

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Fitorremediación de suelos contaminados por metales
(Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maiz “Zea
mays. L” en la minería**

Por:

Mileny Chinchay Inga
Kenyi Isaac Chamorro Ricaldi

Docente:

Mg. Iliana del Carmen Gutiérrez Rodríguez

Lima, julio de 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg. Iliana del Carmen Gutiérrez Rodríguez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: ***“Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maiz “Zea mays. L” en la minería.”*** constituye la memoria que presenta los estudiantes **Mileny Chinchay Inga y Kenyi Isaac Chamorro Ricaldi** para aspirar al grado académico de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 19 días de agosto del año 2020.



Mg. Iliana del Carmen Gutiérrez Rodríguez

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a.....30..... día(s) del mes de.....julio.....del año .2020., siendo las... 14:30...horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):
..... Lic. Gina Marita Tito Tolentino..... el(la) secretario(a):
..... Ing. Erick Jose Quispe Mamaní..... y los demás miembros:
..... Mg. Luis Alberto Palacios Choque, Mg. Santiago Ramirez Lopez.....
.....y el(la) asesor(a) Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez.....
.....con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maiz "Zea mays. L" en la minería.....

.....de los (las) egresados (as): a) Kenyi Isaac Chamorro Ricaldi.....
.....b) Mileny Chinchay Inga.....
.....conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en
.....Ingeniería Ambiental.....
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando.....a los..... candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por.....los..... candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Kenyi Isaac Chamorro Ricaldi.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

Candidato/a (b): Mileny Chinchay Inga.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó.....a los.....candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Candidato/a (a)

Candidato/a (b)

Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maíz “*Zea mays. L*” en la minería.

Phytoremediation of soils contaminated by metals (Lead and Cadmium) by native plant Maiz "*Zea mays. L*" in mining.

CHINCHAY INGA, MILENY¹, CHAMORRO RICARDI, KENYI ISAAC²

EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.

Resumen

Los suelos de la minería del País se caracterizan por tener metales que causan daños severos al ambiente; entre las opciones de tratamiento se evalúa la capacidad fitorremediadora del Maíz en suelos contaminados por Pb y Cd. Se realizó una búsqueda en scielo, redalyc, science direct y EBSCOhost con las palabras: “*Zea mays. L*” fitorremediación en la minería, se seleccionaron 40 artículos para evaluar la capacidad fitorremediadora del Maíz. Las modalidades de tratamiento fue analizar qué tan efectiva es la planta del Maíz para remover Plomo y Cadmio de estos suelos contaminados de la minería, los tratamientos con mejores resultados fueron analizar la capacidad fitorremediadora evaluada en maseteros después que la planta haya alcanzado su crecimiento total, luego de los análisis del estudio en laboratorios acreditados la planta fue más efectiva removiendo Plomo. Por consiguiente; la planta de maíz acumula mayor cantidad de plomo en las raíces, hojas y tallos, indicando que el Maíz es una planta estabilizadora más eficiente para este metal. El objetivo de este trabajo es presentar una revisión de la literatura sobre la capacidad fitorremediadora de la planta nativa *Zea mays. L* para suelos contaminados por Pb y Cd en la minería. Al ser esta planta muy eficiente absorbiendo Plomo ayudará en gran manera a los suelos contaminados de la minería por este metal y de la misma manera ayudará a que la salud de las personas aledañas a la minería no se vea afectada.

Palabras clave: Fitorremediación, Plomo, Cadmio, minería, *Zea mays. L*.

Abstract

The country's mining soils are characterized by having metals that cause severe damage to the environment; Among the treatment options, the phytoremediation capacity of Maize in soils contaminated by Pb and Cd was evaluated. A search was made in science, writing, direct science and EBSCOhost with the words: “*Zea mays. L*” phytoremediation in mining, select 40 items to evaluate the phytoremediation capacity of Maize. Treatment modalities to analyze how effective the Maize plant is in removing Lead and Cadmium from these contaminated mining soils, the treatments with the best results were analyzed for the ability of the phytoremediator to analyze in pots after the plant has reached its growth Overall, after analysis of the study in accredited laboratories, the plant was more effective in removing Lead. Logically; the corn plant accumulates more lead in the roots, leaves and stems, indicating that corn is a more efficient stabilized plant for this metal. As this plant is very efficient in absorbing Lead, it greatly helps the soils contaminated by mining by this metal and, in the same way, helping the health of people close to mining is not affected.

Key word: Phytoremediation, Lead, Cadmium, Mining, *Zea mays. L*.

*Correspondencia de autor: km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima.

1. Introducción

El suelo es un recurso esencial del ambiente y de suma importancia para la vida, la cual es vulnerable a muchos cambios, toma un largo tiempo recuperarlo, por lo tanto, es considerado un recurso natural no renovable (Barsova *et al.*, 2019). Los suelos tras una explotación minera quedan con todo tipo de materiales residuales, lo que presenta grandes problemas de desarrollo para la vegetación, teniendo como características principales: la textura desequilibrada (Lin *et al.*, 2019), ausencia de su estructura edáfica, también propiedades químicas anormales (Enya *et al.*, 2019), la disminución en el contenido de nutrientes, baja profundidad efectiva, la capacidad de cambio es muy baja, retención de agua muy baja, y la presencia de muchos compuestos tóxicos (Tang & Riley, 2019).

Los metales se consideran altamente tóxicos ya que son de fácil absorción y pueden alterar los componentes del suelo, en los seres humanos estos metales, aún en pequeñas cantidades, pueden causar severos efectos de salud y fisiológicos (Silva & Correa 2009). Entre los metales más extraídos se encuentra el cadmio, el cual es cancerígeno y el Plomo, que en concentraciones altas causa enfermedades al sistema nervioso e incluso la muerte. Ante tal escenario de degradación ambiental debido al impacto de los metales en el suelo, surgieron varios planteamientos acerca de cómo contrarrestar este problema (Delgadillo *et al.*, 2011).

Una de las alternativas para contrarrestar los efectos causados por metales es la Fitorremediación ya que su principal trabajo es descontaminar los suelos valiéndose de especies nativas, las cuales son capaces de separar, metabolizar y acumular sustancias tóxicas que contiene el suelo (Marín Velázquez, 2016), la mayor ruta de entrada de contaminantes en el suelo tienen su origen en derrames, también degradación de fósiles y descargas de los desechos domésticos (Xia *et al.*, 2019). Es importante saber que la Fitorremediación ofrece ventajas adicionales al suelo, por ejemplo: población microbiana en el subsuelo, también elevada cantidad de carbón orgánico, la aeración del suelo es mejorada por la liberación de oxígeno que se da por las raíces, transformaciones de compuestos tóxicos a compuestos con menos toxicidad (Zeng *et al.*, 2019).

(Pastor *et al.*, 2011) nos dice que el *Zea mays. L* es una planta fitorremediadora para suelos contaminados por metales (plomo y cadmio) según sus estudios dan resultados que la planta absorbe los metales pesados del suelo con mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz, confirmando que contribuye a solubilizar tales metales del suelo.

Asimismo; este artículo de revisión presenta una alternativa para suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maíz "*Zea mays. L*" en la minería a través de la Fitorremediación.

2. Degradación de suelos por la actividad Minera

Si bien muchas de las sustancias contaminantes pueden encontrarse en forma natural en el suelo, muchas de ellas tienen como fuentes principales las actividades humanas como la minería, la explotación petrolera, actividades agrícolas, industriales, inclusive las actividades en las ciudades a través del mal manejo de los residuos sólidos y aguas residuales, entre otros (Munive, 2017). Dentro de las principales sustancias contaminantes se incluyen a los metales pesados como el plomo, cadmio, cromo, arsénico, zinc, cadmio, cobre, mercurio y níquel, siendo el plomo y cadmio el objeto de estudio del presente artículo de revisión (Chanco & Mariano, 2014).

La contaminación del suelo es una consecuencia inevitable de la actividad minera, ya que este recurso se ve afectado directamente por la minería provocando desertización, erosión y pérdida del suelo fértil (Valles, 2008). Así mismo afecta las propiedades físicas del suelo como variaciones en la

textura (porosidad, permeabilidad), como pérdida física del suelo por acumulación de escombreras o construcciones realizadas por infraestructura (Huerta, 2019) . También altera sus propiedades químicas por la contaminación de metales como (Cu, Pb, Cd, Hg, etc.), con revisión de la literatura se busca ver la remoción de dos metales en específico (Plomo, Cadmio) para su posterior remediación con especie de planta nativa Maíz "*Zea mays L*" para su efectividad en la remediación de suelos contaminados (Moreno, 2017).

La fitorremediación es una respuesta de mejora para suelos contaminados por metales, por ende; la población será beneficiada ya que hará que los suelos afectados por la minería sean fértiles y útiles para una buena agricultura, asimismo para que la vegetación de dicho lugar vuelva a su estado natural (Argota et al., 2014).

3. Tipos de contaminación en el suelo

La contaminación del medio ambiente es uno de los problemas que se da a causa de la incorporación de algún tipo de energía, organismo o sustancia que afecta a los ecosistemas modificando sus características o propiedades (Metzg *et al.*, 2013). Esto es debido a las actividades antropogénicas o también se puede dar de forma natural (Valles, 2008) y esto se puede clasificar en:

Contaminantes orgánicos: Los contaminantes orgánicos del suelo son muy variables y su presencia en el suelo se debe a diversas actividades humanas (Méndez *et al.*, 2008) . En comparación con los compuestos inorgánicos, estos contaminantes son menos tóxicos para las plantas, ya que son menos reactivos y se acumulan en menor proporción (Ortiz *et al.*, 2009).

Contaminantes inorgánicos: Incluyen metales pesados como Co, Cr o Cu y elementos no metálicos como el As y B (Cabezas *et al.*, 2004). Algunos elementos son esenciales para la nutrición y crecimiento de plantas como (B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn) y animales (As, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn, Cr, F, Ni, Se, Sn y V) (Peláez *et al.*, 2016). La toxicidad de estos elementos depende de la concentración, la forma química y su persistencia (Alexandra *et al.*, 2015).

En general, existen tres tipos de remoción de contaminantes: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas) y biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas o de procesos de bioabsorción) (Clara et al., 2008).

4. Estrés por metales en el suelo

Existen metales que son esenciales para un buen desarrollo de las plantas como el Mn, el Fe, el Zn o el Cu y también existen metales como el Cr, V, Ti, Co y Se, que no pueden ser esenciales para la planta pero que si son beneficios. Sin embargo, actividades humanas y entre las principales la minería, libera sobre todo al suelo una gran cantidad de metales como plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo que resultan ser muy tóxicos para las plantas (Mujtaba et al., 2020).

En la actualidad se conocen mecanismos de absorción de metales a través de las membranas vegetales. Sin embargo, se sabe que, por difusión, flujo en masa e intercambio catiónico, los metales alcanzan fácilmente a las raíces y es este órgano la entrada principal del metal en plantas superiores (Xia et al., 2019).

5. Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio)

5.1. Plomo:

Entre los metales pesados, el plomo (Pb) es un contaminante potencial ya que se acumula con facilidad en suelos y sedimentos (Quito & Sur, 2012). La presencia de Pb en el ambiente se debe principalmente a las actividades antrópicas (Argota et al, 2014). El Pb no es un elemento esencial para las plantas, los animales o para los seres humanos, por lo que concentraciones elevadas de este metal pesado en los humanos causan diferentes síntomas de toxicidad tales como: retraso del crecimiento, impacto al sistema nervioso, entre otros (Huerta, 2019). La fitorremediación es una tecnología alternativa de bajo costo que consiste en la utilización de plantas para descontaminar los suelos (Valles, 2008).

5.2. Cadmio:

El cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos, constituyendo un grave riesgo para los ecosistemas y la salud humana (Sánchez, 2015). La fitorremediación es una tecnología emergente que pretende solventar problemas de contaminación mediante el uso de plantas, de manera económica y respetuosa con el medio ambiente (Moreno, 2017).

Las concentraciones de Cd en suelos no contaminados normalmente son menores a 0.5 mg / kg, pero puede alcanzar hasta 3 mg / kg dependiendo del material parental del suelo (Mojiri, 2011). El cadmio es un contaminante particularmente peligroso. A bajas concentraciones, el Cd no es tóxico para las plantas, pero a concentraciones más altas es tóxico y característico inhibe el crecimiento de las raíces y la división celular. La fitorremediación es una técnica emergente y de bajo costo (Casa, Río, & Sandalio, 2008). El maíz es un cultivo agrícola común e importante en todo el mundo que se ha utilizado en muchos estudios de contaminación elemental. El maíz probó ser una planta muy eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados con Cd, pero a bajas concentraciones (Condo, 2018).

El plomo es un miembro elemental del grupo IVB de los elementos. La contaminación por plomo es debida a la extracción de minerales (Larissa & González, 2017). La absorción de plomo como metal en el suelo sigue la relación de Langmuir, incrementándose en función al incremento de pH. El plomo transportado desde el suelo hacia las células tiene que cruzar la membrana plasmática de las células de la raíz (Huerta, 2019). El maíz probó ser una planta muy eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por Pb pero a mayores concentraciones (García, 2006).



Figura 1. Planta Maíz "*Zea mays L.*"

Fuente: Eduardo Zubiri



Figura 2. Planta fitorremediadora *Zea mays* L.
Fuente: Francisco Manuel Blanco

Tabla 1. Taxonomía de la planta *Zea mays* L.

Taxonomía	
Reino	Plantae
Subdivisión	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Subfamilia	Panicoideae
Tribu	Andropogoneae
Subtribu	Tripsacinae
Genero	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i>

Fuente: Francisco Manuel Blanco.

6. Fitorremediación ex situ con planta Maíz "*Zea mays* L" para suelos contaminados con Plomo y Cadmio

Zona de estudio: Descripción del lugar de ejecución, se presenta la ubicación del área de estudio (Singh et al., 2015).

Muestreo: En base a un muestreo se recogen las muestras de suelo para ser analizadas, se describen que tipo de suelo son y luego son analizadas para ver la concentración de Pb y Cd existente para que después de llevar a cabo la fitorremediación con *Zea mays L* ver que tan efectivo es este método para remover el Pb Y Cd de suelos contaminados (Munive, 2017).

Componentes de estudio: Se describen a los suelos que van a ser analizados, también a la planta que va ser utilizada para el proceso de fitorremediación en este caso el maíz *Zea mays L* y también algún aditivo ya sea orgánico o químico que va ser utilizado para mayor efectividad de la fitorremediación (Lu et al., 2017).

Cultivo de la planta a ser utilizada: Se designan en que cantidad de maceteros van a ser distribuidos la muestra de suelos contaminados de Pb y Cd, luego se planta el Maíz y se le añade algún aditivo ya sea orgánico o químico para mayor efectividad de la fitorremediación. Después de la cosecha se analizan las raíces, hojas y tallos de cada maceta (Ghani, 2010).

Uso de un diseño experimental: Se hace uso de un diseño experimental para analizar los diferentes tratamiento y repeticiones realizadas para luego poder interpretar los resultados (Falcon Estrella, 2017).

Resultados y discusión: Finalmente después del uso del diseño experimental se llega a la conclusión y analizar qué tan efectiva fue la fitorremediación con maíz para remover Pb y Cd de suelos contaminados (Ahmad et al., 2018).

7. Resultados de los análisis de estudios realizados con la planta fitorremediadora Maíz “*Zea mays L*”

Tabla 2. Análisis de caracterización de los suelos agrícolas.

Autores	Titulo	Planta fitorremediadora	Análisis de Caracterización			
			Características	Unidad	Mantaro	Muqui
(Rubén Munive Cerrón; Oscar Loli Figueroa; Andrés Azabache Leyton; Gilberto Gamarra Sánchez)	Fitorremediación con Maíz (<i>Zea mays L.</i>) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados.	<i>Zea mays L.</i>	Clase textual	-	Franco Arcilloso	Franco Arenoso
			PH	-	7.30	7.85
			M.O.	%	3.56	2.30
			C.I.C Total	meq/100	20.00	11.20
			Pb	mg/k g	208,2 4	1174, 44
			Cd	mg/k g	6,76	8,26

Fuente: Rubén Munive Cerrón

En la tabla podemos observar los análisis de la caracterización para dos tipos de suelos con los cuales se trabajó para el proceso de fitorremediación con el maíz (*Zea mays L.*)

Tabla 3. Fitorremediación de Pb y Cd (mg/kg) por el cultivo del maíz

Tratamientos	Plomo (mg/kg)				Cadmio (mg/kg)			
	Hojas	Tallos	Raíces	Total	Hojas	Tallos	Raíces	Total
MA T1 (Compost)	7,60	3,35	36,95	47,90	0,65	0,35	8,55	9,55
MA T2 (Vermicompost)	9,25	4,38	56,04	69,67	0,45	0,38	13,31	14,14
MA T3 (Químico)	7,13	4,40	70,98	82,51	1,05	0,60	13,50	15,15
MU T1 (Compost)	10,28	4,98	192,88	208,14	1,15	0,25	4,73	6,13
MU T2 (Vermicompost)	10,30	6,03	379,50	395,83	0,25	0,23	7,23	7,71
MU T3 (Químico)	14,90	11,33	309,25	335,48	0,24	0,28	6,45	6,97

Fuente: Rubén Munive Cerrón

En la tabla podemos observar los resultados después de aplicar tres tipos de tratamiento en la fitorremediación con maíz para dos tipos de suelo contaminados por Pb y Cd.

Tabla 4. Cantidades de metales pesados agregados al suelo en varios niveles.

Autor	Titulo	Planta fitorremediadora	Concentración de metales			
			Metal	Concentración (mg/kg)		
Abdul Gani	Efectos tóxicos de los metales pesados sobre el crecimiento vegetal y el metal Acumulación en maíz (Zea maysL.)	Zea mays L.	Pb	98,00	196,19	377,34
			Cd	7,3	13,4	26,6

Fuente: Abdul Gani

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones con las cuales se trabajó el proceso de fitorremediación con maíz.

Tabla 5. Rendimiento de semilla de la planta de maíz expuesta a varios niveles de metales.

Tratamiento de metales	Peso seco del brote (g/maceta)			Peso seco de la raíz (g/maceta)			Peso de la semilla (g/maceta)		
	3	6.6	9.9	3	6.6	9.9	3	6.6	9.9
Pb	4,03	3,49	1,90	3,51	2,81	1,40	5,04	3,98	3,09
Cd	1,70	1,16	0,85	1,02	0,89	0,66	1,99	1,38	0,95

Fuente: Abdul Gani

En la siguiente tabla se muestra los resultados a diferentes concentraciones de metales (Pb y Cd) en el brote la raíz y la semilla de la planta fitorremediadora maíz (*Zea mays L.*)

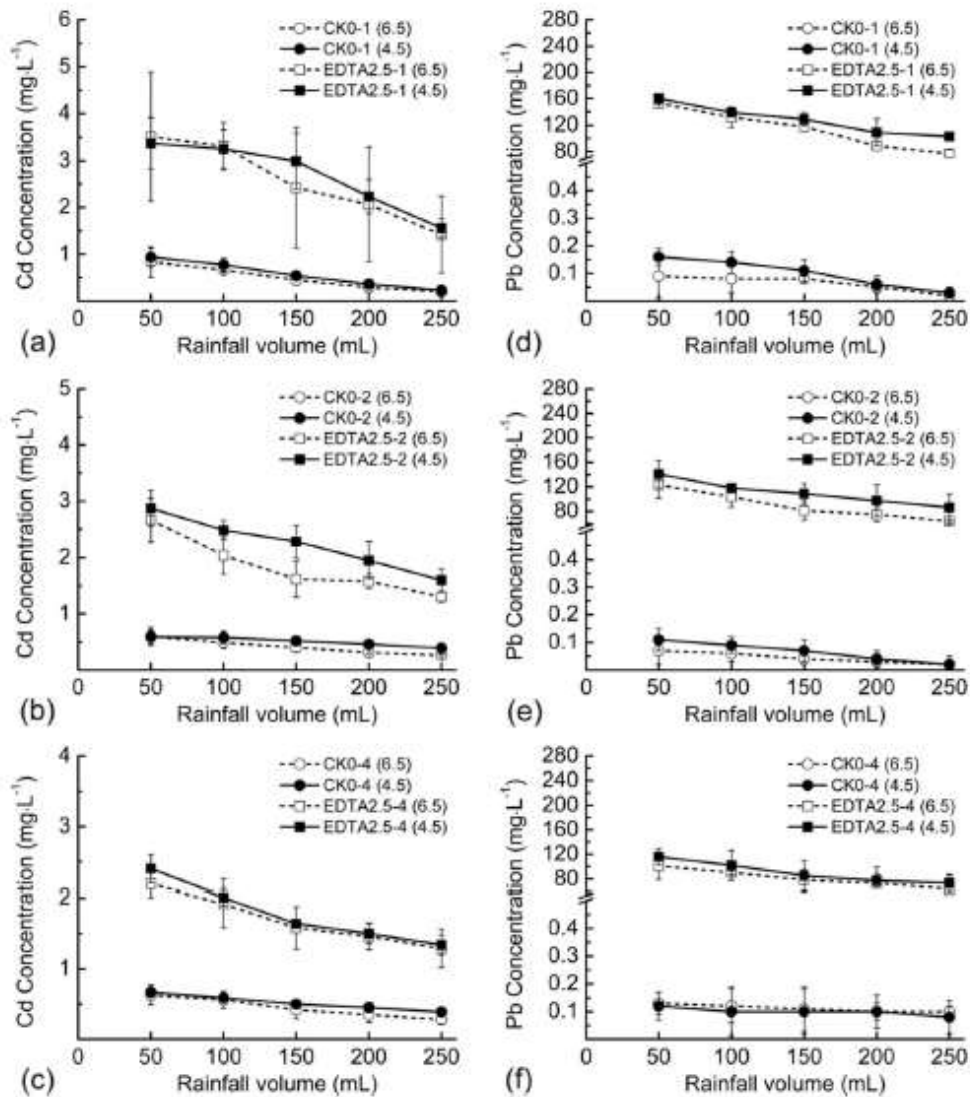
Tabla 6. Propiedades fisicoquímicas del suelo contaminado utilizado en el presente estudio.

Autor	Título	Planta fitorremediadora	Propiedades fisicoquímicas	
Yayin Lu & Dinggui Luo & An Lai & Guowei Liu & Lirong Liu & Jianyou Long & Hongguo Zhang & Yongheng Chen	Características de lixiviación de la fitoextracción mejorada con EDTA de Cd y Pb por <i>Zea mays L.</i> en diferentes fracciones del tamaño de partícula de agregados del suelo expuestos a lluvia artificial	<i>Zea mays L.</i>	PH	4,5
			Textura	Franco Arcilloso
			C.E.C	3,3
			O.M	15,4
			Pb	53,30
			Cd	0,12

Fuente: Yayin Lu

En la siguiente tabla se muestra las propiedades fisicoquímicas el suelo con el que se trabajó el proceso de fitorremediación con maíz.

Tabla 7. Resultados de la concentración de Pb y Cd.



Fuente: Yayin Lu

En los siguientes gráficos se muestra los diferentes tratamientos utilizados en la fitorremediación con maíz para reducir la concentración de los metales en el suelo contaminado.

8. Conclusiones

La planta nativa del maíz "*Zea mays L*" resulto eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por Plomo y Cadmio en la minería. Por ende, la fitorremediación con esta la planta nativa resulta una alternativa sostenible, ya que contribuye a disminuir el gran problema de la contaminación de los suelos por metales de (Plomo y Cadmio) ocasionados por la actividad minera. Asimismo; se requiere más investigación o estudios sobre las interacciones de plantas fitorremediadoras para contribuir a la sostenibilidad del ambiente y en la medida que este conocimiento se incremente será posible una aplicación más eficiente y de gran escala de esta tecnología.

9. Referencias

- . C., Alexandra, I., & Díaz, R. (2015). Fitorremediación in Situ Para La Recuperación De Suelos Contaminados Por Metales Pesados (Plomo Y Cadmio) Y Evaluación De Selenio En La Finca Furatena Alta En El Municipio De Útica (Cundinamarca), 13–43.
- Ahmad, M., Usman, A. R. A., Al-Faraj, A. S., Ahmad, M., Sallam, A., & Al-Wabel, M. I. (2018). Phosphorus-loaded biochar changes soil heavy metals availability and uptake potential of maize (*Zea mays* L.) plants. *Chemosphere*, *194*, 327–339. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.156>
- Argota Pérez, G., Encina Cáceres, M., Argota Coello, H., & Iannacone O., J. (2014). Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus magellanicus* var. *bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae), Puno, Perú. *The Biologist*, *12*(1), 99–108. <https://doi.org/ISSN 1994-9073>
- Barsova, N., Yakimenko, O., Tolpeshta, I., & Motuzova, G. (2019). Current state and dynamics of heavy metal soil pollution in Russian Federation—A review. *Environmental Pollution*, *249*, 200–207. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.020>
- Cabezas, J., Alonso, J., Pastor, J., Sastre-Conde, I., & Lobo, M. (2004). Absorción y acumulación de metales pesados en tres especies vegetales en suelos enmendados con lodos de depuradora. *Environmental Biotechnology and Engineering*, 6–8.
- Casa, N. M., Río, L. A., & Sandalio, L. M. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*, *17*(3), 139–146. <https://doi.org/10.7818/re.2014.17-3.00>
- Chanco, M., & Mariano, M. (2014). Capacidad Fitorremediadora De 5 Sp Altoandinas En Suelos Contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, *21*(October), 145–154.
- Clara, V., Astete, J., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., Pari, J., ... Plomo, N. P. O. R. (2008). 5705-9447-1-PB.pdf, *5*(1), 55–63.
- Condo, J. (2018). Determinación de niveles de cadmio en granos de maíz (*Zea mays* L.) de la costa y sierra ecuatoriana. (Tesis de Grado). Retrieved from <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/29427>
- Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandova, O. (2011). Phytoremediation: An alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *14*(2), 597–612.
- Enya, O., Lin, C., & Qin, J. (2019). Heavy metal contamination status in soil-plant system in the Upper Mersey Estuarine Floodplain, Northwest England. *Marine Pollution Bulletin*, *146*(March), 292–304. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.026>
- Falcon Estrella, J. V. (2017). Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con *Zea mays* L. en la estación experimental el Mantaro - Junin” en el año 2016. *Universidad Nacional Del Centro Del Peru*, 135. Retrieved from <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4611>
- García, D. (2006). Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de *Zea mays* L. expuestas a la toxicidad por plomo. *Tese Universidad Autònoma de Barcelona*, 129.
- Ghani, A. (2010). Toxic Effects of Heavy Metals on Plant Growth and Metal Accumulation in Maize (*Zea mays*L.). *Iranian Journal of Toxicology*, *4*(3), 325–334.

- Huerta, K. V. (2019). "Evaluación de la biorremediación y fitorremediación para la absorción de PB en suelos contaminados por relave minero" Trabajo. *Tesis*, 1–123. Retrieved from <http://repositorio.cientifica.edu.pe:8080/handle/UCS/710>
- Larissa, A., & González, P. (2017). No Title.
- Lin, Y., Ye, Y., Hu, Y., & Shi, H. (2019). The variation in microbial community structure under different heavy metal contamination levels in paddy soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 180(May), 557–564. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.057>
- Lu, Y., Luo, D., Lai, A., Liu, G., Liu, L., Long, J., ... Chen, Y. (2017). Leaching characteristics of EDTA-enhanced phytoextraction of Cd and Pb by *Zea mays* L. in different particle-size fractions of soil aggregates exposed to artificial rain. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), 1845–1853. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7972-7>
- Marín Velázquez, T. D. (2016). Crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) en un suelo contaminado con petróleo y remediado con extracto de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*). *Enfoque UTE*, 7(3), 1–13. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n3.101>
- Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2008). Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 19–44.
- Metzg, C. L., Raphanus, Y., Hoyos-cerna, M., & Guerrero-padilla, A. (2013). BIOACUMULACIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN Brassica oleracea SUBSP. CAPITATA (L.) METZG. Y Raphanus sativus L. *Sciéndo*, 16(2), 70–82.
- Mojiri, A. (2011). The Potential of Corn (*Zea mays*) for Phytoremediation of Soil Contaminated with Cadmium and Lead. *J. Biol. Environ. Sci*, 5(13), 17–22.
- Moreno Gallego, C. (2017). Fitorremediación en un suelo salino afectado por contaminación con cadmio en el agua de riego.
- Mujtaba Munir, M. A., Liu, G., Yousaf, B., Ali, M. U., Abbas, Q., & Ullah, H. (2020). Synergistic effects of biochar and processed fly ash on bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by maize (*Zea mays* L.) in coal-mining contaminated soil. *Chemosphere*, 240, 124845. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124845>
- Munive. (2017). Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación. *Universidad Nacional Agraria La Molina*, 0–168. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3770>
- Ortiz-Cano, H. G., Trejo-Calzada, R., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Flores-Hernández, A., & López-Ariza, B. (2009). PHYTOEXTRACTION OF LEAD AND CADMIUM IN CONTAMINATED SOILS USING PIGWEED (*Amaranthus hybridus* L.) AND MYCORRHIZA. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, XV(2), 161–168. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.15.022>
- Pastor, J., Gutiérrez-Ginés, M. J., & Hernández, A. J. (2011). Respuesta del maíz (*Zea mays*) en suelos contaminados por metales pesados después de crecer una comunidad de pasto, 176–184.
- Peláez-Peláez, M.-J., Bustamante-Cano, J.-J., & Gómez-López, E.-D. (2016). Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de brachiaria en el Magdalena Medio colombiano. *Luna Azul*, 43(43), 82–101.

<https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.5>

Quito, S., & Sur, C. (2012). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito - Campus Sur.

Sánchez García de la Torre, V. (2015). Tolerancia al estrés por cadmio y mercurio en *Medicago spp*: Análisis de los mecanismos implicados y potencial aplicación en fitorremediación. Retrieved from <https://repositorio.uam.es/handle/10486/666631>

Silva, S., & Correa, F. (2009). Análisis de la contaminación del suelo: Revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre Económico*, 12(23), 13–34. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/seec/v12n23/v12n23a2>

Singh, S., Srivastava, P. K., Kumar, D., Tripathi, D. K., Chauhan, D. K., & Prasad, S. M. (2015). Morpho-anatomical and biochemical adapting strategies of maize (*Zea mays L.*) seedlings against lead and chromium stresses. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(3), 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.03.004>

Tang, J., Zhang, J., Ren, L., Zhou, Y., Gao, J., Luo, L., ... Chen, A. (2019). Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution. *Journal of Environmental Management*, 242(November 2018), 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.061>

Valles, M. C. (2008). Fitorremediación Y Estabilización Química En La Recuperación De Suelo Contaminado Con Metales Pesados.

Xia, Z., Zhang, S., Cao, Y., Zhong, Q., Wang, G., Li, T., & Xu, X. (2019). Remediation of cadmium, lead and zinc in contaminated soil with CETSA and MA/AA. *Journal of Hazardous Materials*, 366(November 2018), 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.109>

Zeng, S., Ma, J., Yang, Y., Zhang, S., Liu, G. J., & Chen, F. (2019). Spatial assessment of farmland soil pollution and its potential human health risks in China. *Science of the Total Environment*, 687, 642–653. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.291>