

Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados

Yovana Torres-Gonzales

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: yovana.torres@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8486-8637>

Alfredo Grover Rojas-Carrizales

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: alfredo.rojas@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9114-2474>

William Herminio Salas-Contreras

Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

E-mail: william.salas@unh.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7664-3000>

René Antonio Hinojosa-Benavides

Universidad Nacional Autónoma de Huanta, Perú

E-mail: rhinojosa@unah.edu.pe ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0452-3162>

Recepción: 10/06/2021 Aceptación: 30/06/2021 Publicación: 30/07/2021

Resumen

Los suelos donde se emplazan la actividad minera en el Perú, se distinguen por que en su estructura se encuentran metales que causan daños graves al ambiente. El objetivo fue demostrar la capacidad fitorremediadora de las plantas *Alopecurus magellanicus var. bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* en suelos adulterados por plomo y cadmio. Se hizo una búsqueda en EBSCOhost, LILACS, SciELO, ScienceDirect, Redalyc, PubMed, Scopus y Web of Science, usando los descriptores “Fitorremediación”, “*Alopecurus magellanicus var. Bracteatus*”, “*Muhlenbergia angustata*”, “Contaminación de suelo” y “metales pesados”, seleccionando 60 artículos para analizar la capacidad fitorremediadora del *Alopecurus magellanicus var. bracteatus* y *Muhlenbergia angustata*, determinando la efectividad de dichas plantas para remover los metales en mención, de suelos contaminados por las diversas actividades vinculadas al sector minero. Los tratamientos obtuvieron óptimos resultados al analizar la capacidad fitorremediadora y al valorar los suelos después del tratamiento, encontrándose que el *Alopecurus magellanicus var. Bracteatus*, es la más efectiva para remover plomo y cadmio. Concluyendo que el *Alopecurus magellanicus var. bracteatus* acumula mayor cantidad de plomo y cadmio en sus raíces y tallos, y a la vez es una planta estabilizadora más eficiente para estos metales.

Palabras Clave

Scientific Research Journal

Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI

E-ISSN: 2789-2727 / Núm. 1 Vol. 1, 25-36, Julio 2021 / www.srjournalcidi.org/

<https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>

Fitorremediación, *Alopecurus magellanicus*, *Muhlenbergia angustata*, contaminación de suelo, plomo, cadmio.

Abstract

The soils where mining activities are located in Peru are distinguished by the presence of metals in their structure that cause serious damage to the environment. The objective was to demonstrate the phytoremediation capacity of the plants *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* and *Muhlenbergia angustata* in soils adulterated by lead and cadmium. A search was conducted in LILACS, SciELO, ScienceDirect, redalyc, PubMed, Scopus, Web of Science and EBSCOhost using the descriptors "Phytoremediation", "*Alopecurus magellanicus* var. *Bracteatus*", "*Muhlenbergia angustata*", "Soil contamination" and "heavy metals", selecting 60 articles to analyze the phytoremediation capacity of *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* and *Muhlenbergia angustata*, determining the effectiveness of these plants to remove the metals in question from soils contaminated by various activities related to the mining sector. The treatments obtained optimum results when analyzing the phytoremediation capacity and when evaluating the soils after treatment, finding that *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* is the most effective in removing lead and cadmium. It was concluded that *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* accumulates more lead and cadmium in its roots and stems, and at the same time it is a more efficient stabilizer plant for these metals.

Keywords

Phytoremediation, *Alopecurus magellanicus*, *Muhlenbergia angustata*, Soil contamination, lead, cadmium.

Resumo

Os solos onde se localiza a atividade mineradora no Peru se diferenciam pelo fato de sua estrutura conter metais que causam graves danos ao meio ambiente. O objetivo foi demonstrar a capacidade de fitorremediação das plantas *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* e *Muhlenbergia angustata* em solos adulterados por chumbo e cádmio. Foi realizada uma pesquisa na LILACS, SciELO, ScienceDirect, redalyc, PubMed, Scopus, Web of Science e EBSCOhost utilizando os descritores "Phytoremediation", "*Alopecurus magellanicus* var. *Bracteatus*", "*Muhlenbergia angustata*", "Soil contamination" e "heavy metals", selecionando 60 artigos para analisar a capacidade de fitorremediação de *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* e *Muhlenbergia angustata*, determinando a eficácia destas plantas na remoção dos metais em questão dos solos contaminados pelas diversas atividades ligadas ao setor de mineração. Os tratamentos obtiveram resultados ótimos ao analisar a capacidade fitorremediadora e ao avaliar dos solos após o tratamento, constatando que *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* é o mais eficaz na remoção de chumbo e cádmio. Concluindo que *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* acumula mais chumbo e cádmio em suas raízes e caules, e ao mesmo tempo é uma planta estabilizadora mais eficiente para esses metais.

Palavras-chave

Fitorremediação, *Alopecurus magellanicus*, *Muhlenbergia angustata*, Contaminação do solo, chumbo, cádmio.

1. Introducción

Las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en los distintos países, vienen contaminando el suelo con metales pesados, siendo una de las estrategias para su remediación el uso de plantas (Ortiz, 2009), lo que puede conseguirse permitiendo el crecimiento y desarrollo de las plantas, con una mayor producción de biomasa, que permita la extracción de metales pesados mediante especies fitorremediadoras, dependiendo del tratamiento y del tipo de metales pesados que se acumulan principalmente en la parte radicular de dichas plantas, permitiendo la limpieza de suelos contaminados por metales pesados.

La industrialización y aumento de la población mundial aunados a la inapropiada disposición final de residuos peligrosos vienen provocando episodios de contaminaciones severas en suelos agrícolas (Pérez y Martín, 2015); las especies vegetativas con su capacidad cinética de absorción de metales pesados mediante el proceso de digestión ácida y la evolución del proceso de absorción, donde se cumple que a mayor valor de biomasa mayor absorción de metales pesados, teniendo en cuenta mayor espacio para su disposición, de tal manera que las etapas de desintoxicación llegan a un máximo de absorción con la alta probabilidad de llegar a índices muy bajos de contaminación de suelos por metales pesados (Martínez et al., 2016; Coyago, 2019).

Las especies vegetales en general demuestran buenas tasas de supervivencia en ambientes hostiles de tal manera que la supervivencia de algunas especies plantada sin suelo fertilizado tiene deficiencia en su crecimiento, mientras que las plantadas en suelos fertilizados tienen mayor supervivencia (Prasetia, et al., 2017) El daño de los recursos naturales a consecuencia de las actividades mineras es evidente; no obstante, el estado de conocimiento de este problema relacionado con la contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, es deficiente, sumándose al grave impacto ambiental que viene ocasionando. Por las consideraciones anteriormente mencionadas, el presente estudio tiene

Scientific Research Journal

Centro de Investigación y Desarrollo Intelectual CIDI

E-ISSN: 2789-2727 / Núm. 1 Vol. 1, 25-36, Julio 2021 / www.srjournalcidi.org/

<https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>

el objetivo de demostrar la capacidad fitorremediadora de las plantas *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* en suelos adulterados por plomo y cadmio.

2. Suelos contaminados y fitorremediación

2.1 Suelos

2.1.1 Contaminación: Pueden ser de origen natural como de origen antrópico, aunque está asociado a la actividad que realiza el hombre. Sin embargo, la inoculación del aire y del agua son las más importantes debido a una mayor dispersión de los contaminantes, por otro lado, en el suelo el tiempo de permanencia puede ser mayor y por lo general es el punto de acumulación de contaminantes provenientes del agua y del aire (Morales, 2020).

2.1.2 Contaminación por metales pesados: Los metales pesados (MP), poseen un número atómico de 63.54 a 200.59 y su peso específico es mayor a 4g/cm^3 . A estos metales los encontramos en formas iónicas o coloidales que en su mayoría son solubles por el suelo. No son biodegradables, por lo tanto, permanecen en el suelo durante mucho tiempo la concentración en el suelo de estos metales se encuentra en un rango de 1 a 100,000 mg / kg (Rostami y Azhdarpoor, 2019). Son las unidades básicas de la estructura del suelo, las que están involucradas en los procesos biológicos, físicos y químicos del suelo (Wang y Chen, 2018).

2.1.3 Metales pesados en el suelo: Tienen mucha atención por la relación directa que existe con la degradación de suelos, toxicidad en plantas e impactos negativos en la calidad del ambiente, la bioacumulación, persistencia y no bio-degradabilidad (Wang y Chen, 2018).

2.1.3.1 Plomo.

Es un MP de color azulado que se encuentra formando parte de sulfuros en asociación con azufre, es usado en soldaduras, para la elaboración de baterías, fabricación de algunas medicinas, materiales de construcción, entre otros; siendo muy peligroso para la salud, puesto que provoca un cuadro de anemia, trastornos de sueño, dolor de

cabeza, entre las más comunes. El plomo en la naturaleza se presenta en mayor proporción, causando daños bioquímicos, fisiológicos o morfológicos a los seres vivos, limitando su desarrollo y crecimiento, reduciendo la elongación de las raíces, perjudicando la producción de clorofila, alterando la división celular, obstaculizando la transpiración (Kreslowska et al., 2016).

a. Metalurgia

A lo largo de los años el plomo viene siendo utilizado para recuperar otros metales como plata, cobre y escandio, generándose residuos nocivos y peligrosos para el ambiente y la salud; se obtiene en fundiciones de concentrados de plomo en hornos de explosión - sintetización mediante metalurgia, conjuntamente con el arsénico (As) que es a su vez el más peligroso (Yang et al., 2019).

b. Potencial redox:

Su variación en el suelo oscila desde + 800 mV (Oxidación fuerte) hasta - 300 mV . Se interpreta indicando las situaciones de inundación y alto contenido de materia orgánica (MO); siendo su símbolo Eh, y es influenciado por el pH, debido a la acumulación de hidrogeniones que afecta el grado de ionización (Callirgos, 2014).

2.1.3.2 Cadmio.

Es un MP muy tóxico en su estado de oxidación +2. “Se encuentra en forma natural en la corteza terrestre junto a otros MP, como el zinc. Su movilidad en el suelo depende de varios parámetros como: pH, el potencial redox, la cantidad de MO y la presencia de arcillas y óxidos de hierro. El cadmio se halla en el ambiente por los trabajos industriales del hombre. Causa daños extremos en la salud como problemas en el riñón, huesos y oncológicos. Es importante el cumplimiento de las normativas referentes al cadmio y el control en los diferentes alimentos que consumimos como es el caso de hortalizas” (Sánchez et al., 2017).

2.1.4 Origen natural: Los MP forman parte natural en la composición original del suelo ya que al producirse el proceso de meteorización por efectos de los procesos de erosión,

transporte y sedimentación se generan de manera natural, por ello la presencia de estos en concentraciones muy elevadas se vuelven tóxicas, impidiendo el desarrollo natural de las plantas, existiendo plantas que poseen la capacidad de acumular algún metal en sus tejidos, provocando consecuencias negativas al ser ingeridas por los seres vivos.

2.1.5 Origen antropogénico: Chinchay y Chamorro (2020) refieren que el origen de la contaminación por MP debido a la actividad antropogénica, ha generado nefastos resultados, ya que el incremento en la concentración de metales pesados en el suelo, genera su contaminación debido a los productos químicos, actividades mineras y de fundición.

2.1.6 El rol de pH: Según Barbaro et al. (2018) el pH del sustrato se encuentra en el rango óptimo la mayoría de los nutrientes donde su máximo nivel de solubilidad. Por debajo de este rango, pueden presentarse deficiencias de nitrógeno, potasio, calcio y magnesio; mientras que, por encima, puede disminuir la solubilidad del hierro, fósforo, manganeso, zinc y cobre. Los óxidos metálicos de hierro, manganeso, cobre y zinc se hacen más solubles al bajar el pH (< 5), pudiendo resultar fitotóxicos.

2.1.7 Capacidad de intercambio catiónico: Es la capacidad de un suelo agrícola para retener y liberar iones positivos, debido a su contenido en arcilla y MO, asegurando una cierta retención de los metales por adsorción al complejo coloidal del suelo, en donde los iones de MP son adsorbidos sobre la superficie de las partículas, contrariamente a estar simplemente disueltos como iones libres o como complejos con biomoléculas solubles (Callirgos, 2014).

2.1.8 Conductividad eléctrica del suelo: Es determinada por la concentración total de sales disueltas en suelo y agua, basándose en el principio de que la corriente conducida por una solución que contenga sales, aumentará a medida que esta concentración aumente. La información sobre la concentración total de componentes ionizados de la solución de suelo se obtiene de manera rápida y precisa a través de los cálculos de dicha conductividad. Una acidez extrema del suelo está asociada con una disminución de sales minerales y por consiguiente una disminución de la conductividad eléctrica (Barbaro et al., 2018).

2.2 Fitorremediación

Se trata de la captura de agentes contaminantes mediante el uso de plantas, constituyéndose en un procedimiento de remediación natural *in situ*. La fitorremediación eficiente puede disminuir el desplazamiento de los agentes contaminantes cerca de las capas freáticas más profundas, manteniendo la estructura del suelo y mejorando su calidad. A semejanza con otros métodos físicos o químicos actuales son más económicos, considerando que la energía motora para el proceso de la fitorremediación es impulsada por el sol, siendo una técnica rentable e innovadora al utilizar plantas para la extracción, degradación, contención e inmovilización de agentes contaminantes en el ambiente (Bello, 2018).

2.2.1 Técnicas eficaces de la fitorremediación:

2.2.1.1 Mediante el uso de plantas transgénicas.

Las plantas usadas en la fitorremediación tienen que ser de crecimiento rápido y de raíces profundas, que su cosecha sea fácil y apta de resistir y almacenar una extensa variedad de MP en su raíz y tallo, tolerándolos en su acumulación, agregando genes analizadores externos de xenobióticos al sistema de raíces para sumar las secreciones de la rizósfera, descomponiendo así estos tóxicos (Rostami y Azhdarpoor, 2019).

2.2.1.2 Electricidad en el suelo.

Permite la absorción de nutrientes, pero también de contaminantes, por la parte radicular de la planta, utilizándose un campo eléctrico con la inclusión de dos electrodos en el suelo, de tal manera que, estos contaminantes se vean afectados por el proceso de electrólisis, en donde moléculas de agua pueden oxidarse en el polo negativo produciéndose iones de hidrógeno, lo que baja el pH de dicho suelo, aumentando la solubilidad de los MP en el suelo, mientras que, las moléculas de agua se disminuyen en el polo positivo y sube el pH al producirse iones hidroxilo (Rostami y Azhdarpoor, 2019).

2.2.1.3 Otras Técnicas.

a. Fitoextracción:

Llamado también fitoacumulación, que es la habilidad de algunas plantas para absorber contaminantes del suelo, sobretodo metales pesados. Ciertamente la

técnica es viable, toda vez que la extracción del contaminante se realiza en la parte aérea de la planta por lo que es fácil de cosechar, aunque también hay plantas que aglomeran contaminantes en sus raíces (Vigosa y Fonseca, 2019).

b. Fitoestabilización:

Conocida como fitoinmovilización o inactivación *in situ*, este proceso sucede cuando las propiedades biológicas de los suelos son modificadas químicas y físicamente, y las traslaciones de los contaminantes se reducen a través de la acumulación y absorción radicular de las plantas.

2.2.2 Plantas en ambientes con metales pesados: Los suelos contaminados con MP pueden aglomerar una amplia colonia de especies vegetales durante largos periodos, incluso algunas áreas almacenan una extensa y diversa comunidad de plantas, pudiendo ser o no fitogeográficamente distinta de la vegetación alrededor, en suelos que tienen componentes tóxicos (Wang y Chen, 2018).

El Alopecurus magellanicus bracteatus (Phil.) El “pasto plumizo” es una hierba nativa y perenne de la puna Sudamericana (Finot et al. 2011). El *Kunth* (Poaceae) y la *Muhlenbergia angustata* (J. Presl.) pertenecen a un género que pertenece al grupo de vegetación primaria perenne de América del Sur, y forma parte de los pajonales y pastizales andinos.

3. Materiales y métodos

Se realizó una meticulosa revisión bibliográfica en diferentes fundamentos de antecedentes como LILACS, SciELO, ScienceDirect, redalyc, PubMed, Scopus, y Web of Science y EBSCOhost, empleando descriptores como “Fitorremediación”, “*Alopecurus magellanicus var. Bracteatus*”, “*Muhlenbergia angustata*”, “Contaminación de suelo”, “metales pesados”, así mismo se efectuó un estudio sistemático de artículos científicos

publicados en revistas científicas como Guillermo de Ockham, Dilemas Contemporáneos, Aíralia, entre otras, desarrollando el estado de arte en sus fases heurística y hermenéutica.

4. Resultados y discusión

Entre los resultados de la presente investigación bibliográfica se tiene demostrado que el plomo daña el hígado, el riñón y el sistema reproductor, así como también procesos básicos de fisiología celular y cerebral, causando perjuicios bioquímicos, fisiológicos o morfológicos a los seres vivos, así como también genera problemas en el feto y en los neonatos, ya que les daña gravemente su sistema nervioso central, sobre todo en los recién nacidos que se ven afectados a nivel de nervios periféricos, en concordancia con Kreslowska et al. (2016) quienes aseveran que dicho metal es muy peligroso para la salud, puesto que provoca cuadros de anemia, trastornos de sueño, dolor de cabeza, entre otros. Una de las alternativas para contrarrestar los efectos causados por metales es la fitorremediación cuyo primordial compromiso es descontaminar los suelos valiéndose de especies nativas, las cuales son capaces de apartar, metabolizar y amontonar sustancias tóxicas que contiene la tierra, en consonancia con Bello (2018) quien afirma que es una técnica rentable e innovadora al utilizar plantas para la extracción, degradación, contención e inmovilización de agentes contaminantes en el ambiente; es así que se confirma en estudios científicos que la fitorremediación se presenta como una alternativa amigable con el ambiente para descontaminar suelos contaminados por MP como el Pb y Cd, de tal manera que, al analizar la capacidad fitorremediadora y al valorar los suelos después del tratamiento, la especie que logró un crecimiento total después de los análisis del estudio en laboratorios, fue el *Alopecurus Magellanicus var. Bracteatus*, también efectiva para remover Pb y Cd.

5. Conclusiones

El *Alopecurus Magellanicus var. Bracteatus* y la *Muhlenbergia Angustata* son plantas capaces de absorber contaminantes inorgánicos, constituyéndose en una tecnología de importantes ventajas con respecto a otros métodos convencionales de remediación de

suelos contaminados con MP como el Pb y Cd. Aunque, se requiere mayor información sobre las interacciones planta y microorganismos rizosféricos, sobre las moléculas o metabolitos responsables del fenómeno de quelación de metales pesados al interior de las plantas, así como ciertas enzimas en el proceso de fitorremediación.

Referencias

- Barbaro, L. Karlanian, M. Mata, D. (2018). Importancia del Ph y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. *Revista del Instituto de Floricultura*, 1(1), 2-10.
- Bello, A. Tawabini, B. Khalil, A. Boland, C, y Saleh, T. (2018). Fitorremediación de ahua contaminada con cadmio, plomo y níquel por *Phragmites australis* en sistemas hidropónicos. *Revista Ingeniería Ecológica*, 120(1), 126-133.
- Callirgos, C. (2014). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie Chrysopogon zizanioides mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Peru]. <https://n9.cl/pmjvu>
- Coyago, E. y Bonilla, S. (2019). Cinética de absorción de plomo en especies vegetativas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 3(7), 47-58.
- Chinchay, M. y Chamorro, K. (2020). *Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maiz "Zea mays. L" en la minería*. [Tesis, Universidad Peruana Unión, Lima, Perú]. <https://acortar.link/OWNIG>
- Kreslowska, M., Rabeda, I., Basinska, A., Lewandowski, M., Mellerowicz, e., Napieralska, A., Samardakiewicz, S. y Wozny, A. (2016). Formación de engrosamiento de la pared pectinosa: una estrategia de defensa común de las plantas para hacer frente al Pb. *Revista Contaminación ambiental*, 214(1), 354-361.
- Martínez, Z., González, M., Paternina, J. y Cantero, M. (2016). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Córdoba-Colombia. *Temas Agrarios*, 22(2), 20-32.

- Morales, M. (2020). Capacidad de absorción del girasol (*Helianthus annuus*) en suelos contaminados a diferentes concentraciones de plomo nivel laboratorio. *Revista del Centro de Investigación y Recursos en Geociencia*, 24(2), 4 - 11.
- Ortiz, R, y Aranibar, M. (2015). Plantas acumuladoras de metales en relaves mineros del altiplano de la región Puno. *Revista Científica "Investigacion Andina"*, 5(2), 96 - 107.
- Pérez, I. y Martín, F. (2015). Uso de parámetros indirectos para la evaluación de la contaminación de suelos por metales pesados en una zona minera de San Luis Potosí, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 67(1), 1-12.
- Peterson, P. S. (2015). A Worldwide Phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae). *Journal of Systematics and Evolution*, 53(2), 117 - 137.
- Prasetia, H., Sakakibara, M., Takehara, A, y Sueoka, Y. (2017). Acumulación de metales pesados por yokoscencia de *Athyrium* en un área minera, Suroeste de Japón. *Revista Earth and Environmental Science*, 71(1), 1- 8.
- Rostami, S, y Azhdarpoor, A. (2019). La aplicación de reguladores del crecimiento de las plantas para mejorar la fitorremediación de suelos contaminados. *Revista Chemosphere*, 220(1), 818 - 827.
- Sánchez, A., Gonzáles, M., y Carrillo, R. (2017). Absorber, inmovilizar o atrapar: funciones de las plantas en la remediación de sitios contaminados por elementos potencialmente tóxicos. *Revista Agroproductividad*, 10(4), 80 - 86.
- Vigosa, J, y Fonseca, R. (2019). Una nueva especie de *Muhlenbergia* (Poaceae, Chloridoideae, Cynodonteae) del estado de Guerrero, México, *Revista Acta Botánica Mexicana* 1464(126), 1-12.
- Wang, M, y Chen, S. (2018). Respuesta de los agregados del suelo y las comunidades bacterianas a la inmovilización del suelo-Pb inducida por biofertilizantes. *Revista Quimiosfera*, 220(1), 8 - 18.
- Yang, W., Wang, S., Ni., W., Rensing, C, y Xing, S. (2019). Fitoextracción mejorada del suelo contaminado con Cd, Zn, Pb por *Sedum alfredii* y la estructura y función de la comunidad

bacteriana de la rizosfera mediante la aplicación de enmiendas orgánicas. *Plant Soil*, 444(1), 101-118.