



Fitorremediación con *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale* para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados de un botadero

Phytoremediation with *Medicago sativa* and *Taraxacum officinale* for the remediation of heavy metal-contaminated soil from a landfill site

Silva-Mori, Karina¹

Ramírez-Ramírez, Wildoro¹

Chuquimbalqui-Marina, Delmester^{1*}

Azabache-Aliaga, Yrwin Daniel¹

¹Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú

Recibido: 4 Oct. 2023 | Aceptado: 4 Ene. 2024 | Publicado: 10 Ene 2024

Autor de correspondencia*: d.chuquimbalqui@unsm.edu.pe

Como citar este artículo: Silva-Mori, K., Ramírez-Ramírez, W., Delmester-Chuquimbalqui, M. & Azabache-Aliaga, Y. D. (2024). Fitorremediación con *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale* para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados de un botadero. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3(1), e649. <https://doi.org/10.51252/reacae.v3i1.e649>

RESUMEN

La fitotecnología a través de la fitorremediación, presenta ventajas definidas como la eficiencia y el costo reducido de su aplicación para la recuperación de suelos contaminados, en comparación con las técnicas fisicoquímicas convencionales. La investigación evaluó el potencial de las especies *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale* para remediar suelos contaminados con metales pesados (plomo, mercurio y cadmio) en el botadero de residuos sólidos Yacucatina. Aunque la concentración inicial de plomo en el suelo (9,41 mg/kg) estaba por debajo del ECA de 70 mg/kg, la de cadmio (5,60 mg/kg) superaba el límite permitido de 1,4 mg/kg. Después de aplicar la fitorremediación con *Medicago sativa*, la concentración promedio de plomo disminuyó a 8,50 mg/kg y la de cadmio a 1,13 mg/kg, mientras que con *Taraxacum officinale* los valores finales fueron de 7,39 mg/kg para plomo y 1,36 mg/kg para cadmio, cumpliendo con los estándares ambientales. En términos de eficiencia de remoción, *Medicago sativa* mostró una eficiencia del 9,68 % para plomo y del 79,82 % para cadmio, mientras que *Taraxacum officinale* presentó una eficiencia del 21,57 % para plomo y del 75,71 % para cadmio; concluyendo que ambas especies demostraron ser promisorias para la descontaminación de suelos afectados por metales pesados.

Palabras clave: contaminación; fitotecnología; toxicidad; tratamiento

ABSTRACT

Phytotechnology through phytoremediation has definite advantages such as efficiency and reduced cost of its application for the remediation of contaminated soils compared to conventional physicochemical techniques. In this study, the potential of *Medicago sativa* and *Taraxacum officinale* species to remediate soils contaminated with heavy metals (lead, mercury and cadmium) at the Yacucatina solid waste dump was evaluated. Although the initial concentration of lead in the soil (9.41 mg/kg) was below the ECA of 70 mg/kg, cadmium (5.60 mg/kg) exceeded the permitted limit of 1.4 mg/kg. After applying phytoremediation with *Medicago sativa*, the average concentration of lead decreased to 8.50 mg/kg and cadmium to 1.13 mg/kg, while with *Taraxacum officinale* the final values were 7.39 mg/kg for lead and 1.36 mg/kg for cadmium, complying with environmental standards. In terms of removal efficiency, *Medicago sativa* showed an efficiency of 9.68 % for lead and 79.82 % for cadmium, while *Taraxacum officinale* showed an efficiency of 21.57 % for lead and 75.71 % for cadmium; concluding that both species showed promise for the decontamination of soils affected by heavy metals.

Keywords: contamination; phytotechnology; toxicity; treatment



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo es uno de los principales problemas medioambientales de hoy en día, resultado de la eliminación inadecuada de contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto deliberada como involuntariamente (Torres-Gonzales et al., 2021). Las concentraciones no deseadas de sustancias químicas como la de los metales pesados, se acumulan y causan importantes problemas en el ambiente, dificultan la capacidad del suelo para llevar a cabo sus múltiples procesos naturales, provocan problemas de salud para los seres humanos y repercuten en una gran variedad de seres vivos (Bhat et al., 2022).

Esta problemática ha llevado a la búsqueda de soluciones efectivas. En ese contexto, investigaciones recientes resaltan la eficacia de diversas estrategias. Por ejemplo, la aplicación de biochar junto con compost ha demostrado mejorar significativamente la biomasa de las plantas y la absorción de metales pesados por las raíces y brotes de maíz (Irfan et al., 2021).

Adicionalmente, se observa que varias especies de plantas exhiben una notable capacidad para absorber, translocar y acumular metales pesados de suelos contaminados en sus tejidos aéreos (Yan et al., 2020). Entre algunas especies importantes, se destaca el papel crucial de las plantas de la familia Poaceae, las cuales han demostrado un alto potencial para la fitorremediación y restauración ecológica de suelos mineros, gracias a su rápido crecimiento, biomasa abundante y mecanismos de tolerancia a metales (Patra et al., 2021).

El cadmio (Cd), un metal muy peligroso, tiene un efecto perjudicial en el suelo y por ende en el desarrollo y la producción de las plantas. La técnica ecológica llamada fitorremediación, se considera crucial para hacer frente a la contaminación por este metal. Las plantas utilizadas para la fitorremediación (en particular las hiperacumuladoras) retienen cadmio en sus raíces, brotes y hojas, y constituyen una solución creativa y asequible (Raza et al., 2020). Asimismo, la fitorremediación de suelos contaminados con mercurio (Hg), ha sido de gran interés por los beneficios que produce: costo reducido, eficiencia en los resultados, etc (Liu et al., 2020).

El girasol ha sido identificado como una especie prometedora para la descontaminación de suelos, ya que los resultados indicaron su capacidad para remover cantidades significativas de plomo y cadmio en raíces y brotes (Munive et al., 2020). Estos hallazgos destacan la importancia de explorar enfoques biológicos, como la fitorremediación, utilizando especies vegetales específicas, comunes y fáciles de producir, para abordar la contaminación del suelo, especialmente aquella causada por metales pesados.

Por otro lado, la fitorremediación asistida por microorganismos emerge como una nueva alternativa rentable y amigable con el medio ambiente. La relación entre especies de plantas y microbios en suelos contaminados es crucial para tolerar la toxicidad de los metales pesados, en tal sentido se llegaron a evaluar el potencial de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB) para mejorar la fitorremediación, la cual resultó prometedor (Alves et al., 2022).

Por tales motivos, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de las especies *Medicago sativa* (Alfalfa) y *Taraxacum officinale* (Diente de León) en la fitorremediación de metales pesados en los suelos del botadero de residuos sólidos Yacucatina, Juan Guerra.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

La investigación desarrollada fue de tipo aplicada, se utilizaron bases teóricas y referencias, enfocadas en el uso de especies fitorremediadoras, para mitigar o reducir en niveles aceptables, el problema de la

contaminación de suelos. Las investigaciones de tipo aplicada buscan resolver aquellos problemas prácticos y cotidianos, haciendo uso de la aplicación directa del conocimiento.

El nivel de la investigación comprendió el nivel explicativo, debido a que se demostró la relación de causa y efecto, a través de la aplicación de un tratamiento (fitorremediación - causa) y sus consecuencias o resultados (reducción de la contaminación del suelo - efecto).

El diseño de la investigación fue experimental, se realizó la manipulación de las condiciones de la variable independiente, para la evaluación y el análisis de los efectos en la variable dependiente, es decir, se estudió el efecto que produce el proceso fitorremediador de las especies *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale*, en la variación de los niveles de contaminación con metales pesados (plomo, mercurio y cadmio) de los suelos del botadero de residuos sólidos Yacucatina.

2.2. Población y muestra

La población estuvo comprendida por el área total del botadero municipal Yacucatina, la cual fue de 15 hectáreas de extensión de terreno. Por otra parte, la muestra se tomó de manera intencionada, en función a la cantidad de masa de tierra o suelo contaminado que se requirió para realizar los ensayos en la etapa experimental, así como también al número de unidades experimentales, la cual fue de 45 kg.

2.3. Técnicas de recolección de datos

La técnica empleada en el desarrollo de la investigación fue la observación, la cual consiste en realizar análisis metódicos de un fenómeno utilizando el sentido de la vista. Asimismo, se utilizaron instrumentos y/o equipos de apoyo para la recolección de los datos: formatos de campo, lista de chequeo, GPS-Garmin Montana 650 y wincha para medir las dimensiones de las unidades experimentales.

2.4. Desarrollo de procedimientos

Muestreo del suelo contaminado del botadero

Debido a que el botadero tiene una extensión de 15 hectáreas, se determinó el número de puntos de muestreo según la guía de muestreo de suelos del MINAM (D.S N° 002-2013) utilizando la siguiente ecuación: Número de Puntos de Muestreo (NPM) = $18 + 2.34 * \text{Área}$, en donde se obtuvo un total de 53 puntos de muestro y de los cuales se extrajo 1 kg de muestra; esta actividad se realizó cada 25 metros lineales entre puntos, para posteriormente mezclar con el fin de homogeneizar. Se utilizaron cajas de madera para disponer las muestras.

Obtención y sembrado de las especies fitorremediadoras

Las semillas de Alfalfa (*Medicago sativa*) se obtuvieron en Nuevo Celendín - Zapatero, departamento de San Martín, a continuación, y mediante la técnica de "Voleo", se sembraron uniformemente por toda la superficie de las cajas de madera; luego, una vez cubierta, se añadió agua y un poco de tierra de la muestra homogénea; por otro lado, las semillas de Diente de León (*Taraxacum officinale*) se cosecharon en la ciudad de Lamas, se trasplantaron en las cajas de madera y se procedió al repique pasado los ocho días de germinación.

Para el estudio, se requirió un total de 9 cajas de madera, de los cuales 3 cajas fueron para el sembrado de 27 plántulas de la especie *Medicago sativa*, 3 cajas fueron para el sembrado de 27 plántulas de la especie *Taraxacum officinale* y 3 cajas para el testigo (control). En cada una de estas cajas se agregaron 5 kg de la muestra de tierra homogenizada y se realizaron las siembras correspondientes; después de 90 días, se

sacaron 500 g de material de cada unidad experimental y se enviaron al laboratorio para analizar los niveles de plomo, cadmio y mercurio.

Determinación de las unidades experimentales (U.E)

Se consideraron cajas de madera como unidades experimentales, cada caja tuvo dimensiones de: 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 20 cm de alto, en cada unidad experimental se sembraron un total de nueve plántulas, además se incorporaron agujeros en las bases para evitar saturación por exceso de agua durante el regadío. La distancia de 10 cm entre las unidades experimentales y el espaciamiento de 5 cm entre cada unidad experimental con el extremo del campo experimental, dieron como resultado una superficie de 1,44 m².

Obtención experimental de las cantidades de los metales pesados en el laboratorio

Se extrajo 500 g de muestra de suelo y se homogenizó de forma manual, luego se colocó en una estufa a una temperatura de 100°C por un periodo de tiempo de 24 horas. Se procedió a extraer 5 g de la muestra acondicionada, la misma que se tamizó en una malla Tyler de N° 32 con el fin de obtener la parte fina de la muestra. Se colocó solo 0,05 g de la muestra fina producida, en digitubos, para posteriormente ingresarlas a una campana de extracción a condiciones de temperatura < 93°C. Se agregó una solución de HNO₃ (ácido nítrico) en disolución 1:1 (5 mL de agua de alta pureza y 5 mL de ácido nítrico); se dejó enfriar y se volvió a agregar 2.5 mL de la solución, para luego calentarlo por 30 minutos. Se añadió 0.5 mL de peróxido de hidrógeno al 30%, luego se llevó a ebullición por un periodo de 2 horas, dejándolo enfriar luego por 20 minutos. Se agregaron 5 mL de HCl (ácido clorhídrico) a todos los digitubos y se colocaron en la campana de extracción por un periodo de tiempo de 15 minutos, se dejó enfriar y se añadió agua destilada para completar hasta 50 mL de volumen. Posteriormente, se procedió a agitar todas las muestras para homogenizarlas y colocarlas por última vez en la campana de extracción. Finalmente, se retiraron los digitubos y se procedió a filtrar el contenido, estos se calentaron a 10 000°C en un equipo de refrigeración y, a continuación, se utilizó un dispositivo de lectura de software óptico ICP, que permitió determinar las cantidades de los metales pesados.

2.5. Técnicas de análisis de datos

Se utilizó la prueba T para muestras independientes, con el fin de analizar los datos, y evaluar cómo afectaban las especies fitorremediadoras a la eliminación o disminución de metales pesados del suelo del botadero Yacucatina. Para la prueba de hipótesis se consideró un nivel de confianza del 95%. Se utilizó el programa estadístico SPSS para el análisis. El estudio también empleó métodos estadísticos descriptivos para investigar las variables dependientes, incluyendo la media y la desviación estándar.

3. RESULTADOS

3.1. Concentración inicial de metales pesados en el suelo del botadero, antes de la aplicación de fitorremediación (Pretratamiento)

La Tabla 1 muestra la concentración inicial de metales pesados en los suelos del botadero. El contenido promedio de plomo en el lugar fue de 9,41 mg/kg, nivel inferior al valor de los ECA de 70 mg/kg para este metal en el suelo. Por otra parte, dado que la concentración de mercurio fue inferior a los límites de detección del método (<0,1 mg/kg), no se pudieron calcular valores puntuales; así mismo, el contenido promedio de cadmio fue de 5,60 mg/kg, nivel que se encuentra por encima de la norma de calidad ambiental de 1,4 mg/kg.

Tabla 1.*Valores de pretratamiento de los metales pesados antes de la aplicación de fitorremediación*

Réplica	Plomo (mg/kg)	Mercurio (mg/kg)	Cadmio (mg/kg)
1	9,55	<0,1	5,59
2	9,52	<0,1	5,59
3	9,15	<0,1	5,62
Media	9,41	<0,1	5,60
Desviación estándar	0,22	-	0,02
ECA (mg/kg)	70	6,6	1,4

3.2. Concentración final de metales pesados en el suelo del botadero, después de la aplicación de fitorremediación (Post tratamiento)

Concentración final de plomo

En la Tabla 2, se verifica la concentración de plomo en el suelo después de la implementación de las especies fitorremediadoras. Para *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale*, los niveles medios de plomo en el suelo del botadero fueron de 8,50 mg/kg y 7,39 mg/kg respectivamente; estos valores no alcanzaron a los límites de los ECAs del suelo de 70 mg/kg para este metal. La especie con mayor retención de plomo fue *Taraxacum officinale*.

Tabla 2.*Valores de post tratamiento de plomo después de la aplicación de fitorremediación con las dos especies*

Réplica	<i>Medicago sativa</i>	<i>Taraxacum officinale</i>
1	8,48	8,16
2	8,83	7,92
3	8,18	6,10
Media	8,50	7,39
Desviación estándar	0,33	1,13
ECA (mg/kg)	70	

Concentración final de mercurio

La Tabla 3 muestra la concentración de mercurio en el suelo después de la implementación de las especies fitorremediadoras. No fue factible estimar las concentraciones como valores puntuales, ya que los niveles de remoción de mercurio por ambas especies estaban por debajo de los límites de detección del método (<0,1 mg/kg); en ambos casos, no se superó los valores de los ECAs del suelo de 6,6 mg/kg para este metal.

Tabla 3.*Valores de post tratamiento de mercurio después de la aplicación de fitorremediación con las dos especies*

Réplica	<i>Medicago sativa</i>	<i>Taraxacum officinale</i>
1	<0,1	<0,1
2	<0,1	<0,1
3	<0,1	<0,1
Media	<0,1	<0,1
Desviación estándar	-	-
ECA (mg/kg)	6,6	

Concentración final de cadmio

La Tabla 4 muestra la concentración de cadmio en el suelo después de la implementación de las especies fitorremediadoras. Se comprobó que la concentración media de cadmio en el suelo del botadero fue de 1,13 mg/kg para la especie *Medicago sativa*, y de 1,36 mg/kg para la especie *Taraxacum officinale*; ambos resultados no alcanzaron el límite de 1,4 mg/kg establecido por los ECAs del suelo para este metal. Además, *Medicago sativa* fue la especie que más cadmio retuvo.

Tabla 4.

Valores de post tratamiento de cadmio después de la aplicación de fitorremediación con las dos especies

Réplica	<i>Medicago sativa</i>	<i>Taraxacum officinale</i>
1	1,35	1,57
2	1,04	1,38
3	1,00	1,13
Media	1,13	1,36
Desviación estándar	0,19	0,22
ECA (mg/kg)	1,4	

3.3. Análisis estadístico y comparativo de las concentraciones finales de los metales pesados entre las 2 especies involucradas en el proceso de fitorremediación

Prueba T - concentración final de plomo

En la Tabla 5 se muestra la prueba T para la concentración final de plomo en el suelo, utilizando *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale* como especies fitorremediadoras. Luego de la aplicación del proceso de fitorremediación, se observó una concentración de plomo comparable entre ambas especies; el valor resultante de p fue 0,089, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos.

Tabla 5.

Prueba T para muestras independientes - concentración de plomo después de la aplicación de fitorremediación con las dos especies

Especie	N	Media	p-valor
<i>Medicago sativa</i>	3	8,50	0,089
<i>Taraxacum officinale</i>	3	7,39	

Prueba T - concentración final de cadmio

En la Tabla 6 se muestra la prueba T para la concentración final de cadmio en el suelo, utilizando *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale* como especies fitorremediadoras. Se verificó que no hay diferencias significativas ni variaciones perceptibles entre los tratamientos, con un valor p de 0,122, lo que indica que las concentraciones de cadmio en las dos especies fueron comparables.

Tabla 6.

Prueba T para muestras independientes - concentración de cadmio después de la aplicación de fitorremediación con las dos especies

Especie	N	Media	p-valor
<i>Medicago sativa</i>	3	1,13	0,122
<i>Taraxacum officinale</i>	3	1,36	

4. DISCUSIÓN

Las condiciones iniciales del suelo del botadero Yacucatina reflejan un problema de contaminación por metales pesados, específicamente de plomo y cadmio, la aplicación de alternativas de recuperación de suelos como en este caso la fitorremediación, logró reducir significativamente estas concentraciones, en valores aceptables de acuerdo a la normativa ambiental peruana, Raza et al. (2020) argumentan que la fitorremediación de cadmio aplicando plantas hiperacumuladoras, es una de las opciones novedosa, técnicamente eficiente y de bajo costo.

Las especies *Taraxacum officinale* y *Medicago sativa* o usualmente conocidas como Alfalfa y Diente de león respectivamente, demostraron su capacidad fitorremediadoras, para la recuperación de suelos contaminados de un botadero de residuos sólidos, estas especies como tal, son muy comunes y de fácil producción en nuestro medio; así mismo, encontramos al *Helianthus annuus* (girasol), otra especie común y abundante, con capacidades para la descontaminación de suelos, concretamente aquellas afectadas con plomo y cadmio (Munive et al., 2020). Se puede analizar que existen varias especies de plantas con notables capacidades para absorber, translocar y acumular, o fitorremediar, específicamente metales pesados de suelos contaminados (Yan et al., 2020).

Estos resultados de remoción y recuperación de suelos contaminados fueron muy positivos, teniendo en cuenta que el estudio experimental se realizó con muestras de un botadero de residuos sólidos; Patra et al. (2021), lograron niveles aceptables de restauración de suelos mineros con presencia de metales pesados, mediante un estudio de fitorremediación utilizando plantas de la familia Poaceae.

Aunque el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, aplicando especies de plantas bajo el proceso de fitorremediación, sea una de las opciones más acertadas, la incorporación de microorganismos al proceso, mejora notablemente los resultados, pues se ha comprobado que tolerar la toxicidad de los metales pesados en suelos contaminados depende de las interacciones entre diferentes especies vegetales y microorganismos (Alves et al., 2022).

CONCLUSIONES

Las concentraciones iniciales promedios de los metales pesados en los suelos del botadero Yacucatina fueron: 9,41 mg/kg para plomo, 5,60 mg/kg para cadmio; en cuanto al mercurio, no se logró determinar un valor específico, ya que estuvo por debajo de los límites de detección del método empleado (< 0,1 mg/kg). Las comparaciones de estos valores con los estándares de calidad ambiental (ECA), evidenciaron que la concentración de plomo está por debajo de los límites de la normativa (70 mg/kg), sin embargo, la concentración de cadmio superó estos límites (1,4 mg/kg).

Utilizando las especies *Medicago sativa* y *Taraxacum officinale* en el proceso de fitorremediación, se registraron valores de postratamiento de 8,50 mg/kg y 7,39 mg/kg respectivamente para el plomo, asimismo de 1,13 mg/kg y 1,36 mg/kg respectivamente para el cadmio, todos estos valores cumplieron con los estándares de calidad ambiental. Los resultados indican que *Taraxacum officinale* retuvo la mayor cantidad de plomo, mientras que *Medicago sativa* fue más eficaz en la retención de cadmio.

FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este estudio-artículo.

CONFLICTO DE INTERESES

El presente artículo no presenta conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, curación de datos, análisis formal, adquisición de fondos, investigación, administración del proyecto, software, supervisión, validación, visualización, redacción -borrador original y redacción -revisión y edición: Silva-Mori, K., Ramírez-Ramírez, W., Delmester-Chuquimbalqui, M. y Azabache-Aliaga, Y. D.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, A. R. A., Yin, Q., Oliveira, R. S., Silva, E. F., & Novo, L. A. B. (2022). Plant growth-promoting bacteria in phytoremediation of metal-polluted soils: Current knowledge and future directions. *Science of The Total Environment*, *838*, 156435. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156435>
- Bhat, S. A., Bashir, O., Ul Haq, S. A., Amin, T., Rafiq, A., Ali, M., Américo-Pinheiro, J. H. P., & Sher, F. (2022). Phytoremediation of heavy metals in soil and water: An eco-friendly, sustainable and multidisciplinary approach. *Chemosphere*, *303*, 134788. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134788>
- Irfan, M., Mudassir, M., Khan, M. J., Dawar, K. M., Muhammad, D., Mian, I. A., Ali, W., Fahad, S., Saud, S., Hayat, Z., Nawaz, T., Khan, S. A., Alam, S., Ali, B., Banout, J., Ahmed, S., Mubeen, S., Danish, S., Datta, R., ... Dewil, R. (2021). Heavy metals immobilization and improvement in maize (*Zea mays* L.) growth amended with biochar and compost. *Scientific Reports*, *11*(1), 18416. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97525-8>
- Liu, Z., Chen, B., Wang, L., Urbanovich, O., Nagorskaya, L., Li, X., & Tang, L. (2020). A review on phytoremediation of mercury contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, *400*, 123138. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123138>
- Munive, R., Gamarra, G., Munive, Y., Puertas, F., Valdiviezo, L., & Cabello, R. (2020). Lead and cadmium uptake by sunflower from contaminated soil and remediated with organic amendments in the form of compost and vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, *11*(2), 177–186. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>
- Patra, D. K., Acharya, S., Pradhan, C., & Patra, H. K. (2021). Poaceae plants as potential phytoremediators of heavy metals and eco-restoration in contaminated mining sites. *Environmental Technology & Innovation*, *21*, 101293. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101293>
- Raza, A., Habib, M., Kakavand, S. N., Zahid, Z., Zahra, N., Sharif, R., & Hasanuzzaman, M. (2020). Phytoremediation of Cadmium: Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms. *Biology*, *9*(7), 177. <https://doi.org/10.3390/biology9070177>
- Torres-Gonzales, Y., Rojas-Carrizales, A. G., Salas-Contreras, W. H., & Hinojosa-Benavides, R. A. (2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. *Scientific Research Journal CIDI*, *1*(1), 25–36. <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. (2020). Phytoremediation: A Promising Approach for Revegetation of Heavy Metal-Polluted Land. *Frontiers in Plant Science*, *11*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00359>