

UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA
DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS”

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

Presentado por:

Johan Manuel Elguera Limaylla (<https://orcid.org/0000-0002-5901-2933>)

Asesor:

Luis Abraham Gomero Osorio (<https://orcid.org/0000-0002-4739-2094>)

Lima – Perú

2020

RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°256-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 26 de noviembre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: “EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS”, presentado por:

- **Johan Manuel Elguera Limaylla**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería 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: “EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS” con N° de registro de la carrera: **087-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

“EFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS”**“EFFECTS OF CONTAMINATION FOR HEAVY METALS”**

Johan Manuel Elguera Limaylla & Luis Abraham Gomero Osorio

Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Carrera profesional de Ingeniería

Ambiental. Antigua Panamericana Sur Km 19. Lima 42

jelguera98@gmail.com; 100021928@ucientifica.edu.pe**RESUMEN**

La contaminación del suelo por metales es un fenómeno que se puede dar de dos formas, una de ellas de forma natural ocasionada por la degradación de las propias rocas madres donde se ha formado el suelo, de la lixiviación de metales y de la actividad volcánica; y la otra es de forma antropogénica originada del sector minero por la fundición y explotación de metales, lodos, insumos agrícolas, sedimentos residuales, combustión del petróleo y la mala disposición de desechos industriales. En los microorganismos, plantas y suelos, los metales pesados tienden a bioacumularse provocando el aumento de su grado de toxicidad. En el suelo puede llegar a provocar la pérdida de sus propiedades físico-químicas, incluso puede llegar a perder su fertilidad; en cuanto a los microorganismos entran a la cadena trófica con un alto nivel de concentración al igual que las plantas, provocando efectos en la salud de los seres humanos y animales, enfermedades tales como el cáncer o afecciones al sistema neurológico. Debido a esto se desarrollaron alternativas de solución con el uso de microorganismos, hongos (biorremediación) y plantas (fitorremediación) siendo la más económica y eficiente respectivamente.

Palabras claves: Contaminación, suelo, metales pesados, bioacumular, cadena trófica, toxicidad, biorremediación y fitorremediación.

ABSTRACT

Soil contamination by metals is a phenomenon that can occur in two ways, one of them naturally caused by the degradation of the mother rocks themselves where the soil has formed, metal leaching and volcanic activity; and the other is anthropogenic originating from the mining sector by the smelting and exploitation of metals, sludge, agricultural inputs, residual sediments, oil combustion and poor disposal of industrial waste. In microorganisms, plants and soils, heavy metals tend to bioaccumulate to be bioaccumulated caused them to increase their degree of toxicity. In soil can lead to the loss of its physico-chemical properties, it can even lose its fertility; microorganisms enter the trophic chain with a high level of concentration just like plants, causing effects on human and animal health, diseases such as cancer or conditions to the neurological system. Because of this solution alternatives were developed with the use of microorganisms, fungi (bioremediation) and plants (phytoremediation) being the most economical and efficient respectively.

Key words: contamination, soil, heavy metals, bioaccumulate, trophic chain, toxicity, bioremediation and phytoremediation.

REVISIÓN TEÓRICA

ORIGEN DE LOS METALES EN LOS SUELOS

La presencia de metales pesados o metaloides en el suelo se puede dar de manera natural o antropogénica. La contaminación se origina de la fundición y explotación de metales, lodos, insumos agrícolas, sedimentos residuales, combustión del petróleo y la mala disposición de desechos industriales (Lora & Bonilla, 1973) así como se dio en el caso del relleno sanitario Norte I de La Carcova, en Argentina que por causa de la lixiviación afectó a los cuerpos de agua superficial y subterráneos (López, 2008), entre los metales pesados que se encuentran con mayor frecuencia y son considerados contaminantes ambientales, tenemos al mercurio, cadmio, plomo y el metaloide arsénico.

Categoría	Metal	Nivel máximo (mg/kg)
Altamente tóxico	- Cadmio	10
	- Mercurio	
	- Selenio	
Tóxico	- Bario	40
	- Cobalto	
	- Cobre	
	- Plomo	
	- Molibdeno	
	- Tungsteno	
Moderadamente toxico	- Vanadio	400
	- Antimonio	
	- Arsénico	
	- Yodo	
Ligeramente tóxico	- Níquel	1 000
	- Aluminio	
	- Boro	
	- Bromo	
	- Bismuto	
	- Cromo	
	- Manganeso	
- Zinc		

Tabla N°1. Metales tóxicos para alimentos de animales

No obstante, algunos metales pesados como el boro, cobre, hierro y zinc son vitales para las plantas ya que catalizan algunos procesos bioquímicos, regulan los ciclos vitales de las plantas, ayudan a mantener el color verde de las plantas, ayuda al crecimiento de las plantas y sirven para el alargamiento de tejido y celular (Miranda et al., 2008).

En el sector agrícola la presencia de metales pesados se puede dar por el riego de aguas afectadas con metales pesados, tales como cadmio (Cd), plomo (Pb), Cromo (Cr), entre otros; ya que se ha detectado su presencia en hortalizas, papa y brócoli (Reyes et al., 2016). El aumento demográfico también es una de las consecuencias de contaminación en el sector agrícola por metales pesados debido al potenciamiento de la actividad agrícola, que emplea pesticidas, plaguicidas y fertilizantes, reportándose en un estudio en La Habana, la existencia de metales pesados en suelos y aguas, vinculados a la agricultura en zonas con alta densidad poblacional; poniendo en duda la existencia de metales pesados en los alimentos (D. García et al., 2012).

De igual forma existe la evidencia de que los restos de los plaguicidas han sido encontrados en suelo, aire y agua, asimismo en diferentes organismos vivos de la cadena trófica puesto que solo el 1% de los plaguicidas usados en la agricultura se usa para mitigar plagas y el resto queda depositado en el suelo para posteriormente filtrarse hacia las aguas subterráneas o de manera directa a los ríos o arroyos (De la Rosa, Sánchez, & Ortiz, 2014). Por otro lado en el sector minero, se ha detectado que debido a la extracción de metales, se incrementa el número de macroelementos que afectan de manera negativa a la calidad del suelo y a la biota, así como a la biodiversidad, la

actividad de los microorganismos del suelo y asimismo la materia orgánica en descomposición es inhibida (Puga et al. , 2006).

EFFECTOS POR LA CONTAMINACIÓN DE METALES PESADOS

La contaminación de suelos por metales pesados tiene la facilidad de provocar cambios progresivos debido a sus efectos dañinos, esto puede ser causa del manejo inadecuado de los residuos peligrosos y de los materiales generando a nivel mundial un problema de contaminación de suelo ya que tienden a bioacumularse aumentando así la densidad de un producto químico en un organismo biológico en un largo plazo y en altas concentraciones conduce al envenenamiento (Coello & Burgos, 2011). De igual forma, las plantas tienen el mismo mecanismo de absorber y bioacumular, esto lo hace con metales y metaloides no esenciales ya que su comportamiento electroquímico es idéntico a los nutritivos que requieren para estas (Miranda et al., 2008), trayendo como consecuencia una severa amenaza a la salud a escala mundial, comprometiendo a todos los seres vivos (D. García et al., 2012).

Los metales pesado en grandes concentraciones, aumenta su grado de toxicidad debido a la bioacumulación causando efectos alarmantes en la salud y dependiendo del metal, puede llegar a causar daños en órganos vitales así como, provocar el desarrollo de células cancerígenas. reportándose casos en Japón, que debido al consumo de arroz, que estaba regado agua de río altamente contaminado con cadmio que provenía de los vertimientos mineros, se desarrolló la enfermedad itai-itai que tiene como principal afección al tejido ósea (Reyes et al., 2016).

Debido a que también los metales pesados en las plantas pueden acumularse y ser conducidos a los tejido aéreos como las hojas y tallos, donde se afilian a la cadena trófica

mediante los herbívoros (S. Covarrubias, García, & Peña, 2015); se tienen indicios notables como el bajo crecimiento de las raíces, necrosis y clorosis en las hojas. Puesto que la pared celular y la membrana son los puntos a los que atacan los metales pesados, estas pierden su elasticidad, volviendo más rígidas a las plantas (Barceló & Poschenrieder, 1992).

En el caso de los suelos donde se ha realizado una actividad extractiva se puede encontrar diferentes tipos de desechos escombros, entre otros, dificultando así el crecimiento de la vegetación teniendo ausencia de estructura edáfica, disminución de nutrientes esenciales, rotura de ciclos biogeoquímicos, baja captación de agua y desequilibradas clases texturales (Pavetti et al., 2006). Asimismo, se genera un severo impacto en diversos ecosistemas de los cuerpos de agua, ya sea por los drenajes ácidos o metales pesados disueltos y sedimentos ocasionando alteraciones constantes, llegando incluso a la pérdida de este. También puede llegar a esparcirse por acción del viento, arrastrando los materiales particulados llegando a los seres vivos mediante inhalación (Meza, 2018).

En México los principales contaminantes son el mercurio, que no solo se presenta por la actividad minera sino también por la combustión industrial, asimismo se encuentra en estado gaseoso en la atmósfera, en cuanto a su efecto sobre la salud depende de su forma química pero afecta básicamente a los riñones, al cerebro y causa trastornos al sistema nervioso. Este metal no solo afecta al suelo, sino también al medio acuático debido a las descargas bioacumulándose en la cadena alimentaria siendo perjudicial para el ser humano y particularmente a los niños en gestación.

Por su parte, el arsénico, se encuentra en el ambiente de forma inorgánica, en condiciones aeróbicas tiene altas afinidades con compuestos que lo vuelven inmóvil en el suelo. En los mamíferos, la ingesta de alimentos contaminados con arsénico causa enfermedades cardiovasculares, fallas renales, efectos neurológicos y cáncer.

De otro lado, el plomo, presente en la corteza terrestre de manera natural y en bajas cantidades, su exposición en altas concentraciones puede causar daños cerebrales hasta incluso la muerte, en mujeres gestantes puede causar el aborto y en hombres altera la producción de espermatozoides. Cabe resaltar que en lugares contaminados con plomo se encuentran otros metales pesados como el arsénico, zinc y mercurio.

Finalmente el cromo, tiene tres formas comunes pero el Cromo (VI) es la más tóxica (ATSDR, 2012). En cuanto a enfermedades, se deben al consumo de agua con grandes concentraciones de Cromo (VI) causan problemas intestinales, hepáticos y gástricos en animales(S. A. Covarrubias & Peña, 2017).,

EFFECTOS EN LA ECONOMÍA

Las actividades que tienen mayor influencia en la economía de los países son la minería y la agricultura. En varios países la actividad minera es practicada desde la época prehispánica, reconocido como elemento de avance y desarrollo de la economía, así como en el caso de Perú siendo uno de los mayores aportes al producto bruto interno (PBI), sin embargo esta actividad tiene un impacto de consideración al ambiente puesto que genera enormes cantidades de residuos y pueden llegar a transformarse en yacimientos de metales pesados (Romero, Armienta, & González-Hernández, 2007).

Respecto a la agricultura, en la actualidad se dispone de insumos como fertilizantes y plaguicidas dándole un uso intensivo al suelo con el objetivo de cosechar alimentos, esto

trae como consecuencia la degradación del suelo incluso la pérdida irrecuperable de este, volviéndolo un suelo infértil, por consiguiente un suelo donde no se podrá realizar ninguna actividad asimismo perdiendo un ambiente biótico, regulación hidrológica y climática, almacenamiento de materia prima y nutrientes, espacio conectivo y vital, patrimonios, entre otras (Silva & Correa, 2009).

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Las afecciones causadas al medio ambiente y a los seres vivos, conlleva a la necesidad de desarrollar técnicas para tratar los residuos o para la remediación de recintos contaminados, uno de ellos es el tratamiento biológico y este garantiza ser económico, seguro y eficiente, asimismo están sumando importancia puesto que su uso es simple y comparándolo con otros tratamientos o métodos llegar a ser más rentable; dando lugar a los métodos de biorremediación.

La biorremediación consiste en usar microorganismos que mediante la biodegradación eliminan los metales pesados que han sido dejados por el uso excesivo de plaguicidas en el caso de la agricultura (De la Rosa et al., 2014), principalmente resaltando las bacterias y hongos que dan lugar a los tratamientos microbianos tales como la biosorción, bioprecipitación y biolixiviación, los cuales se explican a continuación:

La biosorción consiste en la captación de metales pesados con carga positiva por las paredes celulares o membranas que tienen fosforilos y boxilos con carga negativa, una vez captado son precipitados a las estructuras de las células disminuyendo su toxicidad.

La bioprecipitación, que consiste en reducir los metales pesados a un redox menor mediante la acción de las bacterias provocando que los metales reducidos se precipiten fácil en soluciones acuosas (S. Covarrubias et al., 2015).

La biolixiviación, esta consiste en acidificar el espacio o medio a través de una membrana plástica causando la liberación de los metales pesados por diferentes rutas, asimismo cuando se encuentra con otro elemento ocasiona la liberación de cationes de metálicos (Gadd, 2010).

Por otro lado, existe otro tratamiento biológico denominado fitorremediación, que consiste en el uso de plantas para restaurar o estandarizar lugares o sitios contaminados. En el caso de la remediación de suelos contaminados por metales pesados, el tratamiento se llama fitoextracción, este es el campo más estudiado de los tratamientos con el uso de plantas (Rajkumar, Sandhya, Prasad, & Freitas, 2012).

Para suelos que han sido aprovechados en la ganadería y la agricultura, usando plaguicidas, fertilizantes y donde se han realizado quemadas reiteradas se recomienda usar la especie *Ochroma pyramidale*, este tiene un crecimiento rápido asimismo se puede comercializar, siendo una opción para los agricultores para rehabilitar sus suelos perdidos por las actividades antes mencionadas (Walker, Vázquez, Clemente, & Bernal, 2007).

Con respecto a la fitoextracción de metales pesados específicos tales como el cobre (Cu) se da por la especie *Elsholtzia splendens* resaltando que la adición de ácido cítrico y glucosa favorecen su procedimiento; por otro lado para la fitoextracción de plomo (Pb), zinc (Zn) y cobre (Cu) se emplea *Zea mays* (García & Reyes, 2009).

Para este tratamiento se recomienda usar plantas tolerantes a los metales pesados a fin de que la recuperación sea exitosa, como las gramíneas y algunas plantas herbáceas, de igual forma existen plantas que son hiperacumuladoras que hacen que el tratamiento sea rentable y viable, ya que estas almacenan gran cantidad de metales y lo usan como

nutrientes sin embargo no se pueden usar en todos los sitios contaminados ya que son endémicas, tienen un crecimiento lento y producen un escaso componente vegetal (Ángeles, 2005). Lora (2007) mencionó que al aumentar el potencial hidrogeno (pH) del suelo, los metales pesados pierden o disminuyen la capacidad de ser captados por las plantas, ya que serían insolubles en un pH mayor a 6.0; para esto se contaría con la aplicación de carbonato de calcio (CaCO_3), hidróxido de hierro III ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) e hidróxido de aluminio ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Cabe resaltar que la adición de bacterias y hongos al tratamiento, logra mejorar o potenciar la tasa de extracción de metales pesados del proceso ya que facilita la producción de determinados metabolitos (Rajkumar et al., 2012; Volke, Velasco, & De la Rosa, 2005).

Otra alternativa es el uso de hongos, puesto que estos tienen la capacidad de penetrar los suelos contaminados a través de sus hifas produciendo Lacasa, que son enzimas extracelulares, siendo estos buenos acumuladores de metales pesados (J. Coello, 2011).

Asimismo, se conoce el uso de animales, tales como los crustáceos que actúan como descontaminadores, ya que retienen metales pesados en su organismo y pueden crecer en medios con alto nivel tóxico (Mejía, 2006).

CONCLUSIONES

La contaminación de suelos por metales pesados generalmente se origina por la actividad antropogénica exponiendo a las plantas y/o microorganismos a mayor concentraciones provocando en estos, bioacumulación, siendo este el efecto más significativo que pueden ocasionar los metales de este tipo, debido que se incorporan a la cadena trófica, trayendo como consecuencias, a su vez, efectos en la salud de los seres vivos y en las plantas. Entre los metales más contaminantes se considera al cadmio, mercurio y selenio identificados en los en alimentos de animales

Debido a esto se desarrollaron alternativas de solución usando microorganismos, plantas, hongos, entre otros; siendo el más económico el tratamiento biológico, usando microrganismos llamado biorremediación, asimismo hay diferentes tratamientos con estos; por otro lado también existe la fitorremediación la cual es más eficiente, y para aumentar su efectividad se le adiciona bacterias y hongos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coello, J., & Burgos, F. (2011). Aplicación del hongo *Pleurotus ostreatus* como alternativa para la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Espol*, 20.
- Miranda, D., et al (2008). *Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá* *Accumulation of heavy metals in soil and plants of four vegetable crops irrigated with water of Bogota river*. 2(2), 180–191.
- Reyes, Y. C., et al (2016). Contaminación Por Metales Pesados: Implicaciones En Salud, Ambiente Y Seguridad Alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66–77. <https://doi.org/10.19053/1900771x.v16.n2.2016.5447>
- López, S. (2008). METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS SEGÚN LA OPS / OMS PARA LA SALUD EN SITIOS “VILLA LA CARCOVA”
- García et al. (2012). Evaluación de riesgos a la salud por exposición a metales pesados en cercanías de sitios potencialmente peligrosos con actividad agrícola. *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, 13(1), 10–18.
- De la Rosa, N. L., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2014). Erratum to: Biosurfactantes y su papel en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 5(2), 47–67. <https://doi.org/10.7603/s40682-014-0008-4>
- Puga et al. (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. [https://doi.org/*Mineral industries](https://doi.org/*Mineral%20industries)

*Pollution *Soils *Metals Regression analysis

Barceló, J., & Poschenrieder, C. (1992). Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. *Suelo y Planta*, 2(January 1992), 345–361.

Covarrubias, S., García, J., & Peña, J. (2015). Microorganisms role in the bioremediation of contaminated soils with heavy metals. *Acta Universitaria*, 25(NE-3), 40–45. <https://doi.org/10.15174/au.2015.907>

Pavetti, F., Concesa, H., Faz, A., Arnaldos, R., & Garcia, G. (2006). CONTAMINACIÓN POR METALES PESADOS EN LA RAMBLA DE EL GORGUEL (SE PENÍNSULA IBÉRICA). *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 24, 171–178.

Meza, R. (2018). PROPUESTA DE BIORREMEDIACIÓN DEL PASIVO MINERO AMBIENTAL DE FRANKEITA – “ORURO - BOLIVIA.” 1–116.

De la Rosa, N. L., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2014). Erratum to: Biosurfactantes y su papel en la biorremediación de suelos contaminados con plaguicidas. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 5(2), 47–67. <https://doi.org/10.7603/s40682-014-0008-4>

Volke, T., Velasco, J., & De la Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación.

Gadd, G. M. (2010). Metals, minerals and microbes: Geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology*, 156(3), 609–643. <https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0>

- Rajkumar, M., Sandhya, S., Prasad, M., & Freitas, H. (2012). Perspectives of plant-associated microbes in heavy metal phytoremediation. *Biotechnology Advances*, 30(6), 1562–1574. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2012.04.011>
- Ángeles, C. (2005). UTILIZANDO PLANTAS Y MICROORGANISMOS RIZOSFÉRICOS + Remediation of Soils Polluted with Heavy Metal Using Plants and Rhizospheric Microorganisms. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 23, 29–37.
- Lora, R. (2007). CONTAMINACIÓN POR ELEMENTOS MENORES Y POSIBLES SOLUCIONES. *Actualidad & Divulgación Científica*, (55), 5–20.
- Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 1, 77–99.
- Coello, J. (2011). “APLICACIÓN DEL HONGO *Pleurotus ostreatus* COMO ALTERNATIVA PARA LA BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS.”
- Covarrubias, S. A., & Peña, J. J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7–21. <https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- ATSDR. (2012). Toxicity profile for chromium. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 3(1), 1–2. Retrieved from <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaqs/index.asp>.

- Romero, F. M., Armienta, M. A., & González-Hernández, G. (2007). Solid-phase control on the mobility of potentially toxic elements in an abandoned lead/zinc mine tailings impoundment, Taxco, Mexico. *Applied Geochemistry*, 22(1), 109–127. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2006.07.017>
- Cahuana, L., & Aduvire, O. (2018). Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú. *PLANNIG for Closure 2018*, 1–18.
- 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>
- García, R., & Reyes, A. (2009). Fitorremediación de metales pesados y microorganismos. *Ama.Redciencia.Cu*, (16), 1–6. Retrieved from <http://ama.redciencia.cu/articulos/16.02.pdf>
- Walker, D., Vázquez, S., Clemente, R., & Bernal, M. (2007). Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar. *Ecosistemas: Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, 16(2), 7. <https://doi.org/10.7818/re.2014.16-2.00>