunas especies y microorganismos para resistir agentes contaminantes y a la vez extraer, acumular, inmoviliza o transformar dichos contaminantes del suelo y es aplicable tanto en el lugar como fuera las plantas.
Lizcano (2020)	Método por el cual se reduce, elimina o inmoviliza contaminantes nocivos y purifica el suelo mediante la remediación de plantas junto con sus microorganismos rizosféricos asociados.

Estos conceptos establecen a la fitorremediación como una técnica innovadora que emplea las raíces de plantas como medio absorbente y bioacumulador que tienen la capacidad de eliminar residuos tóxicos de entornos contaminados.

Considerando los criterios de Chen et al. (2018), se refiere a metales pesados aquellos que su densidad es igual o mayor a 5 g/cm^3 , estos pueden ser retenidos en el suelo o pueden ser absorbidos por las plantas o cultivos. En adición que el plomo es un elemento altamente tóxico, se puede adsorber sobre materia orgánica o se precipita como otros minerales secundarios.

La revisión de la literatura destaca un conjunto significativo de técnicas aplicadas en la fitorremediación, tal como se describen en la Tabla 2.

Tabla 2

Técnicas de fitorremediación

Nombre	Técnica	Descripción	Limitaciones
Fito extracción	In situ	Uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.	La disponibilidad de metales en partes cosechables sin un adecuado control podría afectar a la cadena trófica.
Fito estabilización	In situ	Uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, alterando su composición ha formas más estables.	No extrae el metal del suelo.
Fito inmovilización	In situ	Uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo.	-
Fito volatilización	In situ	Uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización.	Existe el riesgo de emisiones de metales pesados a la atmosfera.

Fito degradación	In situ	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.	-
Rizo filtración	In situ	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.	-

Fuentes: Álvarez (2019), Gama Retamozo (2019).

De acuerdo con el criterio de Liu et al. (2018), es importante para escoger un método o técnica basarse en la eficacia y en los costos que puede conllevar realizarlo. Así mismo, Álvarez (2019) menciona que para poder mejorar la eficiencia de las técnicas fitorremediadoras en suelo contaminados por metales pesados, es necesario adicionar sustratos o nutrientes que cambien el pH para su enmienda.

Un punto importante para que se lleve este proceso como una técnica exitosa es tener en cuenta los factores de disponibilidad y toxicidad de los compuestos contaminantes, así como de la capacidad de las especies vegetales para removerlos o degradarlos, y de las condiciones ambientales (Mitton et al., 2014). Sin embargo, los resultados de la revisión establecen las principales ventajas y desventajas de emplear esta técnica, las cuales deben ser consideradas al momento de elegir este método de remediación de suelos, y que son detalladas en la Tabla 3.

Considerando los términos de ventajas y desventajas, estudios de Velásquez (2017) reportan que el éxito de la fitorremediación depende, ante todo, de la selección juiciosa de las especies de plantas, su capacidad de sobrevivir, el clima en la región geográfica en un sitio dado es un requisito absoluto; además es necesario que las plantas elegidas para la fitorremediación también tengan tolerancia a concentraciones relevantes del contaminante que se está remediando, capacidad para crecer en suelos pobres, crecimiento rápido y alto, la producción de biomasa y raíces profundas y densas.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de la fitorremediación como mecanismo depuradora de metales pesados en el suelo

Ventajas	Autores	Desventaja	Autores
Mejora las condiciones físicas y químicas del suelo.	Delgadillo et al. (2011); Suárez (2021)	El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o a aguas poco profundas.	Zhou et al.(2015); Shen et al.(2013); Suárez (2021)
Su amplia aplicabilidad y bajo costo la hacen rentable.	Ferrua y Aimituma (2019)	Tiempo de remoción lento, puede tardar de meses o años.	Delgadillo et al. (2011); Lobo (2013); Velásquez (2017)
Simplicidad de Operación.	Galeano, J.(2016); Vargas et al. (2018)	Adecuada para ambientes con bajas concentraciones de contaminantes.	Tariq y Ashraf (2016)
Método apropiado para descontaminar suelos y agua de forma natural, sin la necesidad de adicionar sustancias químicas.	Velásquez (2017)	No todas las plantas son tolerantes o acumulativas, y la tasa de recuperación del área tratada depende de la estación y el clima, no de la efectividad del proceso.	Velásquez (2017)
Eficaz tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.	Velásquez (2017)	No se puede, con un sistema de remediación a base de plantas, evitar completamente el paso de contaminantes a la capa freática (esto solo es posible mediante la eliminación total del suelo).	Suárez (2021)

La Tabla 4 presenta algunas de las plantas nativas que se han empleado por diversos autores como bioacumuladoras en tratamientos de suelos contaminados, exclusivamente con plomo.

Tabla 4

Principales plantas bioacumuladoras empleadas para suelos contaminados de plomo

Plantas	Referencias
<i>Helianthus annuus, L.</i>	Peña (2019); Argomeda y Alfredo (2017)
<i>Allium sativum L.,</i>	Núñez et al. (2017); Kumar et al. (2018)
<i>Aloe vera L.,</i>	
<i>Asparagus racemosus L.,</i>	
<i>Azadirachta indica L.,</i>	
<i>Calotropis gigantean L.,</i>	
<i>Cannabis sativa L.,</i>	
<i>Catharanthus roseus L.,</i>	
<i>Curcuma longa L.,</i>	
<i>Datura stramonium L.</i>	
<i>Eclipta prostrate L.</i>	
<i>Hibiscus sinensis L.</i>	
<i>Lantana camara L.,</i>	
<i>Ocimum tenuiflorum L.</i>	
<i>Rosa rubiginosa L.</i>	
<i>Solanum nigrum L.</i>	
<i>Tagetes patula L.</i>	
<i>Tinospora cordifolia L.</i>	
<i>Withania somnifera</i>	
<i>Zea mays</i>	Argomeda & Alfredo (2017)
<i>Alopecurus magellanicus bracteatus y</i>	Argota et al. (2014); Vargas (2021)
<i>Muhlenbergia angustata (Poaceae)</i>	
<i>Agrostis canina</i>	Suárez (2021)
<i>Medicago sativa</i>	
<i>Phaseolus vulgaris</i>	

Por otro lado, Coyago y Bonilla (2019) indican que el proceso de fitorremediación no depende únicamente del tipo de planta utilizada, sino también del tiempo, cuanto más contacto tenga el metal pesado con el suelo puede existir depuración o recontaminación, es por ello por lo que se debe conocer la cinética de absorción del metal para someter una especie vegetativa al proceso.

En investigaciones sobre la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, Núñez et al. (2017) han experimentado con plantas medicinales y debido a que es necesario tener en consideración que la contaminación de suelos representa un riesgo a la salud de personas que utilizan este tipo de plantas, surgió el interés de identificar aquellas especies con mayor capacidad de remoción y que a su vez tienen un uso directo, ya sea medicinal o alimenticio, para el ser humano. La Tabla 5 identifica estas especies, los metales y su capacidad de remoción.

Tabla 5

Capacidad de remoción de metales pesados de diferentes plantas

Planta	Metales	Capacidad de remoción	Autor
<i>Aloe vera</i> L., (sábila)	Cadmio	10 hasta 385.150 µg/kg	Kumar et al. (2018)
<i>Allium sativum</i> L., (ajo)	Cobre, cromo, hierro y plomo	10 hasta 385.150 µg/kg	Kumar et al. (2018)
<i>Zea mays</i> , (maíz)	Plomo	50.50 mg/kg a 76.22 mg/kg	Grandez (2017)
<i>Oryza sativa</i> (arroz)	Plomo	1.9 a 3.85 mg/kg	Huiracocha (2018)
<i>Helianthus annuus</i> (girasol)	2,3,6-trinitrotolueno (TNT), iones de cesio y DDT	54200, 90100 y 9030 µg/kg	Tabagari et al. (2019)

Munive et al (2018) concluyen que las enmiendas orgánicas compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados, particularmente plomo y cadmio, para una mejor absorción en las plantas de maíz; además, en las raíces se presentan los mayores valores de extracción de plomo y cadmio, es así que se determina que el maíz extrae mayor cantidad de plomo cuando están presentes en el suelo.

Además, estudios de Grandez (2017), al evaluar 3 especies vegetales (alfalfa, acelga y amaranto) determinó una mayor capacidad de absorción de plomo con alfalfa, capacidad media con acelga y capacidad menor con amaranto a los 60 días. El mismo registró plantas con mayor biomasa cuya etapa de desintoxicación fue de 10 días y porcentajes de fitorremediación del 90%, mientras que especies con menor biomasa luego de 70 días no lograron recuperar su poder de absorción y reportaron fitorremediación de 25%. Esto supone que las plantas que no presenten abundante biomasa tienden a intoxicarse más rápido.

Finalmente tomando los criterios de Ferrua y Aimituma (2019) señalan que este proceso es una metodología nueva para limpiar entornos y además rentable, así mismo de que se pueden emplear una variedad de especies de plantas que en corto plazo adquieren la capacidad de captar metales pesados.

Conclusiones

La problemática que existe actualmente requiere de tecnologías costo-efectivas, ambientalmente amigables y que puedan aplicarse a gran escala, tal es el caso de la fitorremediación. La capacidad de las plantas nativas disponibles para absorber, adsorber, metabolizar, acumular, estabilizar o volatilizar contaminantes orgánicos y/o inorgánicos, determinan a esta tecnología una ventaja sobre otros métodos convencionales de remediación de la contaminación.

Una de las principales plantas con mayor capacidad de remoción es el *Zea mays* (maíz) que puede acumular hasta 76.22 mg/kg de plomo. Sin embargo, se requiere más información sobre las interacciones plantas-microorganismos y cadenas tróficas, así como del papel que juegan ciertas enzimas en el proceso de fitorremediación. Mientras se avance en investigaciones, será posible una aplicación más eficiente y a gran escala de esta tecnología.

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, M. L. (2019). *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, España]. <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.55865>
- Argomeda, G., y Alfredo, M. G. (2017). *Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (*Helianthus Annus*) y maíz (*Zea Mays*) usando enmiendas*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo, Perú].
- Bautista, F. (1999). *Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados*. 1 ed. México. Ediciones de la Universidad de Yucatán.
- Canales, D. (2021). *Revisión sistemática de diferentes métodos de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo, Perú].
- Chen, Y., Jiang, X., Wang, Y., y Zhuang, D. (2018). Spatial characteristics of heavy metal pollution and the potential ecological risk of a typical mining area: A case study in China. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 204–219. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.10.008>
- Coyago, E. y Bonilla, S. (2019). Cinética de absorción de plomo en especies vegetativas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados. *Revista Alfa*, 3(7), 47-58. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v3i7.54>

- Delgadillo, A. E., González, C. A., Prieto, F., Villagómez, J. R., & Acevedo, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597–612. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/814/565>
- Ferrua, S.V. y Aimituma, K.M. (2019). *Potencial fitorremediador de especie Amaranthus caudatus como alternativa para suelo contaminado con plomo y cromo*. [Tesis de Grado, Universidad Peruana Unión, Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/2437>
- Galeano, J. (2016). Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. en diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, 158-168.
- Gama Retamozo, Y. O. (2019). *La fitorremediación como alternativa en la recuperación de suelos afectados con desmontes de construcción – Cajabamba*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3489>
- Grandez, M. G. A. (2017). *Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (Helianthus annuus) y maíz (Zea mays) usando enmiendas*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejos, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3537>
- Huiracocha, J. F. (2018). *Evaluación del riesgo por cadmio y plomo en granos de arroz (Oryza sativa) comercializados en la ciudad de Cuenca*. [Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/31265>
- Hudson, N. (2006). *Conservación del suelo*. Edit. Reverté, S.A. España. p 44.
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelo*. Mundi-Prensa. España. p 2-29.
- Lizcano, J. A. (2020). *Análisis teórico de las técnicas mixtas de nano-biorremediación en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Colombia]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/38436>

- Liu, L., Li, W., Song, W., y Guo, M. (2018). Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: principles and applicability. *Science of the total environment*, 633, 206-219. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.161>
- Kumar, N., Kulsoom, M., Shukla, V., Kumar, D., Priyanka, Kumar, S., Tiwari, J. y Dwivedi, N. (2018). Profiling of heavy metal and pesticide residues in medicinal plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 29505-29510. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2993-z>
- Kumari, B., y Singh, D. P. (2016). A review on multifaceted application of nanoparticles in the field of bioremediation of petroleum hydrocarbons. *Ecological Engineering*, 97, 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.08.006>
- Méndez, A., Amachi, F., Vera, M., y Espinosa, I. (2016). Fitorremediación al plomo asimilable, una biotecnología promisoría. *Revista Ciencia y Tecnología*, 2(4), 5. <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/58>
- Mitton, F.M, Miglioranza, K.S.B., González, M., Shimabukuro, V.M. & Monserrat, J.M. (2014). Assessment of tolerance and efficiency of crop species in the phytoremediation of DDT polluted soils. *Ecological Engineering*, 71, 501–508. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.069>
- Munive, R., Figueroa, O., Azabache A. y Gamarra, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551-560. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>
- Núñez, R., Vong, Y. M., Ortega, R. y Olgún, E. (2017). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones, Biotecnología y Biología Molecular. *Ciencia*, Julio-Septiembre, 69-82.
- Paredes Campos, P. y Rodríguez Rojas, J. (2020). *Revisión sistemática: Especies vegetales en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados*. [Tesis de Grado, Universidad César Vallejos, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/64119>

- Peña, I. (2019). *Evaluación de la capacidad de absorción del Helianthus annuus como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur, Perú]. <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/167>
- Ramos, D; Terry, E; Soto, F. y Cabrera, J. (2016). Técnicas de remediación de suelo. *Revista Ciencia*, 35(2).
- Suárez, R. (2021). *Fitorremediación: una alternativa para reducir la contaminación por hidrocarburos en Ecuador*. [Tesis de Grado, Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6301>
- Tabagari, I., Kurashvili, M., Varazi, T., Adamia, G., Gigolashvili, G., Pruidze, M., Chokheli, L., Khatisashvili, G. & Niemsdorff, P von F. (2019). Application of *Arthrospira (Spirulina) platensis* against chemical pollution of water. *Water*, 11(9), 1759. <https://doi.org/10.3390/w11091759>
- Tariq, S. R. & Ashraf, A. (2016). Comparative evaluation of phytoremediation of metal contaminated soil of firing range by four different plant species. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(6), 806–814. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.024>
- Vargas, C. M., Oviedo, A., Montañez, M. N., y Polania, A. (2018). Estado del arte; del uso de la *eichhornia crassipes* en la fitorremediación de aguas residuales industriales. *Ingenio Magno*, 9(2), 105–130. <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1631>
- Vargas, L. J. (2021). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú*. [Tesis de Grado, Universidad Científica del Sur, Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1890>
- Velásquez, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista*

Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios

ISSN L: 2313-7819

revistas.up.ac.pa/index.php/revista_colon_ctn

Julio – Diciembre 2022



de Investigación Agraria y Ambiental, 8(1), 151–167.

<https://doi.org/10.22490/21456453.1846>

Zhou, L., Li, Z., Liu, W., Liu, S., Zhang, L., Zhong, L., Luo, X., & Liang, H. (2015). Restoration of rare earth mine areas: organic amendments and phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research International*, 22(21), 17151–17160.

<https://doi.org/10.1007/s11356-015-4875-y>