



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“COMPARACIÓN DE DOS ESPECIES ALTOANDINAS *Urtica urens* L. Y *Brassica rapa* L. EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PLOMO EN CÁTAC, ÁNCASH”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:

BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Javier Sandoval Guevara

Asesor:

Luis Gomero Osorio

Lima – Perú

2019



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°014-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

VISTO

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Comparación de dos especies altoandinas *Urtica urens L.* y *Brassica rapa L.* en la recuperación de suelos contaminados por el plomo en Cátac, Áncash**, presentado por:

- Sandoval Guevara Javier

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: **Comparación de dos especies altoandinas *Urtica urens L.* y *Brassica rapa L.* en la recuperación de suelos contaminados por el plomo en Cátac, Áncash** con N° de registro de la carrera: **047-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

T//(51) 610 6400
opción 2
www.cientifica.edu.pe

Campus
Panamericana Sur
km 19 - Lima-42

RESUMEN

La economía en Cátac es impulsada principalmente por la agricultura y la minería; sin embargo, esta última es la que produce mayores impactos en el suelo. La remediación en suelos in situ utilizando especies altoandinas, es una práctica que se ha realizado durante los últimos años, con el propósito de recuperar la calidad del suelo sin perturbar la armonía paisajística y el equilibrio del hábitat. Las especies *Urtica urens* L. y *Brassica rapa* L. crecen alrededor de los 4000 m.sn.m y son usadas por sus capacidades para la fitorremediación, específicamente mediante la fitoestabilización. Los principales parámetros que se evalúan en un suelo contaminado son la conductividad eléctrica, materia orgánica; y en las especies, la concentración de plomo e indicadores como índice de tolerancia y factor de translocación. Asimismo, se presenta información sobre la actividad minera en el distrito de Cátac y el marco normativo en el que se desarrolla. Este artículo de revisión tiene como objetivo llenar vacíos teóricos en el tema de las capacidades de fitorremediación de ambas especies seleccionadas, brindando base teórica para futuras investigaciones.

Palabras clave:

Remediación, agricultura, minería, contaminación, parámetros del suelo, índice de tolerancia, factor de traslocación, calidad de suelo.

ABSTRACT

The economy in Cátac is mainly driven by agriculture and mining; however, the latter is the one that produces the greatest impacts on the soil. In situ remediation using high Andean species is a practice that has been carried out during the last years, with the purpose of recovering the quality of the soil without disturbing the landscape harmony and the habitat balance. The species *Urtica urens* L. and *Brassica rapa* L. grow around 4000 m.s.n.m and are used for their phytoremediation capacities, specifically by phytostabilization. The main parameters that are evaluated in a contaminated soil are the electrical conductivity, organic matter; and in the species, the concentration of lead and indicators as tolerance index and translocation factor. It also presents information on mining activity in the district of Cátac and the regulatory framework in which it is developed. This review article aims to fill theoretical gaps in the subject of the phytoremediation capacities of both selected species, providing a theoretical basis for future research.

Keywords:

Remediation, agriculture, mining, pollution, soil parameters, tolerance index, translocation factor, soil quality.

REVISIÓN TEÓRICA

1. Fitorremediación

Es el proceso de descontaminación en donde se emplean especies que pueden realizar diversos mecanismos, entre ellos, el de remover contaminantes, como el plomo, para convertirlo en inocuo (Chávez, Pinzón y Casallas, 2016). En nuestro país, la contaminación de suelos es provocada por los derrames de residuos mineros y el causante principal, a nivel internacional, es la Fundición Minera de la Oroya. Esto conlleva a que se generen problemas ambientales y afecten a la salud humana.

Asimismo, es considerada como una de las tecnologías de remediación que es respetuosa con el ambiente y económicamente viable para mitigar la contaminación del suelo en tierras agrícolas, sin embargo, suele ser lento y para suelos altamente contaminados requeriría miles de años (Huang, Cheng, Lin, Lin y Chen, 2015). Existen estudios que han demostrado que la fitorremediación es la mejor solución para recuperar sitios que han sido contaminados por plomo, aunque también tiene ciertas limitaciones (Peña y Beltrán, 2012).

Algunos contaminantes presentes en el suelo pueden llegar a encontrarse más fitodisponibles que otros; esto genera diversos problemas y efectos que perjudican la actividad biológica, química y física; entre los efectos principales tenemos, disminución de materia orgánica (cambio en la textura), erosión en el suelo, cambio en el pH (generando acidez), fluctuaciones en la temperatura del suelo, además de afectar directamente con la actividad microbiana en el suelo, generando problemas en la rizósfera (Peña y Beltrán, 2012).

2. Mecanismos de fitorremediación

La fitorremediación tiene como base a mecanismos fisiológicos básicos dados en algunas especies vegetales y los microorganismos que se encuentran agregados, mostradas en la Tabla 1.

Tabla 1. Procesos y mecanismos fisiológicos de especies fitorremediadoras.

Proceso	Mecanismo	Contaminante
Rizofiltración	Acumulación en la rizósfera	Orgánicos/Inorgánicos
Fitoestabilización	Complejación	Inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización por hojas	Orgánicos/Inorgánicos
Fitodegradación	Degradar contaminantes	Orgánicos
Fitoinmovilización	Fijación de contaminantes en suelo	Inorgánicos
Fitotransformación	Degradación en plantas	Orgánicos

Fuente: (Gosh y Singh, 2005)

Estas tecnologías son ampliamente empleadas en todo el mundo, el Perú al ser un país biodiverso presentando en su territorio alrededor del 10% de las especies de flora del mundo (Banco Mundial, 2013) , ocupando el quinto lugar en el mundo, además de contar con 4400 especies con propiedades conocidas (D.S N° 012-2009-MINAM, 2009), es por esto que contamos con muchas especies que realizan todos estos mecanismos explicados en la Tabla 1. Como se explicará en el apartado de especies altoandinas, ambas especies seleccionadas realizan el proceso de fitoacumulación.

3. Especies altoandinas

3.1. Especie *Urtica urens* L.

a. Nombre común

Ortiga.

b. Desarrollo

Planta de crecimiento herbáceo, 1 metro de largo aproximadamente, de duración anual.

(Huerta, 2007)

c. Fenología

Se desarrolla sin abundante radiación solar, además de crecer en ambientes con pH de 5.5 a 8 y en suelos con alta humedad. (Huerta, 2007)

d. Mecanismo de acción

Esta es una especie del tipo acumuladora, mayormente conocida como fitoestabilizadora (Jara- Peña et al., 2014). Dicha especie altoandina presenta la propiedad de disminuir el movimiento del plomo al tallo y las hojas, gracias a la precipitación y la acumulación en las raíces; asimismo al usar esta planta previene la erosión masiva y la lixiviación, al tener un campo cultivado con la ortiga, logra que el contaminante no se expanda a otras áreas mediante la acción del agua. (Alkorta, Becerril y Garbisu, 2010)

e. Taxonomía

La taxonomía de la especie altoandina *Urtica urens* L. se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Taxonomía de *Urtica urens* L.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Rosales
Familia	Urticaceae
Género	<i>Urtica</i>
Especie	<i>Urtica urens</i> L.

Fuente: (Germplasm Resources Information Network, 2010)

f. Hábitat

Crece en zonas de alta montaña como en zonas pobladas para la agricultura, necesita humedad para su desarrollo, usualmente se cultiva como mala hierba, esta especie se localiza desde una altitud de los 2100 hasta los 4000 m.sn.m (Huerta, 2007).

g. Morfología

Entre las principales características que presenta esta especie altoandina es que contempla una altura de entre los 50 y 60 cm; presenta hojas opuestas, grandes e irritantes; exhibe flores de color lila y muestra un follaje persistente. Mayormente inicia su floración en el mes de junio (Huerta, 2007)

3.2. Especie *Brassica rapa L. subsp. rapa*

a. Nombre común

Nabo

b. Desarrollo

Presenta un hábito de crecimiento herbáceo, con una duración anual y bienal (United Department of Agriculture, 2018).

c. Fenología

Su periodo de crecimiento activo es durante primavera, verano y otoño; la relación C/N es media. Su crecimiento se da entre un pH de 5 a 8 con una temperatura mínima de -25°C. Esta planta se desenvuelve desde los 400 mm de lluvia por año. Además, es capaz de resistir sequías en invierno y en roseta, no soporta el encharcamiento (United Department of Agriculture, 2018).

d. Mecanismo de acción

El nabo es una especie altoandina del tipo acumuladora, llamada fitoestabilizadora por presentar la propiedad de reducir el transporte del plomo al tallo y las hojas (Hazrat y Khan, 2013), por la precipitación y la acumulación en las raíces. Sobre todo, la revegetación con el nabo logra impulsar las propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo contaminado por plomo, debido a que incrementa el nivel de materia orgánica, capacidad de intercambio de cationes (CIC), además de la actividad microbiana (Alkorta, Becerril y Garbisu, 2010)

e. Taxonomía

La taxonomía de la especie altoandina *Brassica rapa* L. se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Taxonomía de *Brassica rapa* L.

Reino	Plantae
División	Magnoliofita
Clase	Magnoliopsida
Orden	Brassicales
Familia	Brassicaceae
Género	<i>Brassica</i>
Especie	<i>Brassica rapa</i> L.
Subespecie	<i>Brassica rapa</i> subsp. <i>rapa</i>

Fuente: (Song, K., Osborn, T. y Williams, P., 1988)

f. Hábitat

Cultivada como una hortaliza en climas templados; originaria de Asia y Europa Central (United Department of Agriculture, 2018), crece en suelos productivos y cálcicos (Monsalve, 2003). Pertenece a la Estepa Espinosa Montano Bajo Tropical (EEBM). Ubicada en el Perú principalmente en el departamento de Áncash, en la Cordillera Negra y Cordillera Blanca, entre rangos de distribución altitudinal de 2500 y 3100 m.sn.m (Monsalve, 2003).

g. Morfología

Entre las principales características que presenta esta especie altoandina es su altura de 30 a 150 cm; con unos tallos cilíndricos y ramificados; hojas inferiores lirado-pinnatífidas y hojas superiores oblongo-lanceoladas. Sus flores son grandes en racimos de modo tal que las flores abiertas superan a los botones florales. (Monsalve, 2003)

4. Parámetros evaluados en el suelo

Para lograr un mejor entendimiento de las características del suelo, los parámetros se dividen en físicos y químicos, los físicos son los más costosos y difíciles de determinar que en comparación de los químicos (Owen, 1995), entre los principales químicos tenemos a la estructura del suelo, textura, color, porosidad, consistencia, movimiento del agua en el suelo, mientras que en los físicos tenemos, capacidad de intercambio catiónico, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, etc. (FAO, 2018).

Por otro lado, tenemos los parámetros biológicos que en los últimos años han cobrado vital importancia para determinar la calidad de los suelos, aquí se toma en cuenta la actividad microbiana, mediante técnicas como la respirometría, dicha actividad interviene estrechamente en la fertilidad y estabilidad, además de ser muy necesaria para conservar la calidad en el suelo (Moreno, González y José, 2015).

5. Conductividad eléctrica del suelo

Es la capacidad de que presenta una sustancia para conducir corriente eléctrica (REITEC, s.f) a través de una solución salina, se mide mediante la relación de la velocidad con que pasa la corriente entre la concentración de sales en solución, existe un valor en el que se supone que un suelo se considera salino, pero ha recibido muchas críticas debido a que no considera en su cálculo a la textura del suelo. Mientras mayor sea la electricidad que conduce un suelo, mayor es su concentración de sales, además depende del agua que contenga (Soriano, 2018).

6. Capacidad de campo del suelo

Referido a la cantidad relativamente constante de agua que muestra un suelo saturado luego de pasadas las 48 horas de drenaje; esta definición solo es aplicable a suelos estructurados donde es vertiginoso el drenaje del exceso de agua. Esta capacidad se halla de una mejor forma *in situ* al saturar el suelo y luego determinar el agua restante luego de dos días (FAO, 2018)

7. pH en el suelo

Es la medida de acidez en el suelo, está determinada por la actividad de los iones de hidrógeno en el suelo mediante la siguiente fórmula:

$$pH = \log \frac{1}{(H^+)}$$

Lo que nos da a entender la fórmula del pH es, que cada unidad que cambia indica un aumento sustancial de 10 veces, tanto en acidez como basicidad, esto es provocado generalmente por el uso indiscriminado de fertilizantes. (Espinosa y Molina, 1999)

8. Materia orgánica en el suelo

La materia orgánica se encuentra compuesta por animales y restos de vegetales en varios estados de descomposición, incluyendo además a los microorganismos, está muy ligada con propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo (Zagal y Córdova, 2005), Tan solo la materia orgánica presente en el suelo, posee alrededor del 5% de nitrógeno total, aunque además tiene otros elementos igual de importantes para las especie vegetales como el P, Ca, Mg, S y micronutrientes. La M.O presenta las siguientes principales fases:

- **Humidificación:** Esta es una fase que ocurre de una manera muy vertiginosa, los microorganismos actúan sobre la materia orgánica primigenia, es ahí donde se forma el humus joven, luego se forma con el paso del tiempo, el humus estable.
- **Mineralización:** Esta fase es demasiado lenta, otros microorganismos actúan sobre el humus estable; estos lo degradan alrededor del 2% anual, es en esta etapa donde se expulsan los minerales que las plantas son capaces de captar. Recién en esta última etapa es aprovechable la MO (Julca, Meneses, Blas y Bello, 2006). Es en esta fase donde el plomo (Pb) se inserta a la materia orgánica.

La materia orgánica en el suelo cambia constantemente, esto debido principalmente al clima, uso de suelo (Zagal y Córdova, 2005), la adición frecuente de materia orgánica al suelo, velocidad de oxidación, textura de suelo, etc. (Julca, Meneses, Blas y Bello, 2006).

9. Microclima

Este es un conjunto de características atmosféricas que determinan un medio reducido o un lugar específico que puede presentar condiciones meteorológicas de temperatura y humedad muy distintas de las del clima regional, que es una media. El acumulado de condiciones climáticas en zonas específicas, se les conoce como microclimas, estas condiciones generan variaciones en la biota. Los factores que influyen estos microclimas, principalmente son los suelos y la topografía. Asimismo, los microclimas locales influyen directamente sobre el crecimiento y desarrollo de cultivos, afectando inclusive a aquellos que no son propios del ecosistema, esto debido a las variaciones de las condiciones meteorológicas (Nebel y Wright, 2006). El Perú es un país con diversos microclimas en todo su territorio, debido a la accidentada topografía, que genera las condiciones climáticas para la existencia de dichos microclimas.

10. Humedad relativa

Referida a la proporción de vapor de agua real en el aire entre la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a determinada temperatura. Esto nos muestra que tan cerca se encuentra el aire de la saturación. Es medido en porcentaje, donde obtener un 100% nos indica un aire completamente saturado (Inzunza, 2006).

11. Temperatura media

Propiedad que presenta los sistemas, que indica si están en un equilibrio térmico, su unidad es Kelvin. Uno de los principales factores que influyen estrechamente con la temperatura del aire es la variación del ángulo de incidencia de los rayos solares (latitud), para temperatura media es un promedio mensual (Inzunza, 2006)

12. Contaminantes del suelo

Son aquellos elementos que, en ciertas concentraciones y condiciones, generan una alteración en su entorno, perjudicando en muchas ocasiones la vida. Es decir, se pierde el equilibrio primigenio. Esta contaminación en el suelo genera una degradación y anomalías. Estos contaminantes, en algunos casos, logran abandonar el suelo por procesos como volatilización o lixiviación, entre otros (Galán y Romero, 2008). Los contaminantes del suelo, en particular el plomo, presentan una alta afinidad hacia los materiales arcillosos y a la materia orgánica (M.O) de los sedimentos, así es como estos se asocian y forman compuestos más estables (Hansen, León, & Bravo, 1995).

La necesidad de un suelo vivo y dinámico es de vital importancia para mantener un desarrollo sostenible en los ecosistemas; sin embargo, el ecosistema edáfico ha sido impactado gravemente por la contaminación de suelos con metales pesados, provocando problemas en su sostenibilidad y funcionalidad (Burgetz, 2017).

13. Plomo (Pb)

Entre los aspectos generales del plomo tenemos que es un metal pesado, con un color gris, de baja temperatura de fusión que se genera de forma natural en la superficie de la tierra; asimismo, es un metal altamente estable. Empero, ocasionalmente está localizado en el ambiente en un aspecto metálico. Habitualmente está mezclado, formando otros compuestos. En su forma metálica es capaz de no corroerse. El plomo e incluyendo sus aleaciones, son elementos usuales en pilas y cañerías. La primordial utilización del plomo es en las baterías de los autos (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

El Pb es un elemento muy tóxico para los seres vivos, la existencia en el entorno es debido fundamentalmente a procesos antrópicos por parte de la industria y minería. El plomo originado por los procesos como los ya mencionados, son capaces de persistir en el entorno como desechos, por 2000 años aproximadamente, en territorios con un clima templado (Rodríguez, Rodríguez, Reyes, Martínez y Lara, 2006)

La anexión de metales pesados en los suelos y más aún, en cultivos por el establecimiento de residuos de minería, es capaz de inducir el almacenamiento, y alterar y/o poner en riesgo la salud de la población (Rodríguez, Urango, Marrugo, Durang y Durango, 2017).

La existencia de metales en el suelo agrícola genera una preocupación creciente, porque tienen la capacidad de aglomerarse en compuestos poco solubles para posteriormente, ser trasladados a la solución del suelo. En definitiva, afectaría cultivos y la calidad del agua en la capa freática (Kelepertzis, 2014).

13.1. Biodisponibilidad del plomo

Es muy importante conocer el movimiento relativo de elementos traza en el suelo, debido a que nos permite predecir y realizar un seguimiento en relación a la disponibilidad del contaminante y la capacidad que tiene para lixiviarse a través del suelo hasta llegar a la capa freática y llegando a las aguas subterráneas. (Peña y Beltrán, 2012).

En las últimas décadas se ha venido realizando muchas investigaciones sobre el plomo, relacionadas a la evaluación de su disposición, el origen del metal pesado, además la generación de modelos que puedan predecir el comportamiento del plomo en distintas condiciones y fases del suelo. Muchas investigaciones se han enfocado en cuál es la fracción biodisponible del contenido del plomo es capaz de ingresar a la cadena alimenticia.

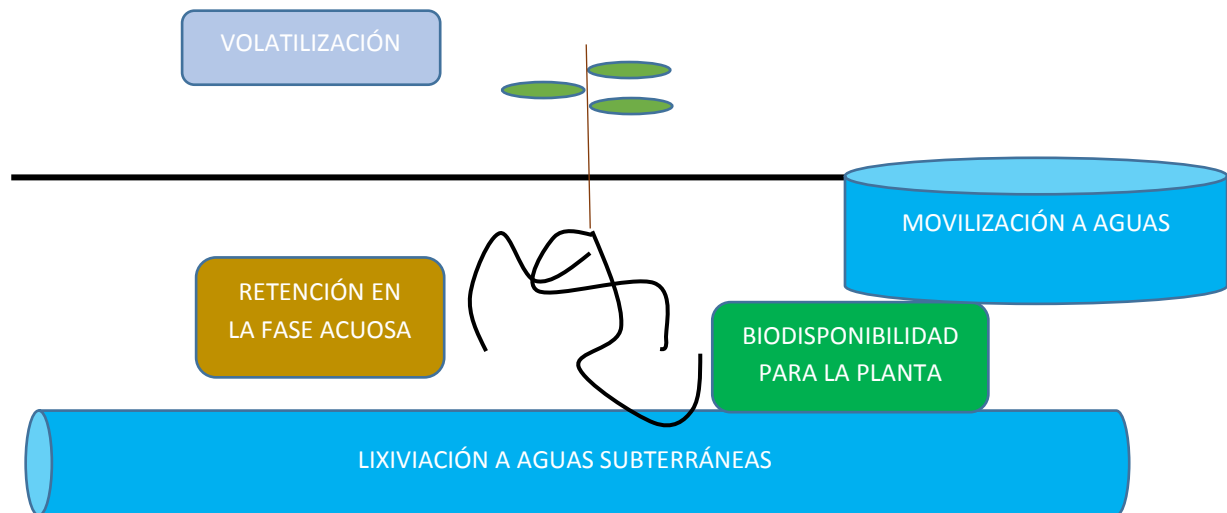
De manera general el plomo sigue 4 rutas en el suelo, especificadas a continuación (Peña & Beltrán, 2012):

- Permanece retenidos en fase acuosa del suelo o es absorbido sobre componentes inorgánicos y se asocian con la materia orgánica.
- Puede estar biodisponibles y las plantas los absorben.
- Puede volatilizarse y llegar a la atmósfera.

- Es capaz de moverse a las aguas subterráneas.
- Movilizarse hacia las aguas superficiales.

Se puede ver de una manera más gráfica en la siguiente Figura 1.

Figura 1. Principales rutas del plomo en el suelo.



Fuente: Elaboración Propia

Todas estas rutas son influidas por las características del suelo, la naturaleza de la contaminación, potencial redox, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y condiciones ambientales (Peña y Beltrán, 2012).

Reyes Guzmán determinó que en un suelo caracterizado por tener horizontes ricos en arcilla y un nivel freático fluctuante, el 38% del plomo se encontraba asociado con la materia orgánica y el 27% del plomo se encuentra biodisponible para las especies (Reyes Guzmán y Avendaño Prieto, 2012). Esto nos indica que el plomo tiene una gran capacidad de insertarse en la cadena trófica.

14. Biomasa

La biomasa se crea cuando la planta ingresa CO_2 a su sistema durante su crecimiento y es representada como el peso seco de la planta (EPEC). La alta concentración de metales pesados provoca la poca producción de biomasa (Jara- Peña et al, 2014).

15. Factor de translocación

Representa el transporte interno de un metal, es decir, indica la relación entre la concentración que se acumuló en la parte aérea y la raíz de un vegetal. Es determinado a través de la presente fórmula (Bader, Alsharif, Nassib, Alshelmani y Alalem, 2018).

$$FT = \frac{[Pb] \text{ en la parte aérea}}{[Pb] \text{ en raíces}}$$

Fuente: (Tiwari, Singh, Patel, Tiwari y Rai, 2011)

16. Factor de bioconcentración

Es la relación dada entre la concentración que tiene la planta entre la concentración en el suelo. Se calcula mediante la siguiente fórmula

$$BCF = \frac{\text{Concentración en el tejido de la planta}}{\text{Concentración en el suelo}}$$

Fuente: (Hazrat, Ezzat, & Muhammad, 2013)

17. Minería en el Perú

Las actividades primarias extractivas en el Perú han generado un crecimiento económico exponencial, en este campo la minería ha liderado el crecimiento en nuestro país, es innegable el desarrollo que la actividad implica, sin embargo, dicha actividad genera graves impactos, contaminación de agua, aire y suelos, degradación de ecosistemas naturales, etc. Uno de los principales daños al ambiente que genera esta actividad, por unidades mineras ilegales e informales, son los pasivos mineros ambientales, que son un peligro latente para el ecosistema en el que se encuentra (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú, 2018).

Actualmente se cuenta 813 concesiones mineras en la etapa de exploración, 3969 en la etapa de explotación y 59922 sin actividad minera como se muestra en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Catastro Minero Nacional

CONCESIONES MINERAS	CANTIDAD	HECTÁREAS	% RESPECTO AL TERRITORIO NACIONAL
Etapa de exploración	813	390,385.71	0.3
Etapa de explotación	3,969	1,220,319.82	0.95
Sin actividad minera	59,922	28,208,396.93	17.18

Fuente: (INGEMMET, 2015)

Como se observa, un gran porcentaje de las concesiones mineras están fuera de actividad, mientras que una pequeña parte se encuentra en la etapa de exploración.

Aproximadamente el Fondo Minero aporta a la economía nacional poco menos de S/.4 billones. Se puede ver el impacto en nuestra economía como se muestra en la Tabla 5

Tabla 5. Impacto económico a nivel nacional

FONDO MINERO	CANTIDAD (S./)	%
Canon minero	2,978,748,572	87.67
Regalías mineras	437,758,520	12.15
Derecho de vigencia y penalidad	186,775,425	5.18
TOTAL	3,603,282,516	100

Fuente: (INGEMMET, 2015)

17.1. Pasivos ambientales mineros

Los PAM, que sus siglas significan “pasivos ambientales mineros”, son subestructuras, distributarios, almacenes o depósitos de desechos provocados por actividades mineras, hoy en día abandonados o inoperativos y que comprenden un peligro persistente y

potencial para el ecosistema que los rodea, la salud humana y la propiedad (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Existen cuatro tipos de PAM, los cuales pueden ser diferenciados según su tipo de componente, como se especifica en la siguiente Tabla 4.

Tabla 4. Tipos de pasivos ambientales según el componente

Tipos	Definición
Labores mineras	Referido a bocaminas, trincheras, chimeneas, tajos, tajos comunicados, piques, rampas y plataformas.
Residuos mineros	Pueden ser desmontes de mina, relavera, residuos de carbón, materiales de desbroce, pilas de lixiviados, entre otros.
Infraestructura	Tales como oficinas, campamentos plantas de procesamiento, caminos, helipuertos, chancadoras, generadores, líneas de electricidad, etc.
Otros	Productos químicos y residuos

Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2018)

De acuerdo a la Ley que regula los pasivos ambientales mineros, el Ministerio de Energía y Minas es el encargado de identificar a aquellas mineras que hayan abandonado sus desechos o instalaciones generando pasivos y ligar responsabilidades a dichas mineras (Ley 28271, 2004).

a. Remediación de PAM

La remediación es la miscelánea de procesos a ser ejecutadas con el propósito de cumplir con las normas ambientales determinadas y lograr los objetivos esperados que

la sociedad impone, después de la etapa de identificación y aprobación del Plan de Cierre de los pasivos ambientales mineros (Activos Mineros S.A.C., 2018).

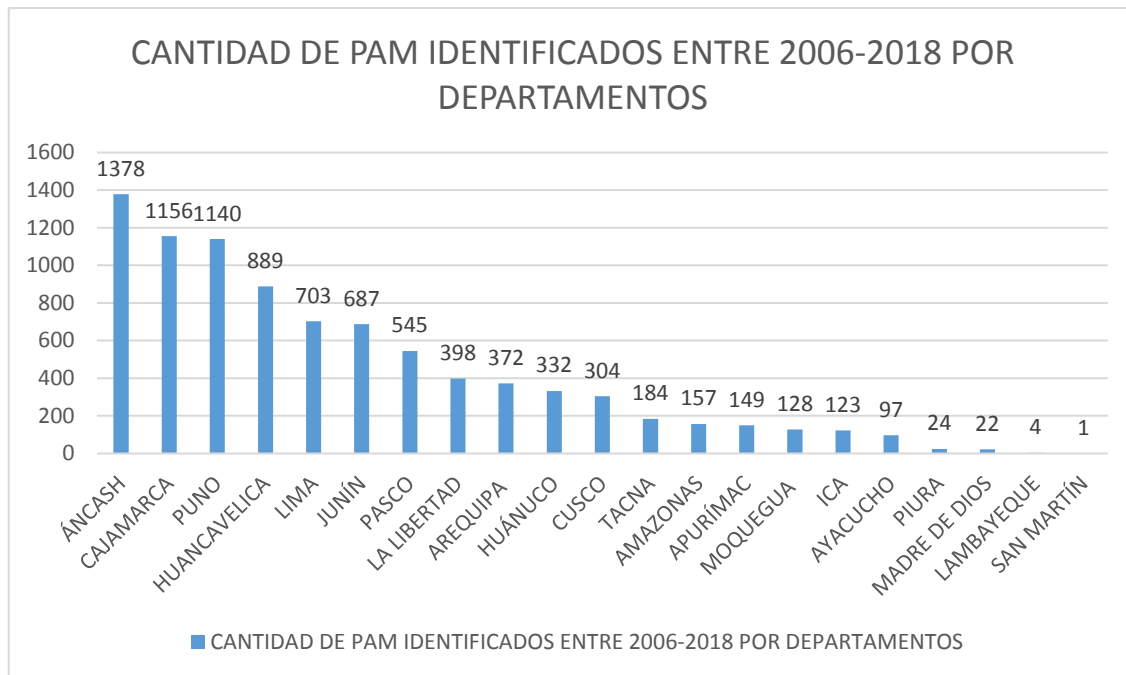
Según el MINEM, el plan de manejo de PAMs se divide en 4 fases principales (Ministerio de Energía y Minas, 2015).

- Fase I: Actualización del inventario: Identificación, caracterización y priorización de PAMs de acuerdo al riesgo
- Fase II: Determinación de los Responsables Generadores de PAMs
- Fase III: Elaboración de Estudios de Ingeniería para la Remediación de PAMs que asuma el Estado.
- Fase IV: Obras de remediación

Los pasivos ambientales mineros en proceso de remediación se encuentran agrupados en proyectos distribuidos en siete regiones de país, Cajamarca, Áncash, Pasco, Junín, Lima, Huancavelica y Puno. (Ministerio de Energía y Minas, 2018). Es importante resaltar que una de estas regiones, Áncash, es el sitio de estudio de de esta investigación, debido a su potencial peligro en cuanto a PAMs se refiere.

Además como se muestra en la siguiente Figura 2, Áncash lidera la gráfica presentando la mayor cantidad de Pasivos Ambientales Mineros, 1378, de los cuales 73 se encuentran en Cátac, que representa el 5 %, de ahí lo imprescindible de esta investigación.

Figura 2. Cantidad de pasivos ambientales mineros identificados por departamentos entre el 2006-2018.



Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2018)

Los relaves mineros son un grave problema debido a su toxicidad y peligro para la población y ecosistema. Estos relaves son las áreas ocupadas por los residuos de minerales, metales pesados, roca molida, agua, y químicos como plomo, zinc, cianuro, arsénico, entre otros, que se adquieren a causa del procedimiento de concentración de minerales. Situados en forma de presa o embotellamiento, donde los elementos sólidos van vertiéndose en el fondo de un estanque convencional (artificial). Es el pasivo ambiental minero más representativo según su riesgo y capacidad, simboliza alrededor del 70 % de los PAM de una actividad minera (Medvinsky-Roa, Carova y Vallejo, 2015).

b. Minería en Cátac

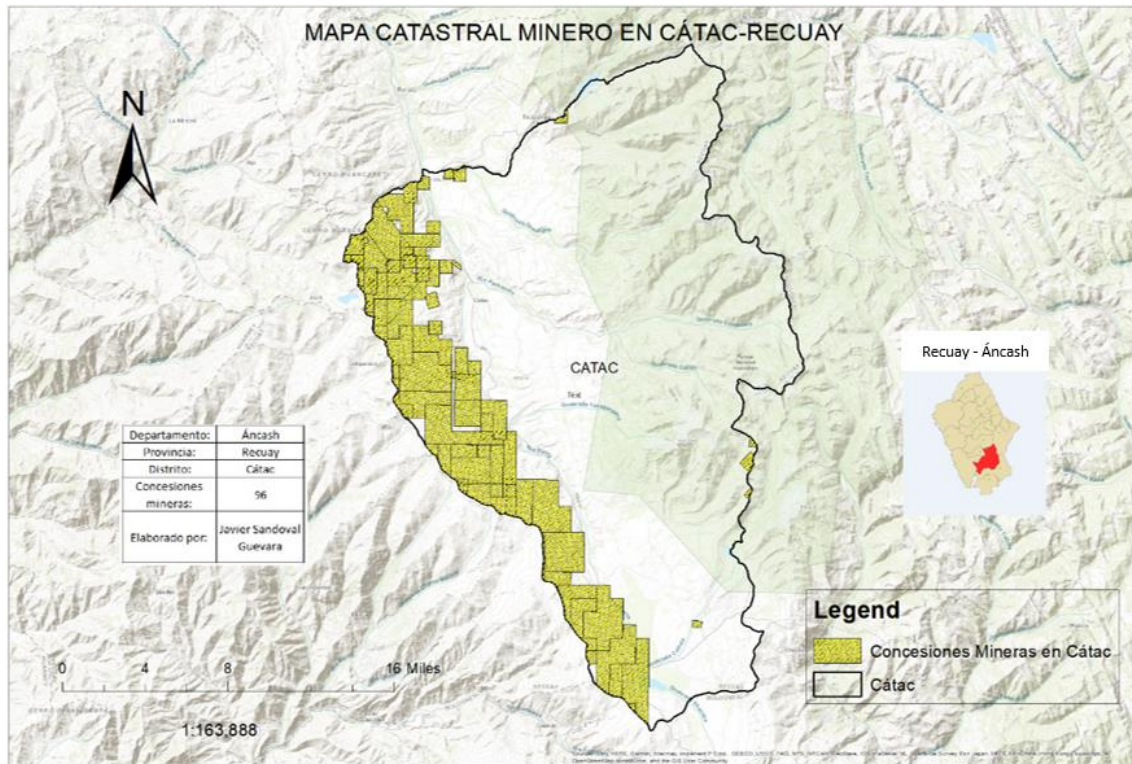
Actualmente en Recuay, se tiene bastante actividad minera, Antamina es una de las empresas con mayor actividad social, generando proyectos para las comunidades, como rellenos sanitarios, proyectos de educación, capacitaciones en mejoramiento genético para ganadería ovina, además de la construcción de una carretera que une Cátac con Huari.

Sin embargo, la situación actual de conflictos mineros en Cátac es lamentable, debido a los constantes problemas entre las comunidades; por ejemplo, el Conflicto Minero: Laguna Conococha y Parque Nacional de Huascarán entre comunidades afectadas (Huambo, Pampas Chico, Cátac) y la minera; siendo los actores identificados: Frente de Defensa y Desarrollo de la Comunidad Campesina de Huambo, Federación Agraria Departamental Ancash y la Minera Chancadora Centauro S.A.C. Este es un conflicto que se produce desde el 2009, el motivo del conflicto es que el Proyecto de exploración Huambo, ubicado en alrededores de la laguna ya mencionada, al borde izquierdo del río Santa, aproximadamente a unos 4150 m.sn.m. de altitud, la Corporación minera Chancadora Centauro S.A.C, realiza actividades que peligran la calidad del agua, incluso a la zona de vida a sus alrededores y las superficies en el que los ríos pasan. (Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina).

La minera Chancadora Centauro S.A.C. (ID 1687), extrae cobre, cuenta con el EIA aprobado y actualmente se encuentra en etapa de suspensión (Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina).

Cátac cuenta con 96 concesiones mineras en su territorio como lo demuestra el siguiente mapa (Figura 3), tomando la data del servidor de GEOCATMIN del Mapa de Catastro Minero (GEOCATMIN, 2018).

Figura 3. Mapa de concesiones mineras en Cátac – Recuay



Fuente: Elaboración Propia

Actualmente se cuenta con 73 pasivos ambientales mineros en Cátac (5% del total que cuenta Áncash), de los cuales ninguno cuenta con estudios ambientales, esto es muy grave debido al potencial riesgo que existe sin una remediación adecuada (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2010). Es clave que el estado llegue a las zonas alejadas, mediante el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, para la regulación y fiscalización de las mineras para evitar y prevenir que se produzca el abandono de instalaciones o residuos provenientes de la actividad en el ecosistema. Además, se debe de generar una consciencia sostenible desde la etapa de formulación de los proyectos de inversión privada.

18. Marco político-normativo

18.1. Ley General de Minería

El Decreto Supremo N° 014-92-EM, Ley General de Minería, fue publicado el 3 de junio de 1992, es una ley que hasta la fecha no se ha actualizado, pero sí modificado, dicha Ley es referida a todo lo relacionado al aprovechamiento de minerales, lo que respecta a las concesiones y sus obligaciones, la distribución de los ingresos al estado peruano, promoción de la inversión (D.S. N° 014-92-EM, 1992).

18.2. Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera

La Ley N° 28271, publicada el 6 de julio de 2004, tiene como objetivo la regulación de los pasivos ambientales proveniente de la actividad minera, atribuir responsabilidades y regular el financiamiento de las mineras para la remediación de dichos pasivos en el entorno afectado, para lograr la mitigación de los impactos en la salud humana, en el ecosistema afectado y la propiedad. Asimismo, las mineras deben presentar acciones y estudios que deben ser presentados en un Plan de Cierre de Pasivos Ambientales de acuerdo a la Guía sobre Cierre de Minas a la autoridad competente (Ley 28271, 2004).

18.3. Ley General del Ambiente

La Ley General del Ambiente, publicada el 15 de octubre del 2005, nos menciona la importancia de la responsabilidad ambiental; del aprovechamiento, regulación, prevención de pérdida y contaminación del recurso suelo (Ley 28611, 2005). La investigación presentada se alinea a la Ley General de Ambiente ya que logrará recuperar suelos contaminados por la acción de contaminantes, además de que generará el aprovechamiento de especies altoandinas promoviendo su uso posterior.

18.4. Política Nacional Ambiental

El 23 de mayo del 2009 se aprobó la Política Nacional de Ambiente, este fue un gran paso para la mejora ambiental a nivel nacional mediante estrategias en conjunto con diversos actores políticos, sociales y técnicos; esta política es uno de los principales instrumentos de gestión para llegar a un desarrollo sostenible, cabe resaltar que dicha

política fue elaborada en concordancia con los objetivos del milenio de ONU y la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y Desarrollo.

En el Eje de Política 1 sobre conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y de la diversidad biológica, nos menciona que es prioridad para el estado fortalecer conocimientos para lograr un manejo sostenible de los suelos, al mismo tiempo de impulsar acciones para prevenir procesos de degradación, pérdida de suelos, mediante la mitigación de los efectos producidos y/o recuperándolos de ser posible (D.S N° 012-2009-MINAM, 2009).

Asimismo, en el Eje de Política 2 sobre Gestión de Calidad integral de Calidad Ambiental, en uno de sus lineamientos en lo que a Control Integrado de Contaminación respecta, menciona que se debe ejecutar acciones para recuperar la calidad de suelos en áreas afectadas por pasivos ambientales (D.S N° 012-2009-MINAM,2009).

La presente investigación se alinea a la Política Nacional de Ambiente, en ambos Ejes ya que busca la recuperación de suelos producto de la contaminación por plomo por parte de las mineras en Cátaç, Áncash. La generación de información de especies altoandinas en remediación de suelos brindará antecedentes para la investigación continua. Entre los organismos adscritos al Ministerio del Ambiente, se encuentra el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, el cual facilitará equipos, instalaciones y apoyo a la investigación.

18.5. Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo

De acuerdo con lo establecido en el Decreto Supremo D.S N° 011-2017-MINAM, sobre Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Suelo aprobado en diciembre del 2017, nos expone el estándar para en plomo en los diferentes usos de suelos del país, entre los cuáles para propósitos de la investigación se tomará de referencia el parámetro del Pb en el “Uso de suelo extractivo”, el cuál es de 800 mg/kg PS (D.S N° 011-2017-MINAM, 2017).

CONCLUSIÓN

De la revisión teórica presentada, se concluye que a pesar de las persistentes investigaciones que se realizan en el mundo, en lo que a remediación de suelos se refiere, el Perú se encuentra muy escaso de información sobre especies altoandinas que sean capaces de recuperar suelos contaminados por plomo; estas investigaciones deben ser impulsadas por el estado peruano mediante el SERNANP, IIAP, IGP, CONCYTEC y otras instituciones, conjuntamente con el apoyo privado, como las universidades, mediante el apoyo de este tipo de investigaciones; todo esto de la mano de las mineras responsables del impacto producido, para así lograr un desarrollo sostenible y mejorar la calidad de los suelos, el recurso hídrico y por ende la calidad de los alimentos y todo lo que conlleva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Activos Mineros S.A.C. (2018). *REMEDIACIÓN AMBIENTAL DE PASIVOS MINEROS*.

Obtenido de <https://bit.ly/2Ab6hRB>

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). *Resúmenes de Salud Pública - Plomo (Lead)*. Atlanta: ATSDRC. Obtenido de

<https://bit.ly/2gmcwWD>

Alkorta, I., Becerril, J. y Garbisu, C. (2010). Phytostabilization of metal contaminated soils. *Reviews of environmental Health*, 25(2), 135-146.

doi:10.1515/REVEH.2010.25.2.135

Bader, N., Alsharif, E., Nassib, M., Alshelmani, N. y Alalem, A. (2018).

Phytoremediation potential of *Suaeda vera* for some heavy metals in roadside soil in Benghazi, Libya. *Asian Journal of Green Chemistry*, 3(1), 82-90.

doi:10.22034/AJGC.2018.67060

Banco Mundial. (2013). *Perú: un país megadiverso que invierte en áreas naturales*

protegidas. Obtenido de <https://bit.ly/2kJxkP2>

Burgetz, A. (2017). *Microbial indicators for the assessment of the impact of metal contamination and phytoremediation of soil health*. (Tesis de pregrado).

Universidad del País Vasco, España.

Chávez, Á., Pinzón, L. y Casallas, N. (2016). Fitorremediación como un proceso de descontaminación para lodos de lixiviado provenientes de rellenos sanitarios.

Semilleros, 3(5), 87- 92. Obtenido de <https://bit.ly/2qXCiBL>

Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. 2 de diciembre del 2017.

Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. 23 de mayo del 2009.

Decreto Supremo N° 014-92-EM. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. 3 de junio de 1992.

Espinosa, J., & Molina, E. (1999). *Acidez y encalado de los suelos*. Costa Rica: International Plant Nutrition Institute. Obtenido de <https://bit.ly/2DyQqQ9>

FAO. (2018). *Glosario de términos sobre humedad del suelo*. Obtenido de <https://bit.ly/2QdSqnI>

FAO. (2018). *Portal de suelos de FAO*. Obtenido de <https://bit.ly/2AdYWAE>

Galán, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 1(10), 48-60. Obtenido de <https://bit.ly/2FB0B9I>

GEOCATMIN. (2018). *Mapa Catastro minero*. Obtenido de <https://bit.ly/2R7syXJ>

Germplasm Resources Information Network. (5 de Junio de 2010). *U.S. National Plant Germplasm System*. Obtenido de <https://bit.ly/2R1y4LB>

Gosh, M. y Singh, S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. *Applied Ecology and Environmental Research*, 3(1), 1-18. Obtenido de <https://bit.ly/2DQLZkH>

Hansen, A., León, A. y Bravo, L. (1995). Fuentes de contaminación y enriquecimiento de metales en sedimentos de la cuenca Lerma-Chapala. *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua*, 10(3), 55-69. Obtenido de <https://bit.ly/2S6BVa2>

Hazrat, A. y Khan, E. (2013). Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*, 60(2), 869-881.
doi:10.1016/j.chemosphere.2013.01.075

Hazrat, A., Ezzat, K., & Muhammad, A. (2013). Phytoremediation of heavy metal. Concepts and applications. *ELSERVIER*, pp.870-878.

- Huang, C.-Y., Cheng, S.-F., Lin, Y.-C., Lin, S.-C. y Chen, K.-L. (2015).
 Phytoremediation of lead using corn in contaminated agricultural land—An in
 situ study and benefit assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*,
 111, 72-77. doi:10.1016/j.ecoenv.2014.09.024
- Huerta, J. (2007). Ortiga. *Medicina Naturista*, 1(2), 131-137. Obtenido de
<https://bit.ly/2qY49IA>
- INGEMMET. (2015). *Mapa Catastral Minero*. Obtenido de
<http://www.ingemmet.gob.pe/>
- Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. (2018). *Minería en el Perú*. Obtenido de
<https://bit.ly/2r0ZaXW>
- Inzunza, J. (2006). *Meteorología descriptiva y aplicaciones en Chile*. Santiago de
 Chile: Universidad de Concepción. Obtenido de <https://bit.ly/2DQGceJ>
- Jara- Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. y Cano, N. (2014).
 Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos
 contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 21(2), 145-
 154. doi:10.15381/rpb.v21i2.9817
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R. y Bello, S. (2006). Organic matter, importance,
 experiences and it role in agriculture. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61.
 doi:10.4067/S0718-34292006000100009
- Kelepertzis, E. (2014). Accumulation of heavy metals in agricultural soils of
 Mediterranean: Insights from Argolida basin, Peloponnese, Greece. *Geoderma*,
 221(222), 82-90. doi:10.1016/j.geoderma.2014.01.007
- Lima, F., WA do Nascimento, C., BV da Silva, F., GB de Carvalho, V. y Ribeiro, M.
 (2009). Lead concentration and allocation in vegetable crops grown in a soil

contaminated by battery residues. *Horticultura Brasileira*, 27(3), 362-365.

doi:10.1590/S0102-05362009000300019

Ley General del Ambiente 28611. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. 15 de octubre del 2005.

Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera 28271. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. 6 de julio del 2004

Marín, S. (s.f.). *Estudio de la movilización de metales pesados*. Bogotá, Colombia.

Obtenido de <https://bit.ly/2zn5PQD>

Medvinsky-Roa, G., Carova, V. y Vallejo, J. (2015). *Informe sobre la situación de los Relaves Mineros en Chile para ser presentado en el cuarto informe periódico de Chile para el Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, perteneciente al consejo Económico Social de la Naciones Unidas. Fundación*.

Santiago de Chile: Relaves. Obtenido de <https://bit.ly/2PJYchd>

Ministerio de Energía y Minas. (2015). *Remediación de pasivos ambientales mineros en el Perú*. Obtenido de <https://bit.ly/2BoKE25>

Ministerio de Energía y Minas. (2018). *Informativo minero N°12-2018*. Lima: MINEM.

Obtenido de <https://bit.ly/2LWbJQ1>

Monsalve, C. (2003). *Taxonomía y distribución de la familia Brassicaceae en la provincia e Huaylas, Áncash*. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San

Marcos. Obtenido de <https://bit.ly/2R1OfZI>

Moreno, C., González, M. y José, E. (2015). Influencia del manejo sobre la calidad del suelo. *Ecuador es calidad*, 2(1), 33-40. Obtenido de <https://bit.ly/2DSBAov>

Nebel, B. y Wright, R. (2006). *Environmental Science: the way the world works*.

Washington, Estados Unidos: Prentice Hall.

- Observatorio de Conflictos Mineros de América Latina. (s.f.). *Conflicto Minero: Laguna Conococha y Parque Nacional de Huscarán*. Obtenido de <https://bit.ly/2R2IXws>
- Obsevatorio de Conflictos Mineros de América Latina. (s.f.). *Proyecto: Huambo*. Obtenido de <https://bit.ly/2DCVIKB>
- Owen, B. (1995). Physical and chemical characteristics of the soil and their incidence on nutrient uptake with emphasis on oil palm. *Palmas*, 16(1), 31-40.
- Peña, F. y Beltrán, M. (2012). Phytoremediation application in heavy metal contaminated soil using *Annus helianthus L.* in the Mantaro experimental station. *Prospectiva Universitaria*, 9(1), 31-45. doi:10.26490/uncp.1990-7044.2012.1.291
- REITEC. (s.f). *Conductividad eléctrica*. España. Obtenido de <https://bit.ly/1PvpnGj>
- Reyes Guzmán, M. y Avendaño Prieto, G. (2012). Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo. *Revista EAN(72)*, 66-75. Obtenido de <https://bit.ly/2FBFkMM>
- Rodriguez, G., Urango, I., Marrugo, J., Durang, J. D. y Durango, J. D. (2017). Cambios en la biodisponibilidad de plomo en suelos mineros sometidos a fitorremediación con la especie vegetal *Paspalum fasciculatum*. *Memorias III Seminario Internacional de Ciencias Ambientales SUE-Caribe*, 206-208. Obtenido de <https://bit.ly/2AfsUoa>
- Rodríguez, J., Rodríguez, H., Reyes, G., Martínez, J. y Lara, J. (2006). Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. *Revista Fitotecnia Mexinana*, 29(3), 239-245. Obtenido de <https://bit.ly/2KpbKJ6>
- Sistema Nacional de Información Ambiental. (2010). *Pasivos ambientales mineros*. Lima: SINIA. Obtenido de <https://bit.ly/2QfxNHy>

- Song, K., Osborn, T., Williams, P. (1988) Brassica taxonomy based on nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *Theoretical and Applied Genetics*, 76(4), 593-600. doi: 10.1007/BF00260914
- Soriano, M. (2018). Conductividad eléctrica del suelo. *Universitat Politècnica de Valencia*, 7(3), 1-10. Obtenido de <https://bit.ly/2zkaJhm>
- Tiwari, K., Singh, N., Patel, M., Tiwari, M. y Rai, N. (2011). Metal contamination of soil and translocation in vegetables growing under industrial wastewater irrigated agricultural field of Vadodara, Gujarat, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(6), 1670-1677. doi:10.1016/j.ecoenv.2011.04.029
- United Department of Agriculture. (2018). *Natural Resources Conservation Service*. Obtenido de <https://bit.ly/2BorGsv>
- Zagal, E. y Córdova, C. (2005). Soil Organic Matter Quality Indicators in a Cultivated Andisol. *Agricultura técnica*, 65(1), 186-197. doi:10.4067/S0365-28072005000200008