



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON
PLOMO EN ZONAS MINERAS DE PERÚ”

Trabajo de Investigación para optar el grado académico de
Bachiller en: Ingeniería Ambiental

Presentado por:

Lady Jannira Vargas García (0000-0003-3059-5378)

Asesor:

Blgo. Víctor Jassmani Vargas García: (0000-0001-6766-4141)

Lima – Perú

2021



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°107-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 28 de junio de 2019

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú**, presentado por:

- **Lady Jannira Vargas Garcia**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller en **Ingeniera Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú** con N° de registro de la carrera: **011-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Blgo. Victor Jassmani Vargas García** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.



Mg. Gonzalo Francisco Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO EN ZONAS MINERAS DE PERÚ

Lady Jannira Vargas García¹ y Víctor Jassmani Vargas García¹

¹*Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur.*

RESUMEN

La contaminación de suelos es la presencia de agentes químicos que se encuentran en una determinada concentración y generan un efecto negativo. Las fuentes de contaminación pueden ser natural o antropogénica. La importancia de escoger un método o técnica de remediación se basará en la eficacia de esta y en los costos que puede conllevar realizarlo, tenemos el lavado de suelos, la remediación y la fitorremediación que es una tecnología viable en comparación a otras y genera menos perjuicios al ecosistema. En el Perú las especies estudiadas y con resultados positivos fueron: ***Alopecurus magellanicus bracteatus***, ***Muhlenbergia angustata***, ***Helianthus annus L. (girasol)*** y ***Zea mays (maíz)***. Su principal ventaja es que tiene un efecto positivo sobre el suelo y mejora sus propiedades físicas y químicas.

ABSTRACT

Soil contamination is the presence of chemical agents that are found in a certain concentration and generate a negative effect. Sources of contamination can be natural or anthropogenic. The importance of choosing a remediation method or technique will be based on its effectiveness and the costs that it may entail, we have soil washing, remediation and phytoremediation, which is a viable technology compared to others and generates less damage to the ecosystem. In Peru, the species studied and with positive results were: *Alopecurus magellanicus bracteatus*, *Muhlenbergia angustata*, *Helianthus annus L.* (sunflower) and *Zea mays* (corn). Its main advantage is that it has a positive effect on the soil and improves its physical and chemical properties.

INTRODUCCIÓN

El Perú es el primer productor de plomo en Latinoamérica (ProActivo, 2018) y a nivel mundial ocupa el cuarto lugar (MINEM, 2017); esto convierte a la minería en una actividad que genera ingresos importantes al país, aportando el 10% del PBI para el año 2017 (IPE, 2018), y generando aumento en la producción de hasta 5,75% (IPE, 2018) en la primera mitad del año 2018, siendo la región de Pasco el principal productor con 53,857 TMF y aportando el 30,21% de la producción nacional de concentrado de plomo (GESTION, 2015).

La OMS realizó un estudio donde se determinó que 1,6 millones de personas en Perú viven en un radio de 5 km de actividades mineras, independientemente de si la actividad está activa o cerrada (OMS, 2012). En la Oroya, cuando el estándar es 140 mg/kg, el contenido de plomo identificado en el hogar fue superior a 2000 mg/kg (El Comercio, 2015). Por otro lado, la preocupación por la contaminación en el ambiente se ha incrementado en los últimos años, ya que la actividad minera abarca el 12,8% del territorio peruano que equivale a 16 441,000 ha que fueron concesionadas a la actividad minera (MINEM, 2017). Es así que la minería a pesar de generar ingresos al país, perjudica no solo al ambiente sino a la economía y a la sociedad, repercutiendo en la salud de las poblaciones que están cerca de las áreas de esta actividad (RPP, 2016).

Recientes estudios indicaron que la contaminación de suelos por plomo en pueblos como la Oroya se dio desde los inicios de la actividad minera en 1992, se calcula que entre 2400 km² y 2800 km² de suelo están afectados con plomo (Díaz, 2016), en el caso de la selva peruana la actividad minera ha destruido más de 50 mil hectáreas de bosque (Asner et al., 2013). Se conoce que hasta el año 2016 existió un total de 8854 pasivos ambientales mineros, dentro de ellos solo el 23, 39% está en gestión para un plan de descontaminación (MEM, 2016). Ancash alberga la mayor cantidad de pasivos mineros con un total de 1284 (MEM, 2016), y en el año 2017 se depositaron en los suelos de Cerro de Pasco un total de 78 millones de toneladas que se dispersaron en 115 ha (Gallegos, 2017).

El objetivo del trabajo fue identificar la bibliografía disponible sobre la aplicación de la fitorremediación como mecanismo de solución a suelos contaminados por plomo a causa de las actividades mineras en el Perú con el fin de informar sobre las posibles soluciones para reducir el riesgo en el ambiente y la sociedad.

MARCO TEÓRICO

1. SUELOS CONTAMINADOS

Presencia de agentes químicos que se encuentran en una determinada concentración y generan un efecto negativo en el suelo, ocasionado por la actividad humana (MINAM, 2014; Ríos et al., 2014), los suelos contaminados son aquellos que no tienen un buen funcionamiento como componente ambiental (Díaz, 2016). Las características de los suelos son muy importantes ya que pueden reducir o de lo contrario aumentar la toxicidad de los contaminantes, como los metales pesados en los perfiles del suelo (Puga et al., 2006). Con el paso del tiempo los suelos evolucionan y condicionan negativamente sus propiedades y en consecuencia de todo lo mencionado este se deteriora o degrada, reduciendo así sus capacidades y potencialidades de producción (Rodríguez & Ruíz, 2016; FAO, 2015).

2. FUENTES DE CONTAMINACION DE METALES PESADOS

El continuo crecimiento de las poblaciones y la mala planeación urbana generó la acumulación de agentes o compuestos que son tóxicos para el ambiente (Zúñiga, 1999). El suelo es susceptible a ser contaminado, los agentes contaminantes proceden generalmente de la actividad antropogénica como actividades industriales, mineras, productos agrícolas, etc. (Buendía, 2012; Ubaldo, 2007). Las fuentes de contaminación son el área de o punto donde se dispersan materiales y residuos peligrosos (MINAM, 2016).

Las vías de contaminación son aérea, acuática o depósitos industriales, estos se dispersan por todo el lugar convirtiéndolos en focos contaminantes, su expansión dependerá de la estructura del suelo (Eche, 2013). Uno de los factores que promueven la contaminación de suelos es su valor económico (Arroyave & Restrepo, 2009), conllevando a su explotación y uso, este recurso presenta funciones claves en el ambiente como sociales y económicas (Silva & Correa, 2009). Las principales fuentes de contaminación de suelos peruanos pueden ser natural o antropogénicas (Díaz, 2016).

2.1. FUENTES NATURALES

Los metales pesados pueden presentarse de manera natural ya sea por la meteorización de las rocas, erupciones volcánicas o simplemente por su material de origen (Mundial B, 2007). Este tipo de contaminación generalmente es menos importante ya que las consecuencias en la salud humana no son significativas (Galitskaya et al., 2017). Los fenómenos naturales también pueden ser la causa de la contaminación del suelo (Lee & Elgegrem, 2007), es bien sabido que, en comparación con varias centrales eléctricas de carbón, un solo volcán activo puede aportar más sustancias externas y contaminantes, como cenizas, metales pesados, H^+ y SO_4^{2-} (de la Orden, 2007). Así mismo, la erosión del suelo a causa de lluvias, el viento o la deforestación, afectan la capa superficial del suelo, provocando la pérdida de nutrientes y la capacidad de retención de agua de la tierra (Zúñiga, 1999).

2.2. FUENTES ANTROPOGÉNICAS

2.2.1. POR AGROQUÍMICOS

Este tipo de contaminación es considerada difusa porque generalmente es causada por el transporte de contaminantes solubles y particulados en un área extensa (Silva & Correa, 2009). Los agroquímicos son importantes en la agricultura moderna, pero su uso continuo causará muchos problemas y afectará a los microorganismos benéficos del suelo (Rojas & Bedolla, 2013). La contaminación de metales pesados por el uso de agroquímicos, pesticidas o fungicidas se debe a que éstas actividades no se realizan de manera controlada (Tóth et al., 2016).

En países en vías de desarrollo como Perú el uso excesivo de pesticidas se debe al incumplimiento de normas para la evaluación del nivel de nocividad cuando son empleados (Padilla & Medina, 2014). Aunque en el Perú ha disminuido la importación de los pesticidas organoclorados, su uso no está erradicando (Chung, 2008). Entre los pesticidas agrícolas restringidos en el Perú tenemos aldicarb, endrin, monocrofos, dieldrin, BHC/HCH, canfecloro, etc (SENASA, 2018).

2.2.2. POR ACTIVIDADES INDUSTRIALES

El vertido de residuos sólidos es otro factor importante en la contaminación de los metales pesados ya que hoy en día las empresas industriales se sitúan cerca a zonas donde la actividad agrícola es predominante (Balkhair, 2016). Debido a la descarga incontrolada de aguas residuales no tratadas de instalaciones industriales, municipales o ganaderas, estas aguas residuales pueden contener sustancias químicas (UNESCO 2017), que no solo contaminará el suelo sino también las aguas superficiales y subterráneas (Alonso, 2012).

Las actividades industriales a menudo afectan la fertilidad del suelo y/o su posterior uso, y en el caso de los acuíferos y las aguas superficiales, pueden afectar severamente el uso de este recurso como fuente de agua para el consumo humano (Bustíos & Arroyo, 2013). Debido a la especificidad requerida, la remediación de estos ambientes contaminados por métodos químicos implica procesos costosos (Vullo, 2003). En el Perú los principales productos de uso industrial que contaminan son los bifenilos policlorados (PCB), que se usan en equipos eléctricos para la producción de plásticos, tintas, pigmentos entre otros (Chung, 2008).

2.2.3. POR ACTIVIDAD MINERA

La minería es una de las actividades más contaminantes en lo que respecta a metales pesados, ya que en algunos casos estudiados trae consecuencias mortales para las personas (Oladipo et al., 2018). La extracción de algún mineral aumenta la cantidad de microelementos del suelo que luego se convierten en macroelementos que finalmente afectan la biota y su calidad (Puga et al., 2006; Piscocoya, 2011). A diferencia de otros procesos, la minería se realiza en un tiempo limitado, produciendo cambios, que en muchos casos del Perú son irreversibles para el ambiente (Arce & Calderon, 2015).

La visión oficial del Perú es que este es “un país minero”, así, se otorgan territorios a empresas mineras independientemente de su población o ecosistema (Peralta et al., 2015). En lo que respecta a la minería, esta busca expandirse en la región, dado que los recursos minerales en el espacio minero actual se han agotado, buscan aumentar la producción fusionando nuevos territorios donde se extraerán los minerales, generando en consecuencia un grave problema de contaminación de suelos (López et al., 2016; Bustíos & Arroyo, 2013). Si el área minera es abandonada sin remediación del daño

ambiental, y el daño representa un riesgo para los residentes, entonces existe la obligación de remediar o indemnizar a las personas afectadas, como Chile, Perú y Bolivia, esta obligación es bien conocida como Pasivos Ambientales Mineros (Glave, 2007).

3. FUENTES POR METALES PESADOS

Se refiere a metales pesados aquellos que su densidad es mayor o igual a 5g/cm^3 , estos pueden ser retenidos en el suelo o pueden ser absorbidos por las plantas o cultivos (Chen & Zhuang, 2018). El plomo es un elemento altamente tóxico, se puede adsorber sobre materia orgánica o se precipita como otros minerales secundarios (Lark & Scheib, 2013). Este se encuentra en el suelo que está cerca de caminos, áreas mineras y sitios con desecho peligrosos (Lise & Georgios, 2015). En la planta el plomo es un limitante de la síntesis de la clorofila afectando al crecimiento de los cultivos (Peláez et al., 2016). Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo, permitiendo que las raíces de los cultivos los consuman (Gonzales et al., 2008). Una de las vías de contaminación con plomo para los seres humanos es por su inhalación ocasionando graves problemas en el aparato respiratorio de las personas (Sjostedt & Kleja, 2018).

En América Latina los más importantes productores de plomo son Perú y México (ProActivo, 2018), asimismo los casos de contaminación son altos, un estudio realizado en las zonas aledañas a la minera las Bambas, estimó que los valores sobrepasaban los límites de concentración de plomo (Astete et al., 2014). En otro estudio se obtuvieron resultados similares que determinaron el contenido total de plomo en el suelo de las plantaciones de cacao en las principales zonas productoras del Perú: regiones del norte (Tumbes, Piura, Cajamarca y Amazonas); regiones centrales (San Martín, Huánuco y Junín); región sur (Cusco) donde los valores promedio de plomo fueron altos (Arévalo et al., 2016).

4. MÉTODOS DE REMEDIACIÓN

El objetivo de todo estudio de contaminación es encontrar alternativas de solución para eliminar el efecto negativo que tiene el metal pesado en el suelo (Ortiz et al., 2007). La importancia de escoger un método o técnica se basará en la eficacia y en los costos que puede conllevar realizarlo (Liu et al., 2018), y dependerá de la magnitud de la contaminación, y las concentraciones con respecto a cantidad de contaminante que tiene el lugar (Meza et al., 2016). Para determinar la técnica de remediación a emplear se debe conocer las características físico-químicas del suelo, el tipo del contaminante y el nivel de contaminación que presenta (Gupta & Diwan, 2017; Yao et al., 2012).

4.1. DRENAJE Y LAVADO DE SUELOS

El drenaje de suelos es una forma de airear el suelo contaminado con el metal pesado, asimismo, permite oxidar los metales para que sean más solubles (Liotta et al., 2015). Esta técnica es una forma económica de remediación de suelos, pero en el caso del Cr, no es recomendable ya que su efecto sería contrario a lo que se busca (Coyle & Jordan, 2016; El Azab & Soliman, 2015). El lavado de suelos es un proceso que consiste en la reducción del volumen de desechos, esta es una técnica de restauración ex-situ, se puede hacer por dos métodos: lavado de suelos con ácidos y lavado de suelos con quelantes, este dependerá del pH del suelo, tipo de suelo y su capacidad de intercambio iónico (De Olivera da Mota & De Olivera Junior, 2015; Xu & Kumpiene, 2014).

El suelo es escarbado para ser separado mediante técnicas de tamizado o por gravedad (figura 1), esto es importante ya que separamos las partículas de acuerdo a su tamaño (Vera, 2011), luego se le adiciona los químicos que solubilizan el contaminante, este dependerá del contaminante que estamos tratando (Alaluna & Margarita, 2016). Después el suelo pasa a ser lavado con agua y pasa a ser devuelto a su lugar de origen (Ortiz et al., 2007).

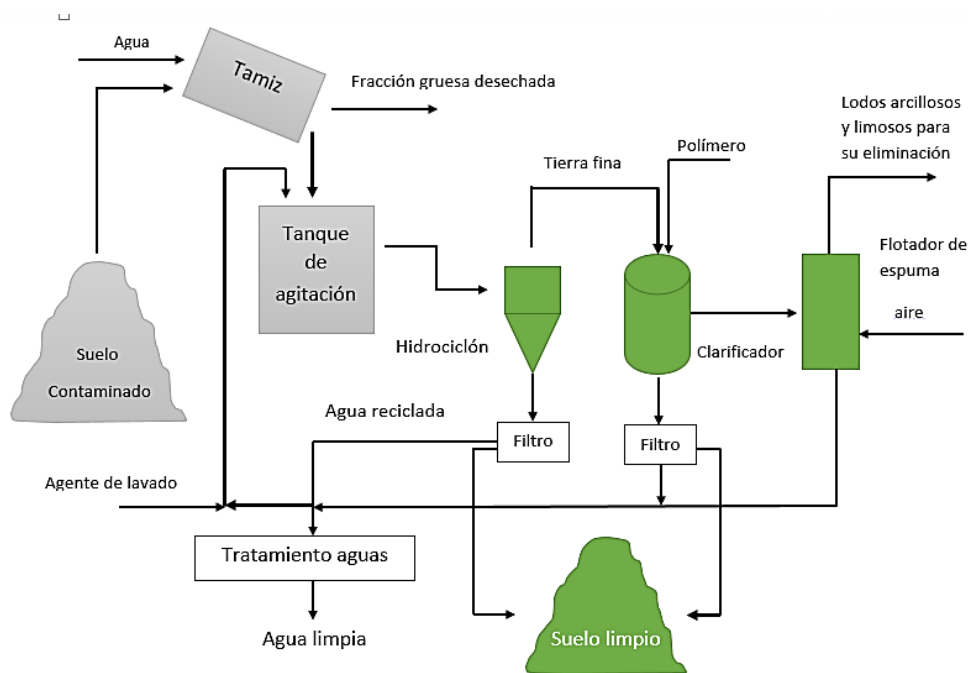


Figura 1: Diagrama del proceso de lavado de suelos contaminados con metales pesados. Fuente (Ortiz et al., 2007).

4.2. REMEDIACIÓN ELECTROKINÉTICA

La remediación electrocinética es una nueva tecnología de remediación que aplica principalmente voltaje en dos lados del suelo y luego forma un gradiente de campo eléctrico (Luo et al., 2004). Esta técnica se presenta como una

alternativa novedosa y limpia en el campo de la remediación ambiental de suelos (Yauri, 2014). Es adecuado para suelos poco permeables, y tiene ventajas de fácil instalación y funcionamiento, bajo costo y no destruye el entorno natural original (De la Rosa et al., 2007). Algunos estudios demostraron que la técnica de electrobiorremediación mejora la eliminación de contaminantes orgánicos, tales como compuestos aromáticos, herbicidas y tricloroetileno (Ibarra et al., 2015). Además, se combinan otros métodos para eliminar los metales pesados, como la remediación electrocinética combinada (Hernández et al., 2010), la remediación combinada de oxidación electrocinética / reducción y la remediación electrocinético-microbio combinado (Villén, 2016).

4.3. FITORREMEDIACIÓN

Es una estrategia de remediación in situ donde se usa la vegetación y los microorganismos que están presentes en el suelo para su remediación (Argota et al., 2014). El propósito es usar plantas que puedan absorber metales pesados, no es recomendable usar plantas que sean para el consumo humano (Ibrahim & Abdel, 2013). Las plantas no poseen características para degradar los contaminantes, simplemente estabilizarlos, este tipo de tecnología aún no ha sido empelada a grandes escalas, pero en los diferentes estudios el éxito es claro (Tariq & Ashraf, 2016).

Esta tecnología es viable en comparación a otras y genera menos perjuicio al ecosistema, ya que reduce el riesgo de que el contaminante se propague, se recomienda usar plantas que crezcan en el mismo lugar donde se vio afectado el suelo (Jiang & Longhurst, 2015), una de las desventajas que tiene este método es que dependerá de las condiciones de crecimiento de la planta a usar para la fitorremediación, ya que eso decidirá el tiempo que demorara en ser eliminado el contaminante, a esto se le agrega el factor climático, la temperatura, etc. (Tahir et al., 2016).

En el Perú, los casos de estudio de fitorremediación son escasos; en Puno usaron las especies de *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae) de Ananea para evaluar su potencial de fitorremediación (Argota et al., 2014), en Junín también se evaluó la optimización de las especies de *Helianthus annus L.* (girasol) y *Zea mays* (maíz) mediante enmiendas al suelo para remoción de plomo (Argomeda & Alfredo, 2017), para ambos casos las especies evaluadas arrojaron resultados positivos y remoción de plomo hasta un 10%. Otras especies usadas para fitorremediación son las especies alto andinas como la *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus* que, acumulando los metales en sus raíces, los resultados también fueron positivos de remoción de metales (Mur P, 2015).

4.3.1. Ventajas

El aumento en costos y la eficacia limitada del tratamiento físico y químico han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías (Peña & Beltrán). Por lo tanto, la fitorremediación representa una alternativa sostenible y de bajo costo para restaurar el medio ambiente afectado por contaminantes naturales y artificiales (Delgadillo et al., 2011), asimismo, la fitorremediación es eficaz tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos (Rivera & Lázaro, 2017) y no requiere consumo de energía (Pulgarin, 2012). Cabe mencionar que, debido a la formación de cubierta vegetal, este método tiene un efecto positivo en el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas (Martínez et al, 2010) lo que permite el reciclado de recursos como agua, biomasa y metales (Bernal, 2014).

4.3.2. Desventajas

Una de las principales desventajas de la fitorremediación es que requiere de tiempos largos para su ejecución y su recuperación (Delgadillo et al., 2011), en especies como árboles o arbustos, la fitorremediación tiende a tener un proceso lento (Lobo, 2013). Por otro lado, el crecimiento de las plantas está limitado por la concentración de contaminantes tóxicos, por lo que la fitorremediación es adecuada para ambientes con bajas concentraciones de contaminantes (Tariq & Ashraf, 2016). No todas las plantas son tolerantes o acumulativas, y la tasa de recuperación del área tratada depende de la estación y el clima, no de la efectividad del proceso (Rivera & Lázaro, 2017). La fitorremediación requiere investigación para proporcionar información sobre los efectos de los contaminantes, el suelo, las plantas y los microorganismos activos (Soriano, 2013).

CONCLUSIONES

Las actividades tanto productivas como extractivas en el Perú, generan impactos negativos al suelo. En el Perú la minería es la actividad que más daños causa a este debido a que existe una falta de fiscalización, control e interés por parte de las empresas mineras y el Estado. Los valores encontrados en los suelos cercanos a mineras son elevados, así como el efecto que tiene en las personas que viven en zonas aledañas a este. Para ello el uso del método de fitorremediación para suelos contaminados con plomo, si es eficiente, en los pocos estudios que se han realizado en el Perú se muestran resultados positivos, donde la capacidad de remediación de las plantas que crecen en la zona es buena. La fitorremediación genera menos perjuicios al ecosistema y las ventajas de este método son mayores a comparación de otras tecnologías. Las especies de *Helianthus annuus L.* (girasol) y *Zea mays* (maíz) son las acumulan mayor cantidad de metales en sus raíces mientras que la *Fuertesimalva echinata* remedia el plomo en zonas altas del Perú.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Agudelo Betancur, L. M., Macias Mazo, K. I., & Suárez Mendoza, A. J. 2005. Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de investigación*, 2(1).
2. Alaluna, R., & Margarita, P. (2016). Condiciones de salinidad y recuperación de los suelos de la cancha pública de golf-San Bartolo, Lima
3. Alonso Riesco, R. 2012. Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Universidad Autónoma de Barcelona.
4. Arce, S., & Calderón, M. Suelos contaminados con plomo en la Ciudad de La Oroya-Junín y su impacto en las aguas del Río Mantaro. 2015. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 20(40), 48-55.
5. Arévalo-Gardini, E., Obando-Cerpa, M. E., Zúñiga-Cernades, L. B., Arévalo-Hernández, C. O., Baligar, V., & He, Z. (2016). Metales pesados en suelos de plantaciones de cacao (*Theobroma cacao* L.) en tres regiones del Perú. *Ecología Aplicada*, 15(2), 81-89.
6. Argomeda, G., & Alfredo, M. G. 2017. Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (*Helianthus Annus*) y maíz (*Zea Mays*) usando enmiendas
7. Argota Pérez, G., Encinas Cáceres, M., Argota Coello, H., & Iannacone, J. 2014. Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae), Puno, Perú. *The biologist*, 12(1), 99-108.
8. Arroyave, S. M. S., & Restrepo, F. J. C. 2009. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre economico*, 12(23), 13-34.
9. Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M. D. C., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T. & Rodríguez, F. 2009. Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(1), 15-19.
10. Astete, J., Gastañaga, M. D. C., & Pérez, D. 2014. Niveles de metales pesados en el ambiente y su exposición en la población luego de cinco años de exploración minera en Las Bambas, Perú 2010. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31, 695-701.
11. Balkhair, K. S. 2016. Field accumulation risks of heavy metals in soil and vegetable crop irrigated with sewage water in western region of Saudi Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 23(1), S32–S44.
12. Bernal, M. P., Clemente, R., Vazquez, S., & Walker, D. J. 2007. Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
13. Bernal, A. 2014. Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general Facultad de Ciencias e Ingeniería. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), 245-258.

14. Buendía, H. 2012. Biorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos mediante el compost de aserrín y estiércol. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 15(30), 123-130.
15. Bustíos, C., Martina, M., & Arroyo, R. 2013. Deterioro de la calidad ambiental y la salud en el Perú actual. *Revista Peruana de Epidemiología*, 17(1).
16. Castro Bedriñana, J., Chirinos Peinado, D., & Ríos Ríos, E. 2016. Contenido de plomo y peso de la placenta y su relación con la edad gestacional, peso, longitud y hemoglobina al nacimiento en una zona metalúrgica del Perú. *Revista de Toxicología*, 33(2).
17. Chen, Y., Jiang, X., Wang, Y., & Zhuang, D. 2018. Spatial characteristics of heavy metal pollution and the potential ecological risk of a typical mining area: A case study in China. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 204–219.
18. Chico, J., De Chico, L., Rodríguez, M., & Guerrero, M. 2012. Capacidad remediadora de la raíz de girasol, *Helianthus annuus*, cuando es sometida a diferentes concentraciones de plomo. *REBIOL. Trujillo, Perú*, 32(2), 13-19.
19. Chung, B. 2008. Control de los contaminantes químicos en el Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 25(4), 413-418.
20. Coyago, E., & Bonilla, S. 2016. Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *La Granja*, 23(1), 39-51.
21. Coyle, C., Creamer, R. E., Schulte, R. P. O., O'Sullivan, L., & Jordan, P. 2016. A Functional Land Management conceptual framework under soil drainage and land use scenarios. *Environmental Science & Policy*, 56, 39–48.
22. Covarrubias, S. A., García Berumen, J. A. and Peña Cabriaes, J. J. 2015. 'Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals', *Acta Universitaria*, 25(NE-3), pp. 40–45
23. Cubillos, J., Pulg, P., Gutiérrez, J., & Paredes, D. 2014. Fitorremediación en Aguas y Suelos Contaminados con Hidrocarburos del Petróleo. *Ingeniería y competitividad*, 16(1), 131-146.
24. Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
25. de la Orden, E. A. 2007. CONSIDERACIONES GENERALES. Facultad de ciencias agrarias. UNCa.
26. De la Rosa-Pérez, D. A., TEUTLI-LEÓN, M., Margarita, M., & RAMÍREZ-ISLAS, M. E. 2007. Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 23(3), 129-138.
27. De Oliveira da Mota, I., de Castro, J. A., de Góes Casqueira, R., & de Oliveira Junior, A. G. 2015. Study of electroflotation method for treatment of

wastewater from washing soil contaminated by heavy metals. *Journal of Materials Research and Technology*, 4(2), 109–113.

28. Díaz, W. 2016. Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 19(38), 103-110.

29. Eche, J. E. Dispersión de metales pesados al entorno de los exdepositos de concentrados "Selva Central" y "Atalaya", propiedad de PERUBAR SA. 2013. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 15(30), 99-110.

30. El Azab, H. E. M., Afify, A. A., & Soliman, M. M. 2015. The impact of informal irrigation practices on soil drainage condition, soil pollution and land suitability for agriculture in El Saf area of El Giza Governorate. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 163–179.

31. El Comercio. 2015. "La Oroya: contaminación por plomo continua afectando a niños". 08 de mayo del 2015, sección JUNIN.

32. FAO. 2015. Estado mundial del recurso suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>.

33. Galitskaya, I. V., Mohan, K. R., Krishna, A. K., Batrak, G. I., Eremina, O. N., Putilina, V. S., & Yuganova, T. I. 2017. Assessment of soil and Groundwater Contamination by Heavy Metals and Metalloids in Russian and Indian Megacities. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 674–677.

34. Gallegos, J. 2017. "Cerro de Pasco, entre el polvo y el mineral". *La Republica*, 20 de agosto del 2017, sección DOMINGO SEMANAL.

35. Gestión. 2015. "Ancash, La Libertad, Junin y Pasco lideraron producción minera del Perú". 16 de setiembre del 2015, sección ECONOMÍA.

36. Glave, M. (2007). La minería peruana: lo que sabemos y lo que aún nos falta por saber. MISC.

37. Gonzalez, I., Muena, V., Cisternas, M., & Neaman, A. 2008. Acumulación de cobre en una comunidad vegetal afectada por contaminación minera en el valle de Puchuncaví, Chile central. *Revista chilena de historia natural*, 81(2), 279-291.

38. Guerrero Useda, M. E., & Pineda Acevedo, V. 2016. Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá Bajo (Tausa). Modelo conceptual. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 26(1).

39. Gupta, P., & Diwan, B. 2017. Bacterial Exopolysaccharide mediated heavy metal removal: A Review on biosynthesis, mechanism and remediation strategies. *Biotechnology Reports*, 13, 58–71.

40. Hernández Valencia, I., Navas, G., & Infante, C. 2017. Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo extra pesado con *Megathyrus maximus*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(3), 495-503.

41. Ibarra, J. A., Palomares, K. N., Samaniego, K. T., & Olvera, C. V. 2015. Electrobiorremediación, una técnica innovadora para la limpieza de suelos contaminados. *Epistemos*, 96(18), 96-99.

42. Ibrahim, S. I., Abdel Lateef, M. F., Khalifa, H. M. S., & Abdel Monem, A. E. 2013. Phytoremediation of atrazine-contaminated soil using *Zea mays* (maize). *Annals of Agricultural Sciences*, 58(1), 69–75.
43. IPE. 2018. “Aporte de la minería al PBI”. *El Peruano*, 19 de abril del 2018, sección EDITORIAL.
44. Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. 2014. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 21(2), 145-154.
45. Jiang, Y., Lei, M., Duan, L., & Longhurst, P. 2015. Integrating phytoremediation with biomass valorisation and critical element recovery: A UK contaminated land perspective. *Biomass and Bioenergy*, 83, 328–339.
46. Landeros-Márquez, O., Tejo-Calzada, R., Reveles-Hernández, M., Valdez-Cepeda, R. D., Arreola-Ávila, J. G., Pedroza-Sandoval, A., & Ruíz-Torres, J. 2011. Uso potencial del huizache (*Acacia farnesiana* L. Will) en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(spe), 11-20.
47. Lark, R. M., & Scheib, C. 2013. Land use and lead content in the soils of London. *Geoderma*, 209–210, 65–74
48. Lee, D., & Elgegrem, J. 2007. Conservación de Recursos Naturales: Suelos, recursos forestales y biodiversidad. Taller de diseminación del Análisis Ambiental del Perú (CEA).
49. Lise, C., Wolfram, K., & Georgios, P. 2015. Lead Isotopes Tracing the Origin of Lead in an Irrigated Agricultural Soil in Crete. *Procedia Earth and Planetary Science*, 13, 273–277.
50. Liu, L., Li, W., Song, W., & Guo, M. 2018. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: principles and applicability. *Science of The Total Environment*, 633, 206-219.
51. Liotta, M. Sagua, D. Gioja, J. Montaña, P. (2015). Manual de capacitación. Drenaje de suelos para uso agrícola. 1(4).
52. Lobo Rosario, P. 2013. Evaluación de la sostenibilidad de las diferentes técnicas de recuperación de suelos contaminados.
53. Lopez, C. Y., Vos, J. M. C., & Boelens, R. A. 2016. Territorios hidro-sociales y minería en Cajamarca, Perú. Monitoreos ambientales como herramientas políticas. *Agua y Territorio*, (8), 163-175.
54. Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Ángel, M. L. H. 2010. Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador técnico*, 74.
55. Meza-Ramírez, J. Y., Rico-Cerda, J., Ruiz-Nájera, R. E., & Sánchez-Yáñez, J. M. 2016. Bioestimulación de suelo contaminado con 40000 ppm de aceite residual automotriz y fitorremediación con *Cicerarietinum* y *Burkholderia cepacia*. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7(2).
56. MINAM. 2014. Guía para elaboración de planes de descontaminación de suelos.

57. MINAM. 2016. Glosario de términos “Sitios contaminados”
58. MINEM. 2017. Mapa de unidades mineras en producción.
59. Mundial, B. 2007. Análisis Ambiental del Perú: Retos para un desarrollo sostenible. *Resumen Ejecutivo*. Mayo.
60. Mur, J. P. 2015. Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros Assessment of the applicability of phytoremediation in mining tailings using forest species of the peruvian highland. *Revista ECIPerú Volumen*, 11(2).
61. Oladipo, O. G., Awotoye, O. O., Olayinka, A., Bezuidenhout, C. C., & Maboeta, M. S. 2018. Heavy metal tolerance traits of filamentous fungi isolated from gold and gemstone mining sites. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49(1), 29–37.
62. Olivares, Y., Gaete, H., & Neaman, A. 2015. Evaluación de la fitotoxicidad y la genotoxicidad de suelos agrícolas de zonas con actividades mineras de cobre de la cuenca del río Aconcagua (Chile central). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 237-243.
63. OMS. La exposición al plomo en el suelo en los pueblos mineros peruanos: una evaluación nacional respaldada por la comparación entre dos ejemplos. Recuperado de: <http://www.who.int/bulletin/volumes/90/12/12-106419-ab/es/>.
64. Ortiz, B., Sanz, J., Dorado, M., & Villar, S. 2007. Técnicas de recuperación de suelos contaminados. ... Universidad de Alcalá, 109. Recuperado de : [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?cnicas+de+recuperaci?n+de+suelos+contaminados#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?cnicas+de+recuperaci?n+de+suelos+contaminados#0%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:T?cnicas+de+recuperaci?n+de+suelos+contaminados#0)
65. Padilla, A. M. G., & Medina, L. J. O. 2014. Impacto en agroecosistemas generado por pesticidas en los sectores Vichanzao, El Moro, Santa Lucía de Moche y Mochica Alta, Valle de Santa Catalina, La Libertad, Perú. *SCIÉENDO*, 15(2).
66. 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. *Revista Luna Azul*, (43).
67. Peralta, P. O., Bebbington, A., Hollenstein, P., Nussbaum, I., & Ramírez, E. 2015. Extraterritorial investments, environmental crisis, and collective action in Latin America. *World Development*, 73, 32-43.
68. Piscoya, J. 2011. Minería y contaminación ambiental en Piura. *Revista ECIPERU*. 8(2), 238-244.
69. ProActivo. 2018. “Perú es el único de los cinco principales países productores de cobre que aumentó su producción en el 2017”. 14 de febrero del 2018, sección MINERÍA.
70. Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C., & Campos, A. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera:

Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología Aplicada*, 5(1-2), 149-155.

71. Pulgarin, M. D. P. 2012. *Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de sedimentos contaminados con hidrocarburos procedentes de las estaciones de servicio en Risaralda* (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias Ambientales. Maestría en Ecotecnología).

72. Ríos, H. B., Reyes, F. C. R. C., Arquíñigo, C. M., & Zumaeta, J. A. FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO. *Alma máter segunda época*, (1), 113-121.

73. Rivera, F. D. M. P., & Lázaro, E. B. 2017. Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* L. en la Estación Experimental El Mantaro. *Prospectiva Universitaria*, 9(1), 31-45.

74. Rodríguez Lovera, J. N., & Ruíz Guamán, F. J. 2016. Propuesta metodológica para el monitoreo, control y recuperación del suelo mediante bioaumentación de microorganismos para sitios de disposición final de residuos sólidos.

75. Rojas, L. Y. O., & Bedoya, G. C. 2013. Efecto de la aplicación de agroquímicos en un cultivo de arroz sobre los microorganismos del suelo. *Acta Agronómica*, 62(1), 66-72.

76. RPP. 2016. Así está el Perú: Minería ilegal afecta la salud de bosques y personas. 09 de marzo del 2016. Edici

77. SENASA. 2018. Plaguicidas restringidos y prohibidos en el Perú. Recuperado de: <https://www.senasa.gob.pe/senasa/plaguicidas-restringidos-y-prohibidos-en-el-peru/>.

78. Silva Arroyave, S. M., & Correa Restrepo, F. J. 2009. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de regulación económica. *Semestre economico*, 12(23), 13-34.

79. Sjöstedt, C., Löf, Å., Olivecrona, Z., Boye, K., & Kleja, D. B. 2018. Improved geochemical modeling of lead solubility in contaminated soils by considering colloidal fractions and solid phase EXAFS speciation. *Applied Geochemistry*, 92, 110–120.

80. Soriano Francia, J. H. 2013. Selección de plantas que favorezcan la biorremediación de suelos contaminados de Plomo, Cinc y Níquel.

81. Tahir, U., Yasmin, A., & Khan, U. H. 2016. Phytoremediation: Potential flora for synthetic dyestuff metabolism. *Journal of King Saud University - Science*, 28(2), 119–130.

82. Tampouris, S., Papassiopi, N., & Paspaliaris, I. 2001. Removal of contaminant metals from fine grained soils, using agglomeration, chloride solutions and pile leaching techniques. *Journal of hazardous materials*, 84(2-3), 297-319.

83. Tariq, S. R., & Ashraf, A. 2016. Comparative evaluation of phytoremediation of metal contaminated soil of firing range by four different plant species. *Arabian Journal of Chemistry*, 9(6), 806–814.

84. Tóth, G., Hermann, T., Da Silva, M. R., & Montanarella, L. 2016. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International*, 88, 299–309.
85. Ubaldo, B., & Luís, J. 2007. Remedición de suelos y aguas subterráneas por contaminación de hidrocarburos en los terminales de Mollendo y Salaverry de la Costa Peruana. Tesis profesional. UNI.
86. UNESCO. 2017. Programa mundial de evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Ciencias naturales.
87. Van Geen, A., Bravo, C., Gil, V., Sherpa, S., & Jack, D. 2012. Lead exposure from soil in Peruvian mining towns: a national assessment supported by two contrasting examples. *Bulletin of the World Health Organization*, 90, 878-886.
88. Vera J. 2011. Propuesta para enfrentar el problema de salinidad de los suelos en la costa peruana.
89. Villén Guzmán, M. 2016. Tratamiento de Suelos Contaminados con Plomo mediante Técnicas Electrocinéticas Selectivas
90. Vullo, D. L. 2003. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva*, 2(3).
91. Xu, J., Kleja, D. B., Biester, H., Lagerkvist, A., & Kumpiene, J. 2014. Influence of particle size distribution, organic carbon, pH and chlorides on washing of mercury contaminated soil. *Chemosphere*, 109, 99–105.
92. Yao, Z., Li, J., Xie, H., & Yu, C. 2012. Review on Remediation Technologies of Soil Contaminated by Heavy Metals. *Procedia Environmental Sciences*, 16, 722–729.
93. Yauri Galindo, C. P. 2014. Estudio de técnicas electroquímicas para la remediación de suelos. Tesis profesional. UNI.
94. Zúñiga, F. B. 1999. Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados (Vol. 1).