

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA**



Biorremediación del *Cynodon* sp. a suelos contaminados con plomo  
generada por el transporte de minerales en el Callao

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO  
ACADÉMICO DE BACHILLER EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**AUTORA**

Keyli Alessandra Medrano Alvarado

**ASESOR**

Armando Chiclla Salazar

Lima, Perú

2021

## **I. TÍTULO DEL TRABAJO**

Biorremediación del *Cynodon* sp. a suelos contaminados con plomo generada por el transporte de minerales en el Callao

## **II. AUTORA**

### **Responsable:**

Keyli Alessandra Medrano Alvarado

### **Institución educativa:**

Universidad Católica Sedes Sapientiae

### **Correo de contacto:**

Keyli13.mtw@gmail.com

### III. RESUMEN

El inadecuado transporte de minerales que se realiza hasta el principal puerto del Perú (Callao) ha contaminado el suelo con diversos metales pesados como el plomo. Sin embargo, existe la fitorremediación como una técnica alternativa de recuperación de suelos ya que permite reducir las concentraciones de metales pesados usando plantas que tengan el potencial respectivo. Frente a ello, el presente estudio tiene la finalidad de revisar las investigaciones e identificar la actividad fitorremediadora de metales pesados por las plantas del género *Cynodon*. Asimismo, examinar la bibliografía referida al inadecuado transporte de minerales y la contaminación de suelos con plomo en el 2020. En ese sentido, para la metodología de trabajo se consideró criterios como el uso de artículos científicos no menor de 10 años, así como la transversalidad en los idiomas (español, inglés, portugués) y determinando dos ejes temáticos (capacidad fitorremediadora del *Cynodon* y el transporte inadecuado de minerales). El resultado de toda la revisión identifica al *Cynodon* sp. como una planta con alta capacidad fitorremediadora para suelos contaminados con metales pesados, siendo una alternativa viable para procesos de biorremediación de suelos contaminados con plomo y su aplicabilidad en espacios urbanos.

**Palabras claves:** metales pesados, fitorremediación, *Cynodon*, plomo, puerto del Callao

#### IV. INTRODUCCIÓN

El impacto de la contaminación producida por la actividad minera en el contexto global, son de carácter económico, ambiental y social, ya que produce una alteración en las dinámicas del ecosistema y también genera conflictos sociales con diversas empresas mineras debido a que las personas resultan afectadas en la salud porque disponen de recursos contaminados o por la calidad ambiental en las que frecuentemente están en contacto (Larrota y Torres, 2013; Bonilla, 2013; Azula 2016).

En este escenario, el Perú es un país donde diversas empresas mineras de diferente escala han logrado posicionarse debido a la riqueza mineralógica en nuestro territorio, siendo los minerales más representativos: zinc, plomo, cobre, plata, estaño y oro. Asimismo, genera gran aporte económico y viabilidad en proyectos de inversión (Valdez, 2016).

Sin embargo, esta actividad ha provocado una alteración en la salud del ecosistema y de las personas, ya que generan presiones severas sobre los cuerpos receptores (Saxena *et al.*, 2019). Frente a ello, es ostensible la presencia de este problema en las zonas urbanas con respecto a los depósitos y vías de acceso donde frecuentan las unidades de transporte para minerales ubicados en la Región Callao (Neyra, 2012). Asimismo, esta área de influencia es reconocida por la presencia de contaminación de plomo ya que existe gran cantidad de casos de salud pública evaluados por la Dirección Regional de Salud del Callao y otras entidades (Larrota y Torres, 2013).

La presencia de vehículos inadecuados dedicados al transporte de minerales desde la mina hacia los almacenes de forma provisional y posteriormente trasladados hacia zonas de embarque del terminal portuario del Callao para su exportación, generan una gran liberación de partículas de minerales que son depositados en el suelo. Asimismo, las toneladas de estos materiales son cargados en su mayoría a camiones con tolva abierta cubiertas con mallas o aquellos que poseen diseños inapropiados. Además, las escasas vías de acceso a los almacenes, la frecuencia de vehículos que pernoctan en zonas aledañas a estos depósitos, la

acción de los vientos y la velocidad con la que transitan; son algunos de los factores que intervienen en el problema (Díaz, 2009).

Si bien es cierto, la existencia de este problema es generado por el inadecuado transporte de productos terminados (plomo) hacia el principal terminal portuario del país, la ciencia y la ingeniería ha propuesto paulatinamente estudios sobre biorremediación de suelos.

Frente a ello, se propone al *Cynodon* sp. como una planta fitorremediadora. Esta planta se caracteriza por ser una gramínea que tiene gran adaptabilidad a los climas y suelos que varían desde textura arenosa hasta arcillosa. No obstante, se desarrollan de una manera más rápida en suelos de textura media a fina, con humedad adecuada, pero con buen drenaje (Feuchter, 2000).

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación tiene la finalidad de revisar las investigaciones e Identificar la actividad fitorremediadora en metales pesados por *Cynodon* sp. Asimismo, examinar la bibliografía referida al inadecuado transporte de minerales y la contaminación de suelos con plomo en el 2020.

## OBJETIVOS

- Revisar las diferentes investigaciones realizadas sobre la fitorremediación por metales pesados por *Cynodon* sp. durante 2010-2020.
- Identificar la actividad fitorremediadora en metales pesados por *Cynodon* sp.
- Examinar la bibliografía referida al inadecuado transporte de minerales y la contaminación de suelos con plomo.

## V. METODOLOGÍA

El trabajo de investigación es de carácter descriptivo. En ese sentido, se determinó una pregunta de investigación y un objetivo general, los cuales orientaban a un lineamiento de búsqueda y posterior a ello, se desarrolló la recopilación de información enfocados en dos ejes temáticos: fitorremediación de metales pesados por *Cynodon sp.* durante el 2010- 2020 y el inadecuado transporte de minerales y su relación con la contaminación de suelos con plomo.

En ese sentido, los criterios a utilizar para lograr un profundo análisis de discusión son los siguientes: En primer lugar, se consideró la búsqueda de artículos en revistas de carácter científico reconocidos internacionalmente tales como: Elsevier, Redalyc, Scielo, Scopus, Springer y Dialnet. Asimismo, en el contexto Nacional se consideró la búsqueda en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI), el cual brinda acceso al repositorio de las investigaciones de todas las universidades.

Cabe resaltar, que el manejo de información se realizó de manera transversal usando fuentes en diferentes idiomas tales como: inglés, portugués y castellano, así como, la selección de artículos científicos de los últimos 10 años de estudio e insertando en los buscadores las palabras claves (Fitorremediación, plomo, *Cynodon*, metales pesados) en los idiomas que se especifica líneas arriba.

A continuación, en la Tabla 1 se detalla los criterios metodológicos de la investigación sobre “Biorremediación del *Cynodon sp.* a suelos contaminados con plomo generada por el transporte de minerales en el Callao”.

Tabla 1

*Criterios metodológicos de la investigación*

Criterio	Finalidad	Descripción
Pregunta de investigación	La pregunta de investigación guiará la búsqueda de información en el tema	¿Qué propone la ciencia y la ingeniería frente al problema de contaminación de suelos con plomo?
Objetivo	Determina lo que se desea lograr en el estudio	Describir la capacidad fitorremediadora del <i>Cynodon</i> en suelos contaminados con plomo.
Tiempo	Se consideró el periodo de tiempo de los últimos 10 años	2010-2020
Idiomas	La recopilación de información consideró la transversalidad de tres idiomas.	Inglés, Castellano y Portugués.
Base de datos	La búsqueda se realizó en buscadores de carácter científico internacional y en un contexto nacional.	Scielo, Scopus, Elsevier, Springer, Dialnet, RENATI.
Palabras Claves	Se seleccionó tres palabras esenciales para la búsqueda en los portales científicos en los idiomas seleccionados.	Fitorremediación, plomo, <i>Cynodon</i> , metales pesados. Phytoremediation, Lead, Heavy Metals. Fitorremediação, Chumbo, Metais Pesados.
Ejes temáticos	Se determinó dos ejes temáticos a partir de la identificación de variables del título del presente estudio.	Fitorremediación por metales pesados por <i>Cynodon</i> durante el 2010- 2020 y el inadecuado transporte de materiales y la contaminación de suelos con plomo.

Fuente: Elaboración propia a partir de Guirao-Goris (2008)

## VI. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

### **6.1. Investigaciones realizadas sobre la fitorremediación por metales pesados por *Cynodon* durante el 2010- 2020**

Las investigaciones sobre el tema relacionado a la fitorremediación de metales pesados por *Cynodon* sp. en suelos fueron obtenidas de las siguientes fuentes electrónicas indexadas: Scielo, Scopus, Elsevier, Springer y Dialnet. Asimismo, el contexto de búsqueda estuvo comprendido entre 2010- 2020.

Frente a ello, en la Tabla 2 se detallan las “Investigaciones científicas sobre *Cynodon* sp. comprendida desde 2010-2020”.

Tabla 2

*Investigaciones científicas sobre Cynodon sp. comprendida desde 2010-2020*

Base de datos	Países	Año de Publicación	Autor	Título
SPRINGER	India	2010	Chatterjee, S., Chetia, M., Singh, L, Chattopadhyay, B., Datta, S. y Mukhopadhyay, S.K.	A study on the phytoaccumulation of waste elements in wetland plants of a Ramsar site in India.
SPRINGER	China	2010	Wu, F., Leung, H., Ye, Z., Lin, X. y Wong, M.	Accumulation of As, Pb, Zn, Cd and Cu and arbuscular mycorrhizal status in populations of <i>Cynodon dactylon</i> grown on metal-contaminated soils.
EBSCO	Uganda	2011	Sekabira, K., Oryem-Origa, H., Mutumba, G., Kakudidi, E y Basamba, T.A	Heavy metal phytoremediation by <i>Commelina benghalensis</i> (L) and <i>Cynodon dactylon</i> (L) growing in Urban stream sediments.
SPRINGER	México	2012	Rivera, F., Juárez, L., Hernández, S., Acevedo, O., Vela, G., Cruz, E., Moreno, I., Esquivel, A. y De León, F.	Impacts of Manganese Mining Activity on the Environment: Interactions Among Soil, Plants, and Arbuscular Mycorrhiza.
SPRINGER	China	2013	Rivera, F., Juárez, L.V., Hernández, S.C., Acevedo, O., Vela, G., Cruz, E., Moreno, I.; Esquivel, A. y De León, F.	Impacts of Manganese Mining Activity on the Environment: Interactions Among Soil, Plants, and Arbuscular Mycorrhiza.
UNAM	México	2013	Castillo, B.	El efecto del EDTA sobre <i>Medicago sativa</i> L. y <i>Cynodon dactylon</i> L. en la extracción de metales pesados de suelo de Cuernavaca, México.

*Investigaciones científicas sobre Cynodon sp. comprendida desde 2010-2020 (a continuación)*

SPRINGER	China	2013	Yang, S., Liang, S., Yi, L.; Xu, B., Cao, J., Guo, Y. y Zhou, Y.	Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings.
SPRINGER	China	2014	Xie, Y., Luo, H., Hu, L., Sun, X., Lou, Y.; y Fu, J.	Classification of genetic variation for cadmium tolerance in Bermudagrass [ <i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.] using physiological traits and molecular markers.
SCIELO	Cuba	2014	Regalado, I., Leiseca, A., Cabrera, Y., Franco, F. y Bulnes, C.	Cambios anatómicos en la especie <i>Cynodon nlemfuensis Vanderhyst</i> en suelos contaminados por metales pesados.
SPRINGER	India	2015	Kumar, A., Maiti, S.K., Tripti, Narasimha, M. y Shekhar, R.	Grasses and legumes facilitate phytoremediation of metalliferous soils in the vicinity of an abandoned chromite–asbestos mine.
SPRINGER	EE.UU	2016	Butler, A.D., Wynter, M., Medina, V. y Bednar, A	Depleted Uranium Toxicity, Accumulation, and Uptake in <i>Cynodon dactylon</i> (Bermuda) and <i>Aristida purpurea</i> (Purple Threeawn).
SPRINGER	China	2016	Yuan, Y., Yu, S., Bañuelos, G. y He, Y.	Accumulation of Cr, Cd, Pb, Cu, and Zn by plants in tanning sludge storage sites: opportunities for contamination bioindication and phytoremediation.

*Investigaciones científicas sobre Cynodon sp. comprendida desde 2010-2020 (continuación)*

SPRINGER	Argentina	2016	Albornoz, C.B., Larsen, K., Landa, R., Quiroga, M., Najle, R. y Marcovecchio, J	Lead and zinc determinations in <i>Festuca arundinacea</i> and <i>Cynodon dactylon</i> collected from contaminated soils in Tandil (Buenos Aires Province, Argentina).
DIALNET	Brasil	2017	Stumpf, L., Antonio, E., Spinelli, L., Fontana, F., Stumpf, T., Vaz, J., Furtado, G., Aldrighi, L. y Scheunemann, T.	Gramíneas perenes e sua relação com a recuperação de atributos físicos de um solo degradado construído.
	México	2017	Delgado, M., Alarcón, M., Valles, M., Melgoza, A., Lepoldina, D. y Leyva, A	Germination of <i>Bouteloua dactyloides</i> and <i>Cynodon dactylon</i> in a Multi-Polluted Soil.
SCOPUS	India	2018	Chandra, R., Kumar, V., Tripathi, S. y Sharma, P	Heavy metal phytoextraction potential of native weeds and grasses from endocrine-disrupting chemicals rich complex distillery sludge and their histological observations during in-situ phytoremediation.
SPRINGER	China	2018	Wang, J., Luo, X.; Zhang, Y., Huang, Y., Rajendran, M., y Xue, S.	Plant species diversity for vegetation restoration in manganese tailing wasteland.
SPRINGER	China	2018	Wang, J., Cheng, Q., Xue, S, Ranjendran, M. y Liao, J.	Pollution characteristics of surface runoff under different restoration types in manganese tailing wasteland.

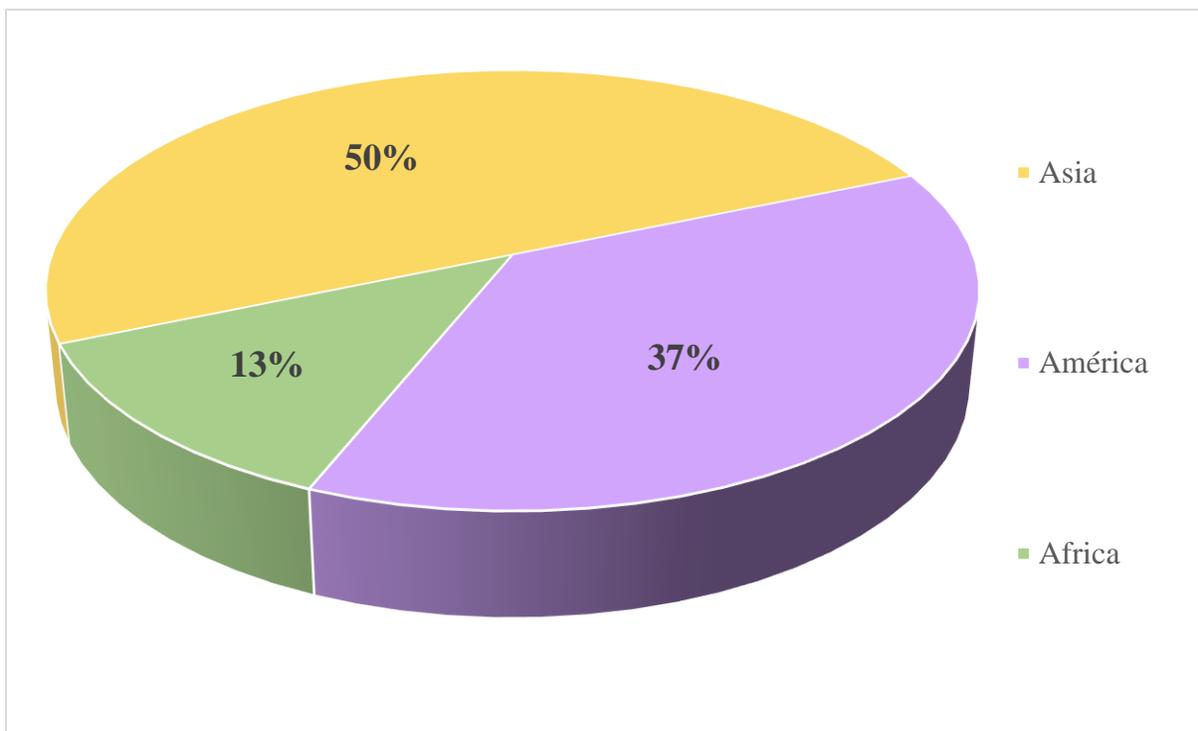
*Investigaciones científicas sobre Cynodon sp. comprendida desde 2010-2020 (continuación)*

SCIELO	Cuba	2019	Perez, I., Meriño, L., Perez, R., Abalos, A.; Weyens, N. y Cuypers, A.	Plantas herbáceas de ambientes contaminados como fuentes de bacterias degradadoras y promotoras del crecimiento vegetal.
SPRINGER	India	2019	Begum, G	Phytoremediation of heavy metals Pb and Cr in contaminated soil by <i>Holcus lanatus</i> and <i>Cynodon dactylon</i> plants.
UFP	Brasil	2019	França, T.	Prospecção de plantas para fitorremediar áreas de mineração contaminadas com metais pesados na região de caçapava do sul (rs).
SPRINGER	Nigeria	2020	Adejumo, S., Oniosun, B., Akpoilih, O., Adesemo, A. y Otomayo, A.	Anatomical changes, osmolytes accumulation and distribution in the native plants growing on Pb-contaminated sites.
SPRINGER	India	2020	Mishra, T., Pandey, V.C., Praveen, A, Singh, N.B, Singh, N y Singh, D.P.	Phytoremediation ability of naturally growing plant species on the electroplating wastewater-contaminated site.
SPRINGER	Irán	2020	Mahohi, A. y Raiesi, F.	The performance of mycorrhizae, rhizobacteria, and earthworms to improve Bermuda grass ( <i>Cynodon dactylon</i> ) growth and Pb uptake in a Pb-contaminated soil.

---

Fuente: Elaboración propia 2020

En la Figura 1 se muestra el porcentaje de las investigaciones evaluadas sobre “La fitorremediación por metales pesados por *Cynodon* durante el 2010- 2020” en diferentes continentes.



*Figura 1:* Porcentaje de investigaciones sobre “La fitorremediación por metales pesados por *Cynodon* sp. durante el 2010- 2020” en diferentes continentes. *Fuente:* Elaboración propia 2020 a partir de Butler *et al.* (2016); Stumpf *et al.* (2017) ; Wang *et al.* (2018); Begum *et al.* (2019) y Adejumo *et al.* (2020)<sup>1</sup>.

En ese contexto, a nivel de continente americano existen en Brasil (3), Cuba (2), México (2), EE. UU. (1), Argentina (1) investigaciones respectivamente, por lo cual estos países denotan prospectivas de investigación en el tema con una representatividad del 37 %.

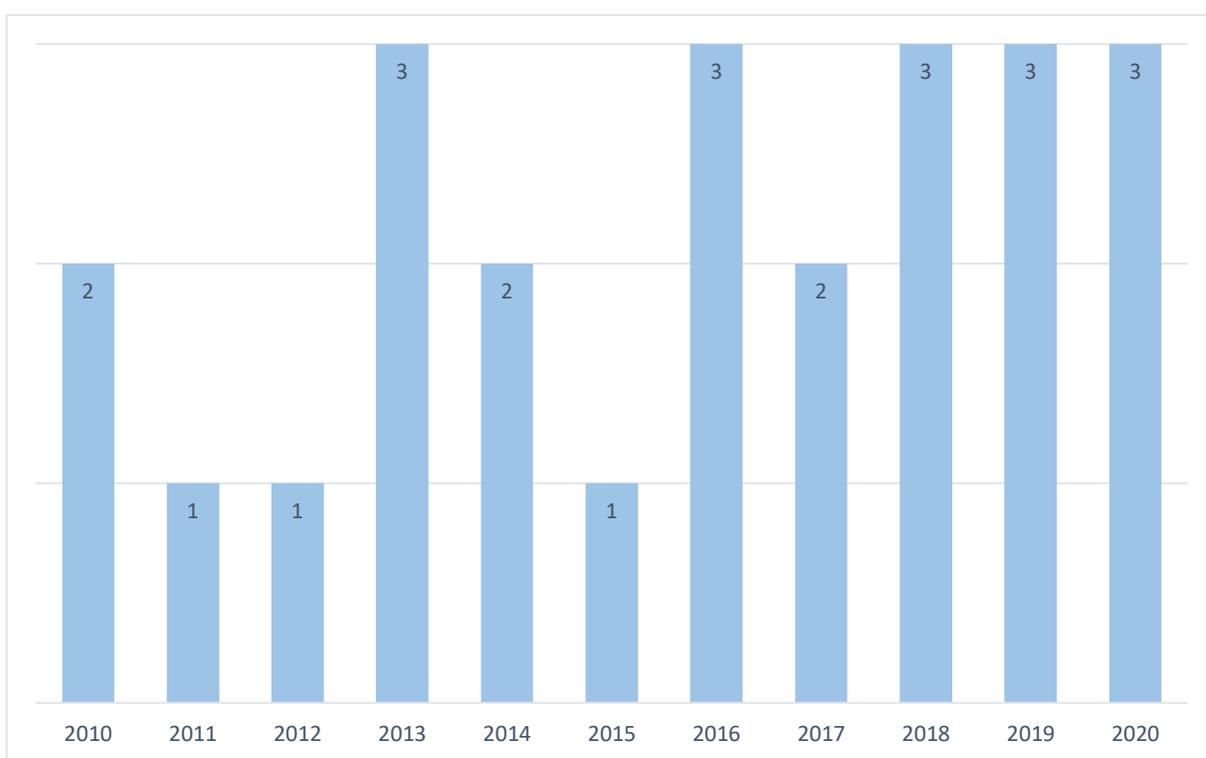
En el continente africano existe en Nigeria (1), Irán (1), Uganda (1) una investigación, por ende, se denota una mínima producción científica en este tema y posee una representatividad del 13 %.

---

<sup>1</sup> Autores de las Investigaciones científicas sobre *Cynodon* sp. comprendida desde 2010-2020

Cabe resaltar, que en el continente asiático existe un gran desarrollo por los países de China (6) e India (6), los cuales comprenden el máximo avance en este eje temático. Asimismo, con 12 investigaciones entre ambos, logran tener una representatividad del 50 % de avance científico referido párrafos anteriores.

Sin embargo, en un contexto temporal la Figura 2 muestra las “Investigaciones sobre la fitorremediación por metales pesados por *Cynodon* sp. en suelos en los últimos 10 años.”



*Figura 2:* Investigaciones sobre la fitorremediación por metales pesados por *Cynodon* en suelos en los últimos 10 años. *Fuente:* Elaboración propia 2020

Los 24 artículos seleccionados en una descripción más detallada; se publicaron en 2010 (2), 2011 (1), 2012 (1), 2013 (3), 2014 (2), 2015 (1), 2016 (3), 2017 (3), 2018 (3), 2019 (3), 2020 (3) investigaciones respectivamente. De esta manera, es ostensible observar que en los últimos tres años la producción científica se mantuvo constante.

Asimismo, es preciso indicar que los documentos recopilados sobre el tema respectivo se han evidenciado en 11 países a nivel mundial exceptuando al Perú, ya que, aun existiendo mínima investigación en el tema no se consideró relevante para el presente trabajo de investigación debido a que las publicaciones corresponden a un tiempo de antigüedad inferior a lo establecido según criterio de evaluación. Por tal motivo, se sugiere desarrollar estudios en esta línea de investigación para contribuir al avance científico y obtener una base de datos más actualizadas a nivel nacional.

## **6.2. Identificación de la actividad fitorremediadora en metales pesados por *Cynodon***

El género *Cynodon* comprende plantas con capacidad fitorremediadora que se caracterizan por ser gramíneas con gran adaptabilidad a los climas y suelos que varían desde textura arenosa hasta arcillosa. No obstante, se desarrollan de una manera más rápida en suelos de textura media a fina, con humedad adecuada, pero con buen drenaje (Feuchter, 2000).

Asimismo, el género *Cynodon* está comprendido en nueve especies, entre las más relevantes en estudio de biorremediación de suelos contaminados con metales pesados destacan: *Cynodon dactylon*, *Cynodon nlemfuensis*. y *Cynodon plectostachyus* (Feuchter, 2000, Zhang,1999).

En este escenario, se identifica la capacidad fitorremediadora de la planta en los siguientes enfoques:

En primer lugar, en comparaciones entre especies vegetativas, Chatterjee *et al.* (2010) en su trabajo de investigación “*A study on the phytoaccumulation of waste elements in wetland plants of a Ramsar site in India*” tuvo como objetivo evaluar la capacidad de diez plantas en la remediación de metales pesados (Cr, Cu, Pb, Zn, Mn, Fe) en suelo y cuerpos de agua contaminados. Frente a ello, se consideró las siguientes especies: *Eichhornia*, *Ipomoea*, *Wolffia*,

*Pistia*, *Trapa*, *Cynodon*, *Scirpus*, *Cyperus*, *Colocasia*, *Sagittaria*. Los resultados mostraron que *Cynodon dactylon* tenía la mayor concentración de Cr ( $6.601 \pm 33 \text{ mg kg}^{-1} \text{ p.s}$ ) y también presentaba tolerancia a los otros metales pesados que alteraban las condiciones del ecosistema.

Algo similar, sucede en el estudio de Castillo (2013) sobre “*El efecto del EDTA sobre Medicago sativa* L. y *Cynodon dactylon* L. en la extracción de metales pesados de suelo de Cuernavaca, México” propuso evaluar la respuesta de las especies *Medicago sativa* L. y *Cynodon dactylon* L. con respecto a la presencia de metales pesados (Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Cd) en los tratamientos con y sin la intervención de un agente quelante (EDTA). En este sentido, se Concluyó que el *Cynodon dactylon* es una especie hiperacumuladora de Zinc en suelo sin EDTA, y tolerante para Cromo, Níquel, Plomo, Cobre y Cadmio en tratamientos con y sin EDTA.

Por otra parte, diversos estudios proponen como investigación la simbiosis entre planta (*Cynodon*) y hongos micorrizos arbusculares. En ese sentido, Wu *et al.* (2010) en su investigación “*Accumulation of As, Pb, Zn, Cd and Cu and arbuscular mycorrhizal status in populations of Cynodon dactylon grown on metal-contaminated soils*” refiere como objetivo evaluar la remoción de metales pesados a través de la asociación de hongos micorrizos arbusculares y la planta *Cynodon dactylon*. Los resultados demostraron la eficiencia de adaptabilidad de la planta en 4 zonas contaminadas con metales pesados ya que logro acumular en los tejidos vegetales hasta  $94.7 \text{ mg.kg}^{-1}$  de As,  $417 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Pb,  $498 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Zn,  $5.8 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cd y  $27.7 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cu. Cabe resaltar, que la acumulación de metales fue optima debido a la presencia de 14 especies de hongos asociados a su rizosfera.

Asimismo, Rivera *et al.* (2012), en su investigación “*Impacts of Manganese Mining Activity on the Environment: Interactions Among Soil, Plants, and Arbuscular Mycorrhiza*”, propone evaluar los impactos ambientales de la actividad minera de Mn y las interacciones entre planta, y hongos micorrizos arbusculares. En ese sentido, las especies *Ambrosia psilostachya*, *Chenopodium ambrosoides*, *Cynodon dactylon*, *Polygonum hydropiperoides*, y *Wigandia urens* resultaron eficientes para la acumulación de altas concentraciones de Mn. Asimismo fueron

favorecidas por la colonización de los hongos micorrícicos arbusculares ya que permitieron que las especies de plantas no se vean afectadas a niveles tóxicos por el metal dentro de su organismo.

En un enfoque similar, existe un estudio sobre la interacción del *Cynodon* con dos microorganismos más, formando una sinergia entre lombrices, hongos y planta. De esta manera, Mahohi *et al.* (2020) en su trabajo de investigación sobre “*The performance of mycorrhizae, rhizobacteria, and earthworms to improve Bermuda grass (Cynodon dactylon) growth and Pb uptake in a Pb-contaminated soil*”, se propuso determinar la respuesta de la asociación entre los microorganismos y macroorganismos del suelo para favorecer el crecimiento y absorción de *Cynodon dactylon* (L.) Persi. en un suelo contaminado con Pb. Se concluyó, que la asociación de estos organismos del suelo demostró una alta eficiencia para la fitorremediación de Pb producto de las actividades mineras en la zona. Asimismo, se consideró como una especie fitoestabilizadora de Pb la cual permite secuestrar e impedir la movilización de Pb en el componente suelo.

Con respecto a técnicas de fitorremediación los siguientes autores refieren sobre la Fitoestabilización:

Sekabira *et al.* (2011) demostraron en su investigación “*Heavy metal phytoremediation by Commelina benghalensis (L) and Cynodon dactylon (L) growing in Urban stream sediments*” que la planta *Cynodon dactylon* es eficiente para procesos de fitoestabilización de Pb, Cd, Cu, Zn y Mn en los ecosistemas de drenaje de zonas urbanas. Cabe resaltar, que produce una biomasa relativamente alta, es decir, que la planta tiene una respuesta favorable en su crecimiento y desarrollo ya que no se ve limitada por la cantidad de metales absorbidos.

También Yang *et al.* (2013), en su trabajo de investigación sobre “*Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine*

*tailings*” tuvo como objetivo identificar las especies más eficientes para procesos de fitostabilización proveniente de zonas de relaves mineros. Los resultados demostraron que *Alternanthera philoxeroides*, *Artemisia princeps*, *Bidens frondosa*, *Bidens pilosa*, *Cynodon dactylon*, *Digitaria sanguinalis*, *Erigeron canadensis* y *Setaria plicata* son plantas que presentaron alta tolerancia al Cd, Mn, Pb, y Zn. Cabe enfatizar, que estas especies fitorremediadoras son viables para suelos contaminados con relaves mineros en el sur de China.

Además, França (2019), en su estudio sobre “*Prospecção de plantas para fitorremediar áreas de mineração contaminadas com metais pesados na região de Caçapava do sul (rs)*” tuvo como objetivo evaluar las plantas idóneas para procesos de fitorremediación en zonas de relaves mineros de cobre, en la región de Minas Camaquã, Caçapava do Sul, Brasil. Para ello, se utilizaron once especies de plantas nativas para evaluar la remoción de metales pesados. Los resultados determinaron que las especies de plantas tenían elevadas concentraciones de cobre ( $> 100 \text{ mg. kg}^{-1}$ ), y dos especies presentaban potencial para fitoestabilización de plomo y siete especies para la fitoestabilización de Cobre. En ese sentido, el *Cynodon dactylon* L. Pers obtuvo una acumulación de  $\text{Cu} \geq 354 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Asimismo, se evidenció la presencia de Níquel y plomo en las raíces y brotes de todas las plantas. Concluyó que las especies presentan tolerancia a metales pesados, a pesar de tener bajo porcentaje de nutrientes y alta concentración de metales en la biomasa de la planta.

Sin embargo, Wang *et al.* (2018) difiere ese resultado a través de su investigación “*Pollution characteristics of surface runoff under different restoration types in manganese tailing wasteland*” la cual tuvo como objetivo evaluar los metales pesados utilizando el método de las parcelas de escorrentía limitadas en el páramo de cola de manganeso. Para ello, se utilizó tres tratamientos: en primer lugar, está el tratamiento control, en segundo lugar, está la muestra de suelo externo colonizado con *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers., y el tercer tratamiento es la muestra de suelo externo y la propagación de plántulas de *Cynodon dactylon* (Linn.) Pers. Concluyeron que los metales pesados tales como Cr, Ni, Pb, Zn y Mn no excedían los estándares de calidad ambiental para aguas superficiales, lo cuales corresponden al segundo y tercer tratamiento del estudio. Sin embargo, no sucedió lo mismo con el cobre.

En los casos mencionados se consideró al *Cynodon dactylon* como una especie con potencial para proceso de fitoestabilización de metales pesados tales como Cd, Mn, Pb, y Zn.

En otro enfoque, se propone la evaluación del uso de plantas nativas. En ese contexto se enmarca, Yuan *et al.* (2016) en su investigación “*Accumulation of Cr, Cd, Pb, Cu, and Zn by plants in tanning sludge storage sites: opportunities for contamination bioindication and phytoremediation*”, la cual tiene como objetivo evaluar el potencial de las plantas nativas para la fitorremediación de áreas contaminadas con cromo. Las zonas de estudio contienen niveles tóxicos de Cr (16.492 mg. kg<sup>-1</sup>) y otros metales tales como: Cu (48.3 mg.kg<sup>-1</sup>), Zn (2370 mg.kg<sup>-1</sup>), Pb (44.9 mg.kg<sup>-1</sup>), y Cd (0.59 mg.kg<sup>-1</sup>). Los resultados demostraron que las especies *Phragmites australis*, *Zephyranthes candida*, *Cynodon dactylon*, y *Alternanthera philoxeroides* acumularon concentraciones altas de cromo y otros metales. Se concluyó, que estas especies son favorables para la remoción de sitios contaminados con metales pesados.

Asimismo, Butler *et al.* (2016) en su investigación “*Depleted Uranium Toxicity, Accumulation, and Uptake in Cynodon dactylon (Bermuda) and Aristida purpurea (Purple Threeawn)*” se planteó como objetivo evaluar la capacidad fitorremediadora de dos plantas nativas: Bermuda (*Cynodon dactylon*) y Purple Threeawn (*Aristida purpurea*) para Uranio y los productos corrosivos derivados del mismo elemento. Concluyeron que estas especies son viables para la remoción de uranio ya que no presentaba toxicidad alta en su biomasa y acumulaba en gran proporción en la zona radicular.

En ese sentido, Mishra *et al.* (2020), en su trabajo sobre “*Phytoremediation ability of naturally growing plant species on the electroplating wastewater-contaminated site*”, tuvo como objetivo evaluar la capacidad fitorremediadora de especies vegetales nativas que se desarrollan en zonas contaminadas por Zn. Para ello, se seleccionó seis especies de plantas, muestras de suelo rizosférico, así como muestras de suelo no rizosférico de zonas industriales diferentes para realizar un análisis químico y biológico. Los resultados mostraron que la mayoría de las especies

evaluadas tuvieron una acumulación de Fe, Mn, Cu y Zn en sus brotes y raíces, mientras que *Cynodon dactylon*, *Chloris virgata* y *Desmostachya bipinnata* fueron consideradas como estabilizantes de Cr, Pb y Cd ya que se obtuvo como factor de bioconcentración en la raíz 7.95, 6.28 y 1.98, así como factor de translocación a 0.48, 0.46 y 0.78 respectivamente. Se concluyó, que las especies de plantas nativas tienen potencial para procesos de fitorremediación en áreas contaminadas con metales pesados.

Frente a ello, se considera que el *Cynodon* es una especie de gramínea que se desarrolla y se adapta a suelos contaminados con metales pesados.

Con respecto, al enfoque de la capacidad fitorremediadora del *Cynodon* en metales específicos los siguientes autores identificaron lo siguiente:

Albornoz *et al.* (2016), en su investigación “*Lead and zinc determinations in Festuca arundinacea and Cynodon dactylon collected from contaminated soils in Tandil (Buenos Aires Province, Argentina)*”, tuvo como objetivo evaluar la capacidad fitorremediadora de *Festuca arundinacea* y *Cynodon dactylon* para la remoción de plomo y zinc en muestras de suelo contaminado de forma *in situ* y *ex situ* concluyeron que en las raíces de ambas especies concentraban los metales pesados. Asimismo, se demostró una correlación significativa positiva entre los niveles de Pb en el suelo, las raíces ( $r = 0.99$ ) y las hojas ( $r = 0.98$ ) de *C. dactylon*, así como en los niveles de Zn en el suelo, las raíces ( $r = 0.94$ ) y las hojas ( $r = 0.91$ ) de *C. dactylon*.

También, Xie *et al.* (2014), en su investigación “*Classification of genetic variation for cadmium tolerance in Bermudagrass [Cynodon dactylon (L.) Pers.] using physiological traits and molecular markers*”, se planteó como objetivo determinar las variaciones en la fenología de la planta relacionada a la tolerancia al cadmio en seis poblaciones del pasto bermuda. Concluyeron que el *Cynodon dactylon (L.) Pers.* tiene respuesta favorable para la acumulación de cadmio mediante la combinación de los rasgos fisiológicos y los marcadores moleculares

Algo similar propone Begum (2019) en su investigación “*Phytoremediation of heavy metals Pb and Cr in contaminated soil by Holcus lanatus and Cynodon dactylon plants*” evaluar la remediación de Pb y Cr usando plantas hiperacumuladoras tales como *Holcus lanatus* y *Cynodon dactylon* (Arugampul). Los resultados revelaron que el pH y el contenido de carbono orgánico del suelo han influido en la absorción de metales pesados. Se observó que la concentración de Pb en *Holcus lanatus* y Arugampul tuvo un valor de 2.85 y 3.15 mg / kg respectivamente. En cambio, la concentración de Cr en *Holcus lanatus* y Arugampul obtuvo un valor de 2.55 y 2.95 mg / kg. Cabe resaltar, que la acumulación de los metales se mostró en las raíces y tallos a los 120 días. Los resultados mostraron que se trasladaron más reservas biodisponibles de Pb y Cr de la raíz al tallo y luego a las partes de las hojas. Se concluyó que ambas plantas son favorables para la técnica de fitoextracción y remediación de suelos contaminados con Pb y Cr.

Acorde con la evaluación del efecto de la acumulación de los metales en los órganos de la planta, Chandra (2018) propone en su investigación sobre “*Heavy metal phytoextraction potential of native weeds and grasses from endocrine-disrupting chemicals rich complex distillery sludge and their histological observations during in-situ phytoremediation*” evaluar el potencial de fitoextracción de las plantas nativas en crecimiento tales como *Argemone mexicana*, *Saccharum munja*, *Cynodon dactylon*, *Pennisetum purpureum*, *Chenopodium album*, *Rumex dentatus*, *Tinospora cordifolia*, *Calotropis procera* y *Base albilla*. Los resultados revelaron alta acumulación de Fe, Zn, Cu, Mn, Ni y Pb en su raíz, por ende, esto indicaba altas capacidades de acumulación y translocación de estas plantas. Además, se encontró el factor de coeficiente de bioacumulación (BCF) y el factor de translocación (TF) >1 para la mayoría de las plantas para varios metales. Por lo tanto, esto dio fuertes evidencias de la tendencia de hiperacumulación de estas hierbas nativas y pastos de sitios contaminados complejos. Además, las observaciones ultraestructurales de los tejidos radiculares también revelaron la deposición de metales pesados en varios componentes celulares sin efectos tóxicos aparentes. Esto indicaba las características adaptativas variables de estas plantas que crecen en un sitio contaminado por residuos peligrosos. Por lo tanto, el estudio dio una fuerte evidencia para la aplicación de estas

hierbas y gramíneas como herramientas para la fitorremediación in situ y la restauración de sitios contaminados.

También, Regalado *et al.* (2014), en su investigación “*Cambios anatómicos en la especie Cynodon nlemfuensis Vanderhyst en suelos contaminados por metales pesados*”, propone la evaluación de los órganos vegetativos de la planta *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst al estar en exposición a los metales pesados (Fe, Ni, Cu, Pb, Co, Mn y Zn). Se pudo constatar que los metales son transportados hacia las partes aéreas, quedando una menor parte en la raíz, lo que se relaciona con la capacidad de transferencia que presentan y a su posible uso en las técnicas de fitorremediación.

Algo similar propone Adejumo *et al.* (2020) en su estudio sobre “*Anatomical changes, osmolytes accumulation and distribution in the native plants growing on Pb-contaminated sites*”, tuvo como objetivo evaluar los cambios anatómicos en raíces y hojas de diversas especies vegetales que crecen en sitios contaminados con Pb, así como los osmolitos (prolina, PR; glicina betaína, GB; y fenólicos, PH) producidos en diferentes partes de la planta. Para ello, utilizaron *Sporobolus pyramidalis*, *Cynodon dactylon*, *Imperata cylindrica*, *Eleusine indica*, *Gomphrena celosioides*, *Rhinconspora corymbosa*, *Echinochloa colona* y los resultados demostraron que el *Cynodon dactylon* obtuvo 0.89 g/g de prolina y 0.94 g/g de betaína. Asimismo, encontraron más plomo (Pb) en la zona radicular de las plantas.

Aunque los tres estudios utilizan diferentes especies del mismo género detallan la incidencia de mayor acumulación en las raíces y partes aéreas de la planta.

Por otro lado, en un enfoque de restauración, Kumar *et al.* (2015) en su trabajo sobre “*Grasses and legumes facilitate phytoremediation of metalliferous soils in the vicinity of an abandoned chromite–asbestos mine*” propuso evaluar al *Cynodon dactylon*, *Sorghastrum nutans* y *Acacia concinna* con respecto a la concentración de metales en un agroecosistema contaminado por los

desechos de minas de cromita y amianto. Los resultados obtenidos indicaron que todas las especies en estudio tienen la capacidad de acumular diferentes metales pesados. Asimismo, de todos los metales evaluados ( $Cr > Ni > Mn > Cu > Pb > Co > Zn > Cd$ ), el Cr y Ni se acumularon principalmente en los pastos (*C. dactylon* y *S. nutans*) y legumbres (*A. concinna* y *C. cajan*) en comparación con los cereales (*Z. mays* y *O. sativa*).

También Wang *et al.* (2018), en su investigación sobre “*Plant species diversity for vegetation restoration in manganese tailing wasteland*”, propusieron evaluar un proceso de restauración en un ecosistema para estabilizar y recuperar zonas contaminadas con relaves mineros a través de 22 plantas las cuales comprendían especies de hierbas y plantas leñosas. En ese sentido, se consideró al *Cynodon dactylon* como una especie fitorremediadora en zonas de relaves mineros.

En ambos casos se consideró la capacidad fitorremediadora del *Cynodon* para recuperar dos ecosistemas diferentes expuestas a gran cantidad de metales pesados.

A la luz de las investigaciones revisadas se puede expresar que el *Cynodon* es una planta con gran adaptabilidad a diversos climas y tipos de suelo lo cual lo hace viable para aplicaciones en ámbitos urbanos. Asimismo, se enfatiza el gran potencial fitorremediador que posee, ya que puede realizar técnicas de Fitoestabilización de metales pesados, simbiosis con otros organismos, y a su vez demuestra gran tolerancia a sitios contaminados con diversos metales pesados.

### **6.3. La contaminación de suelos con plomo y su relación con el inadecuado transporte de materiales**

El plomo es un metal pesado de color metal gris azulado, el cual no tiene funcionalidad esencial en los metabolismos dentro de los procesos o sistemas biológicos. Además, este elemento se

encuentra tanto en el ambiente urbano como rural. Aunque, los ambientes laborales son las principales exposiciones, como también la consideración significativa toxicológica de las exposiciones alimentarias y domésticas (Ramírez, 2005; Antamina, 2018).

El plomo presente en el medio ambiente puede provenir de fuentes antrópicas o naturales, pero en cuanto al último sus concentraciones son mínimas; sin embargo, no se puede afirmar lo mismo de la antropogénica (Programa Internacional de Seguridad Química [IPCS] 1995; Kensa, 2011). Además, este mineral puede encontrarse en el medio ambiente en diferentes componentes tales como sales, óxidos y compuestos organometálicos (Azcona *et al.*, 2015; Londoño *et al.*, 2016).

En este contexto, la contaminación del suelo por plomo es una gran problemática que se viene expandiendo por diversos factores. En gran parte, proviene del inadecuado transporte de minerales desde las unidades mineras hacia los depósitos de concentrados de minerales, y de estos hacia el Puerto principal del Perú (Terminal Portuario del Callao).

Por lo general, estos minerales son transportados de dos formas: por vía terrestre y por vía férrea, representados en un 70 y 30 % respectivamente. (Universidad del Pacífico [UP], 2007).

Asimismo, en el Perú existen empresas productoras de plomo tales como la Unidad Minera Volcán, Buenaventura, El Brocal, Raura y Nexa El Porvenir, los cuales presentaron en el 2018 un registro del 17, 9, 8, 7 y 6 % de producción respectivamente. (Antamina, 2018).

No obstante, el transporte y distribución de estos minerales ocurre especialmente por el aire, esto genera que en algunos casos las partículas se acentúen cerca a la fuente o muy lejanos a ella, motivo por el cual los efectos posteriores a su exposición tanto en los animales y seres humanos es altamente tóxico y hace que genere trastornos en la salud, puesto que no cumple

ninguna función fisiológica en el cuerpo (IPCS, 1995; Uebel *et al.*, 2017). Aun así, no solo los animales o el hombre resultan perjudicados, ya que el suelo actúa como receptor de estas partículas y con el transcurso del tiempo el plomo se acumula en grandes concentraciones lo cual genera una amenaza potente en el suelo agrícola y por consiguiente es un riesgo en la seguridad alimentaria, debido a que se puede biotransformar (Chang *et al.*, 2014; Wong 2003).

Frente a ello, en la Figura 3 señala el “Recorrido del transporte de plomo hacia el terminal portuario del Callao”, realizado por la principal empresa productora de plomo.



*Figura 3:* Recorrido del transporte de plomo hacia el terminal portuario del Callao”. Fuente: Google Earth.

El transporte en la actividad minera se puede subdividir en varios ejes como: el transporte en las operaciones mineras, carga sobredimensionada, transporte de insumos, transporte de productos terminados (Zurita, 2018).

En ese contexto, los principales impactos ambientales asociados a la etapa de transporte de productos terminados se manifiestan por diversos motivos tales como: el inadecuado diseño de recubrimiento, ya que por lo general las empresas mineras utilizan camiones con tolvas abiertas recubiertas con lonas que se encuentran en mal estado o por falta de tensión en el amarre, lo que produce emisiones fugitivas reiteradamente en el trayecto.

Algo semejante sucede con el transporte férreo ya que eventualmente no poseen toldos. Cabe enfatizar que el componente suelo y agua se ve afectado por los Lixiviados generados por el transporte de tolvas con diseño no hermético y sedimentación de emisiones fugitivas del concentrado. No obstante, en caso de accidentes como una volcadura produciría contaminación de aguas subterráneas por infiltración de lixiviados (Díaz ,2009; Zurita, 2018).

A continuación, en la Tabla 3 se detalla el “Impacto Ambiental del transporte de productos terminados”.

Tabla 3

*Impacto Ambiental del transporte de productos terminados*

Variables	Descripción	Factores
Unidad de transporte	camiones y trenes	Acción del viento
Componente	Suelo, Agua y Aire	Diseño de las unidades de transporte
	sedimentación de minerales suspendidos	velocidad de transporte
Aspecto ambiental	Partículas adheridas a los neumáticos, emisiones de partículas de concentrados y lixiviados	Antigüedad y grado de mantenimiento eventual de las unidades de transporte
Impacto Ambiental	Alteración de la calidad del suelo, aire y agua subterránea	Cantidad y frecuencia de las unidades de transporte

Fuente: Elaboración propia a partir de Díaz (2009).

En adición a ello, la Figura 4 sobre el “Muestreo de suelo en el Callao”, manifiesta la focalización del tránsito de estos vehículos, los cuales se concentran en la ciudad, y recorren diversas avenidas del Callao tales como: Av. Gambeta, Av. Argentina, Av. Rímac, al Puerto por las Av. Atalaya, Contralmirante Mora y Av. Guadalupe.

Asimismo, se identifica la presencia de los depósitos (Neptunia, Perubar, Impala, LDC, Miler) y ex depósitos mineros (Atalaya, Rímac, Selva central), donde los medios de transporte realizan el almacenamiento provisional de estos minerales, para luego ser transportados al Muelle 5 del terminal portuario (Díaz, 2009; OEFA 2015).

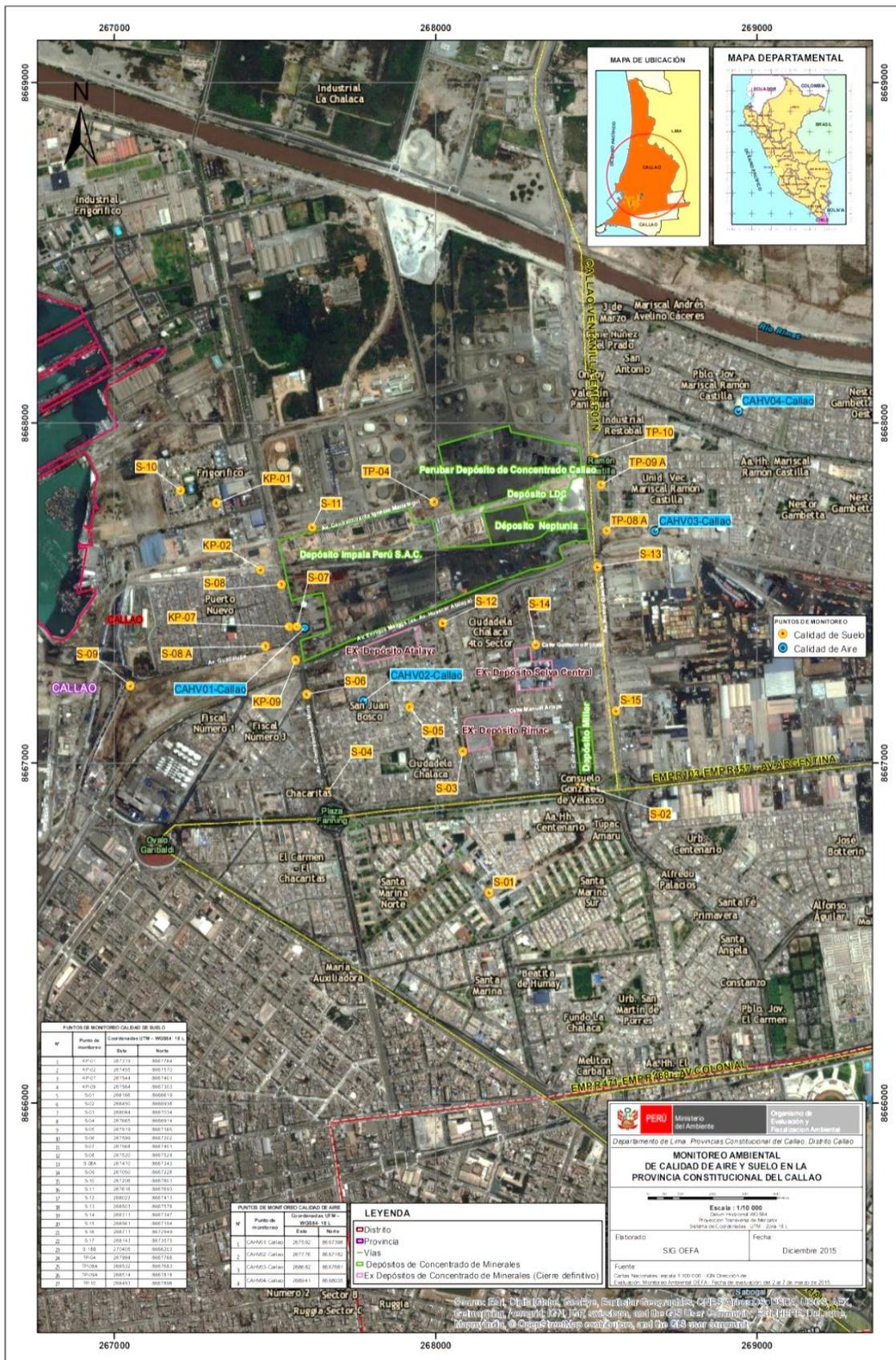


Figura 4: Muestreo de suelo en el Callao. Fuente: OEFA 2015

En la Figura 5 muestra los “Resultados de los puntos de Muestro de suelo en zona residencial del Callao.”

Puntos de monitoreo	Referencia de localización	Concentración (mg/kg MS) <sup>a</sup>					
		Arsénico Total	Bario Total	Cadmio Total	Cromo VI	Plomo Total	Mercurio Total
S-01	Entre la Av. Centenario y Agrupación Huacho, lado izquierdo del C.E.P. Julio Cesar de los Ríos.	<0,8	160,6	3,34	8,09	132,6	0,246
S-03	En el Campo Ferial El Obelisco, en la Av. Rímac.	<0,8	134,1	1,15	8,31	64,96	<0,080
S-04	En la Berma central de la Av. Contralmirante Mora, frente al Super Mercado La Libertad, a la altura de Plaza Fanning (Obelisco).	<0,8	132,8	1,82	9,16	182,4	0,184
S-05	En esquina de la I.E.I. 119 Virgen María, a la altura de la Calle Villa Rica y Calle Yurimaguas.	<0,8	160,5	1,60	6,65	121,9	0,091
S-06	Berma central de la Av. Contralmirante Mora, a la altura de la intersección con Jr. Pucallpa.	<0,8	120,8	2,75	10,38	212,4	<0,080
S-08	Frontis de casa de la familia Montañez, en Av. Contralmirante Mora, aprox. a 40 m de la Av. Almirante Miguel Grau.	<0,8	264,9	13,93	10,8	1426	1,072
S-08A	Frontis de la casa de la familia Montañez, en Av. Guadalupe, aprox. a 95 m de la Av. Contralmirante Mora.	<0,8	182,7	11,56	7,17	763,8	0,258
S-09	Entre Av. Guadalupe y Calle Contralmirante Toribio Raygada.	<0,8	111,1	2,88	8,04	180,5	<0,080
S-12	En la esquina de la Av. Huáscar Atalaya con la Av. Rímac.	<0,8	250,5	6,42	12,66	375,9	0,916
S-16	En el patio de juegos del C.E.I. N° 80, Urb. 200 Millas. A barlovento de ex depósito de Cormin.	<0,8	114,1	0,87	7,13	77,2	<0,080
S-17	Frente a casa de familia Palacios, en AH. Santa Beatriz, a sotavento del ex depósito de Cormin, cerca de zona agrícola.	<0,8	87,7	1,95	8,87	166,1	0,27
KP-07	Aprox. a 50 metros de puerta de ingreso de la estación de Ferrovías.	<0,8	125,5	41,38	10,48	1971	0,823
TP-08A	En el parque, entre Av. Néstor Gambetta y Jr. Talara.	<0,8	130,7	1,76	8,55	170,2	0,164
TP-09A	En el parque, al frente de la empresa Perubar.	<0,8	273,2	11,88	11,74	1535	1,02
TP-10	En la Av. Néstor Gambetta, al frente de la empresa Perubar.	<0,8	112,8	0,39	6,14	44	<0,080
Punto de referencia							
S-18B <sup>b</sup>	Frente al ISTEP Simón Bolívar, Calle 3 N° 100, Bellavista – Callao.	<0,8	88,2	2,11	8,96	167,1	0,129
ECA para suelo residencial		50	500	10	0,4	140	6,6

<sup>a</sup> Las celdas con fondo rojo indican que exceden el ECA para suelo del parámetro correspondiente.

<sup>b</sup> Punto de referencia, considerado por no estar influenciado por las actividades de manejo de concentrados de minerales.

**Figura 5:** Resultados de los puntos de Muestro de suelo en zona residencial del Callao. Fuente: OEFA 2015

En ese sentido, para determinar la magnitud del problema de contaminación del suelo con plomo en el Callao, en la Figura 5 muestra los “Resultados de los puntos de Muestro de suelo en zona residencial del Callao” realizado por el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental en el 2015. La metodología de muestro consistió en evaluar las muestras de 16 puntos de muestreo y uno de referencia e identificar la presencia de metales pesados (As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg) en suelos de zona residencial. Se evidenció que en las poblaciones aledañas a los depósitos de concentrados de minerales y cercanas a las vías de acceso, presentaban valores superiores a los ECAS para suelo, zona residencial. Los resultados de las muestras específicas de evaluación de plomo demostraron que el 62.5 % del total de muestras superaban los valores establecidos (OEFA, 2015).

En consecuencia, la población circundante presenta enfermedades relacionadas con la presencia de plomo en sangre, tal es caso del estudio realizado al Asentamiento Humano Puerto Nuevo, ubicado cerca de empresas exportadoras de plomo tales como Centromín Perú, Consorcio Minero SA (Cormin), Cormin Callao SAC y la Empresa Nacional de Puertos SA (Enapu). Los resultados concluyeron que 4.8 % de los niños de Puerto Nuevo evaluados acumularon 10 µg/dl y el 23.8, 65.6 y 5.9 % , presentaron intoxicación leve, moderada y severa respectivamente. Concluyendo un gran riesgo de salubridad en la población infantil (García, 2013).

Asimismo, La Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) realizó un estudio a niños que asisten a la I.E Guadalupe y la I.E 5045 María Reiche, los cuales se ubican dentro de la jurisdicción distrital del Callao y aledaños a los diferentes depósitos de minerales. Los resultados demostraron una media de plomo en sangre de 40.7 mg/dl. No obstante, este resultado se contrasta con las evaluaciones realizadas a niños que frecuentan asistencia a otras escuelas cuyo valor de la media obtuvo 7.5 mg/dl. Se concluyó, que los estudiantes que viven o estudian en las instituciones aledañas a los depósitos de plomo registran un ostensible riesgo de presentar valores de plomo en sangre elevados (Vega, 2003).

En consecuencia, las enfermedades por toxicidad de plomo Azcona *et al.* (2015) refiere lo siguiente:

“La toxicidad aguda se manifiesta con insuficiencia renal, encefalopatía y síntomas gastrointestinales; en la toxicidad crónica, que es más frecuente, se comprometen los sistemas hematopoyético, nervioso, gastrointestinal y reproductor” (p.74).

Por lo tanto, queda demostrado que la contaminación de suelos con plomo se da por el inadecuado transporte de minerales y que a su vez generan problemas relacionados con la salud del poblador.

## VII. CONCLUSIÓN

- Se evidenció un progreso gradual de investigación sobre fitorremediación de metales pesados por *Cynodon* sp. en 11 países a nivel mundial. Cabe enfatizar, que el continente asiático tuvo la mayor representatividad en número de estudios, sin embargo, el Perú tiene un desarrollo de investigación incipiente en el tema.
- Se logró demostrar que la planta *Cynodon* sp. presenta gran adaptabilidad en diversos tipos de suelo y climas, y además tiene una alta capacidad fitorremediadora para metales específicos como en plomo, zinc y cobre, así como, tolerancia a Fe, Ni, Co y Mn. Asimismo, se evidenció gran viabilidad en procesos de sinergia con otros organismos, fitoestabilización y restauración de suelos altamente contaminados con metales pesados.
- Por todo lo vertido, se puede expresar que el plomo es un metal altamente tóxico para el desarrollo de todo ser vivo siempre y cuando exista concentraciones significativas. Además, la presencia de la contaminación de plomo en suelo se debe principalmente por el transporte inadecuado de minerales desde minas hacia el principal terminal portuario del Perú (Callao). En consecuencia, se denota un alto impacto en el ecosistema de la flora y fauna edáfica, así como, la salud del poblador que habita en zonas aledañas a los depósitos o cercanas a la ruta de transporte de minerales.

## VIII. REFERENCIAS

- Adejumo, S., Oniosun, B., Akpoilih, O.A; Adeseke, A y Otomayo, A. (2020). Anatomical changes, osmolytes accumulation and distribution in the native plants growing on Pb-contaminated sites. *Environ Geochem Health*. <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00649-5>
- Albornoz, C., Larsen, K., Landa, R., Quiroga, M., Najle, R. y Marcovecchio, J (2016). Lead and zinc determinations in *Festuca arundinacea* and *Cynodon dactylon* collected from contaminated soils in Tandil (Buenos Aires Province, Argentina). *Environ Earth Sci*, 75, 742. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5513-9>
- Antamina (2018). Perú cuarto productor de plomo. <http://www.antamina.com/wp-content/uploads/2020/01/infografia-plomo-2018.pdf>
- Azcona, M., Ramírez, R. and Vicente, G. (2015). Toxic effects of lead. *Revista de Especialidades Médico - Quirúrgicas*, 20 (1), 72-77. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47345916012>
- Azula, R. (2106). *Análisis del sector minero en concentrados de zinc en el Perú*. [Tesis de maestría, Universidad de Piura] [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2938/MDE\\_1605.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2938/MDE_1605.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Benavides. R. (2012). *La minería responsable y sus aportes al desarrollo del Perú*. Perú. Lima. Comunica SAC. Recuperado de <https://www.buenaventura.com/assets/mineria-responsable/index.html#p=6>

- Begum, G. (2019). Phytoremediation of heavy metals Pb and Cr in contaminated soil by *Holcus lanatus* and *Cynodon dactylon* plants. *Journal of Science* 9, 49-54. <http://dx.doi.org/10.21276/jos.2019.9.2.3>
- Bonilla, S. (2013). Estudio para tratamientos de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el Método de fitorremediación. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur] <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4400/6/UPS-ST000985.pdf>
- Butler, A., Wynter, M., Medina, V. and Bednar, A. (2016). Depleted Uranium Toxicity, Accumulation, and Uptake in *Cynodon dactylon* (Bermuda) and *Aristida purpurea* (Purple Threawn). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 96, P 14–719. <https://doi.org/10.1007/s00128-016-1784-9>
- Castillo, B. (2013). *El efecto del EDTA sobre Medicago sativa L. y Cynodon dactylon L. en la extracción de metales pesados de suelo de Cuemanco, México*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México] [https://www.zaragoza.unam.mx/wpcontent/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis\\_castillo\\_delgado.pdf](https://www.zaragoza.unam.mx/wpcontent/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_castillo_delgado.pdf)
- Chandra, R., Kumar, V., Tripathi, S. y Sharma, P. (2018). Heavy metal phytoextraction potential of native weeds and grasses from endocrine-disrupting chemicals rich complex distillery sludge and their histological observations during in-situ phytoremediation. *Ecological Engineering*, 11, 143-156. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.007>

Chang, C., Yu, H., Chen, J., Li, F., Zhang, H., y Liu, C. (2014). Accumulation of heavy metals in leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta, South China. *Environment Monit Evaluation* 186(3), 1547–1560. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3472-0>

Chatterjee, S., Chetia, M., Singh, L., Chattopadhyay, B., Datta, S. y Mukhopadhyay, S.K. (2010). A study on the phytoaccumulation of waste elements in wetland plants of a Ramsar site in India. *Environ Monit Assess* ,178, 361–371. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1695-x>

Delgado, M., Alarcón, M., Valles, M., Melgoza, A., Lepoldina, D. y Leyva, A. (2017). Germination of *Bouteloua dactyloides* and *Cynodon dactylon* in a Multi-Polluted Soil. *Sustainability*. 9(1), 81. <https://doi.org/10.3390/su9010081>

Díaz, A. (2009). Contaminación por plomo en una zona urbano marginal del Callao en Perú. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/contaminacion-plomo-zona-urbano-marginal-callao-peru/>

Díaz, J. (2019). *Eficiencia en la gestión para el otorgamiento de permisos minero - ambientales y su efecto en las inversiones mineras en el Perú*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de San Marcos] <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11138>

Espinoza, R., Hernández-Avila, M., Narciso, J., Castañaga, C., Moscoso, S., Ortiz, G., Carbajal, L., Wegner, S. y Noonan, G. (2003). Determinants of blood-lead levels in children in Callao and Lima metropolitan area. *Salud publica de México*, 45 Suppl 2, S209–S219. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S00363634200300080000](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S00363634200300080000)

- França, T. (2019). Prospecção de plantas para fitorremediar áreas de mineração contaminadas com metais pesados na região de caçapava do sul (rs). [Tesis de posgrado, Universidad Federal de Pelotas]. <http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/4865>
- Feuchter, F. (2000). Manual de transferencia tecnológica para adoptar la metodología del establecimiento y manejo agropecuario, Biotecnología, propagación y uso sustentable de una pradera de zacate Bermuda *Cynodon dactylon* (L.) Pers. [https://nanopdf.com/download/monografi-5acd8441e2301\\_pdf](https://nanopdf.com/download/monografi-5acd8441e2301_pdf)
- García., S. (2013). Relación entre el grado de intoxicación por plomo en sangre y el nivel de desarrollo en los preescolares del C.E.I. N°118 Mi mundo feliz. Asentamiento humano Puerto nuevo–callao, 2013. *Rev. Perú. Obstet. Enferm.* 10 (1). <https://www.aulavirtualusmp.pe/ojs/index.php/rpoe/article/viewFile/711/555>
- Gallardo, D, Cabrera, I, Bruguera, N. y Madrazo, F. (2013). Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río. *Revista Avances*,15 (1). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5350852>
- Guirao-Goris,J.A., Olmedo Salas, A, y Ferrer Ferrandis, E.(2008). El artículo de revisión. *Revista Iberoamericana de Enfermería Comunitaria*, 1, 1- 6. [https://www.uv.es/joguigo/valencia/Recerca\\_files/el\\_articulo\\_de\\_revision.pdf](https://www.uv.es/joguigo/valencia/Recerca_files/el_articulo_de_revision.pdf)
- IPCS (1995). Inorganic lead. Environmental Health Criterio 165. Recuperado de <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc165.htm>

Kensa, V. (2011). Bioremediation-an overview. *I Control Pollution*, 27(2), 161-168.  
[https://www.researchgate.net/publication/244742374\\_Bioremediation\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/244742374_Bioremediation_An_Overview)

Kumar, A., Maiti, S., Tripti, Narasimha, M. y Shekhar, R.(2015) Grasses and legumes facilitate phytoremediation of metalliferous soils in the vicinity of an abandoned chromite–asbestos mine. *Journal of Soils Sediments* .Vol.17, P 1358–1368. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1323-z>

La Rotta, A. y Torre, M. (2017). Explotación minera y sus impactos ambientales y en salud. El caso de Potosí en Bogotá. *Saúde Debate*. Rio de Janeiro: 41 (112), 77-91.  
<https://doi.org/10.1590/0103-1104201711207>

Londoño, L., Londoño, P. y Muñoz, F., (2016). Risk of heavy metals in human and animal health. *Rev.Bio.Agro* ,14 (2). [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)

Mahohi, A. y Raiesi, F. (2020). The performance of mycorrhizae, rhizobacteria, and earthworms to improve Bermuda grass (*Cynodon dactylon*) growth and Pb uptake in a Pb-contaminated soil. *Environ Sci Pollut Res*. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10636-z>

Meza, A. (2012). Lenguaje oral en estudiantes de 5 años expuestos y no expuestos a Contaminación plúmbica – Callao. [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola]. <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/123456789/1226>

Mishra, T., Pandey, V., Praveen, A, Singh, N., Singh, N y Singh, D. (2020). Phytoremediation ability of naturally growing plant species on the electroplating wastewater-contaminated site. *Environ Geochem Healt*.42, 4101–4111.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32060865/>

Muscatello, J. R, y Janz, D. M. (2009). Selenium accumulation in aquatic biota downstream of a uranium mining and milling operation. *The Science of the total environment*, 407(4), 1318–1325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.046>

Neyra, L. (2012). *Lenguaje oral en estudiantes de 5 años expuestos y no expuestos a contaminación plúmbica – Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad San Ignacio de Loyola] <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/123456789/1226>

Perez, I., Meriño, L.; Perez, R.; Abalos, A.; Weyens, N. y Cuypers, A. (2019). Plantas herbáceas de ambientes contaminados como fuentes de bacterias degradadoras y promotoras del crecimiento vegetal. *Cultrop* .40 (2). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362019000200001](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000200001)

Ramírez, A. (2005). El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. *Anales De La Facultad De Medicina*, 66(1), 57-70. [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v66\\_n1/pdf/a09.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v66_n1/pdf/a09.pdf)

Regalado, I., Leiseca, A., Cabrera, Y., Franco, F. y Bulnes, C. (2014). Cambios anatómicos en la especie *Cynodon nlemfuensis Vanderhyst* en suelos contaminados por metales pesados. *Rev Cie Téc Agr* ,23 (4),37-42. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S207100542014000400007&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S207100542014000400007&lng=es&nrm=iso)

Rivera, F., Juárez, L., Hernández, S., Acevedo, O., Vela, G., Cruz, E., Moreno, I., Esquivel, A. y De León, F. (2013). Impacts of Manganese Mining Activity on the Environment:

Interactions Among Soil, Plants, and Arbuscular Mycorrhiza. *Arch Environ Contam Toxicol* .64, 219–227. <https://doi.org/10.1007/s00244-012-9827-7>

Rumaldo, R. (2019). *Descontaminación de Suelos con plomo usando Urtica urens y Fuertesimalva echinata Fertilizada con gallinaza en el Callao*. (Tesis de grado) Universidad Cesar Vallejo <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/38373>

Saxena G., Goutam S.P., Mishra A., Mulla S. y Bharagava R. (2019) Emerging and Ecofriendly Technologies for the Removal of Organic and Inorganic Pollutants from Industrial Wastewaters. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-3426-9\\_5](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-13-3426-9_5)

Sekabira, K., Oryem-Origa, H., Mutumba, G., Kakudidi, E. y Basamba, T. (2011). Heavy metal phytoremediation by *Commelina benghalensis* (L) and *Cynodon dactylon* (L) growing in Urban stream sediments. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 3(8), 133-142. Disponible en <http://www.academicjournals.org/ijppb>

Stumpf, L., Antonio, E., Spinelli, L., Fontana, F., Stumpf, T., Vaz, J., Furtado, G., Aldrighi, L. y Scheunemann, T. (2017). Gramíneas perenes e sua relação com a recuperação de atributos físicos de um solo degradado construído. *Revista de ciencia y tecnología de América*,.42 (2), 101-107. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5835866>

Universidad del Pacifico (2007). Estudio de sostenibilidad operativa en la carga de minerales por el muelle 5-E tras la implementación de la faja tubular en el terminal portuario del Callao. Recuperado de: <http://www.apam-peru.com/documentacion/BIBLIOTECA/EstudioMuelle5E.pdf>

- Wang,J., Luo, X.,Zhang, Y., Huang, Y., Rajendran, M. y Xue, S.(2018). Plant species diversity for vegetation restoration in manganese tailing wasteland. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 24101–24110. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2275-9>
- Wang, J., Cheng, Q., Xue, S, Ranjendran, M. y Liao, J. (2018). Pollution characteristics of surface runoff under different restoration types in manganese tailing wasteland. *Environ Sci Pollut Res. vol 25*, P. 9998–10005. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1338-2>
- Wang, J., Luo, X., Zhang, Y. Huang, Y., Rajendran, M. y Xue, S. (2018). Plant species diversity for vegetation restoration in manganese tailing wasteland. *Environ Sci Pollut Res. 25*, 24101–24110. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2275-9>
- Wong, M. H. (2003). Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. *Chemosphere*, 50(6),775-780. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00232-1](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00232-1)
- Wu, F., Leung, H.M, Ye, Z.H; Lin.X., y Wong, M.H. (2010). Accumulation of As, Pb, Zn, Cd and Cu and arbuscular mycorrhizal status in populations of *Cynodon dactylon* grown on metal-contaminated soils. *Applied Soil Ecology*. 44, 213-218. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.12.008>
- Xie, Y., Luo, H., Hu, L., Sun, X., Lou, Y., y Fu, J. (2014). Classification of genetic variation for cadmium tolerance in Bermudagrass [*Cynodon dactylon* (L.) Pers.] using physiological traits and molecular marker. *Ecotoxicology*, 23, 1030–1043. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24804624/>

- Yang, S., Liang, S; Yi, L; Xu, B., Cao, J., Guo, Y. y Zhou, Y. (2013). Heavy metal accumulation and phytostabilization potential of dominant plant species growing on manganese mine tailings. *Front. Environ. Sci. Eng.*, 8, 394–404. <https://doi.org/10.1007/s11783-013-0602-4>
- Yuan, Y., Yu, S., Bañuelos, G. y He, (2016). Accumulation of Cr, Cd, Pb, Cu, and Zn by plants in tanning sludge storage sites: opportunities for contamination bioindication and phytoremediation. *Environmental Science and Pollution Research*. Vol 23, P. 22477–22487. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7469-4>
- Valdez, Y. (2016). Breve resumen del impacto de la minería en el Perú. *Researchgat*. [https://www.researchgate.net/publication/304824894 Breve resumen del impacto de la mineria en el Peru](https://www.researchgate.net/publication/304824894_Breve_resumen_del_impacto_de_la_mineria_en_el_Peru)
- Vega, J., Coll, J., Katekaru, D., Lermo, J., Escobar, J., Díaz, M., Berrocal, V., Gómez, J., Díaz, G., Arroyo, A. y Castro, J. (2003). Intoxicación plúmbica crónica y alteraciones del crecimiento y desarrollo cognitivo-emocional en niños. *Anales de la Facultad de Medicina*. 64 (2), 94 – 100. <http://www.scielo.org.pe/pdf/afm/v64n2/a03v64n2.pdf>
- Zhang, L., Ozias, P., Kochert, G., Kresovich, S., Dean, R. y Hanna, W. (1999). Differentiation of bermudagrass (*Cynodon* spp.) genotypes by AFLP analyses. *Theor Appl Genet*. 98: 895-902. <https://doi.org/10.1007/s001220051148>
- Zurita, E. (2018). El transporte en la minería. Recuperado de <https://www.logistica360.pe/el-transporte-en-la-mineria/>