

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES CON  
POTENCIAL PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS  
PROVENIENTES DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Marleni Lizbeth García Martos

Mayra Yamilet Vásquez León

Asesor:

M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna

Cajamarca - Perú

2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación está dedicado a Dios por habernos encaminado y orientado durante el transcurso de nuestra carrera profesional, por ofrecernos una vida llena de bendiciones, salud y ante todo bienestar, asimismo por darnos la fuerza y energía necesaria en nuestros momentos más difíciles.

A nuestros padres con mucho cariño por su apoyo moral, por ser nuestros guías y por exigirnos día a día para ser de nosotros los mejores e ir por el camino del bien, además de poner todo su esfuerzo para nuestra formación profesional.

## AGRADECIMIENTO

Este trabajo de investigación realizado en la Universidad Privada del Norte-Cajamarca es un esfuerzo muy significativo por lo que nos ha permitido aprovechar los conocimientos y experiencias de considerables personas que deseamos agradecer en este apartado.

A nuestro asesor de tesis, M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna, por aportar con sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo, por su paciencia frente a nuestras dudas, por su valioso apoyo para seguir y llegar a la conclusión del mismo.

Al Mg. Blgo. Marco Alfredo Sánchez Peña, nuestro más sincero agradecimiento por compartir sus conocimientos y por la gran ayuda que nos ha brindado en el transcurso de esta investigación para culminar exitosamente.

De igual manera agradecer al PRONABEC por el sustento económico durante los cinco años de nuestra formación profesional y por infundirnos valores.

Así mismo agradecer a nuestros amigos que aportaron con su opinión y crítica para que este trabajo sea culminado satisfactoriamente.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
TABLA DE CONTENIDOS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
RESUMEN.....	8
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. Realidad problemática.....	9
1.2. Formulación del problema.....	21
1.3. Objetivos.....	21
1.4. Hipótesis.....	22
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
2.1. Tipo de investigación.....	23
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	23
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	26
2.4. Procedimiento.....	27
2.5. Aspectos Éticos.....	28
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>29</b>

3.1.	Inventario de especies vegetales .....	29
3.2.	Concentración de metales pesados en especies vegetales de diez investigaciones..	33
3.3.	Especies vegetales que presentaron mayor concentración de metales pesados .....	40
3.4.	Tipo de fitorremediación de especies vegetales .....	42
3.5.	Comparación de suelos provenientes de PAM con los ECA .....	43
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>		<b>48</b>
4.1.	Discusión .....	48
4.2.	Conclusiones.....	50
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>52</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Inventario de especies vegetales.....	29
Tabla 2 Especies vegetales que presentaron mayor concentración de metales pesados. ....	40
Tabla 3 Tipo de fitorremediación de especies vegetales .....	42
Tabla 4 Comparación de las concentraciones de As en suelos con los ECA.....	44
Tabla 5 Comparación de las concentraciones de Cd en suelos con los ECA.....	45
Tabla 6 Comparación de las concentraciones de Pb en suelos con los ECA. ....	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metales pesados en la investigación de Bazán y Rojas (2018). .....	34
Figura 2. Metales pesados en la investigación de Corpus (2018). .....	34
Figura 3. Metales pesados en la investigación de Dávila y Walter (2017). .....	35
Figura 4. Metales pesados en la investigación de Durán (2010).....	36
Figura 5. Metales pesados en la investigación de Jara-Peña et al. (2014).....	36
Figura 6. Concentración de metales pesados en la investigación de León (2017). .....	37
Figura 7. Metales pesados en la investigación de Medina y Montano (2014). .....	38
Figura 8. Metales pesados en la investigación de Padilla et al. (2009). .....	38
Figura 9. Metales pesados en la investigación de Paredes (2015).....	39
Figura 10. Metales pesados en la investigación de Ríos (2017).....	39
Figura 11. Especies vegetales con mayor concentración de metales pesados.....	41
Figura 12. Comparación de las concentraciones de As en suelos con los ECA.....	44
Figura 13. Comparación de las concentraciones de Cd en suelos con los ECA.....	46
Figura 14. Comparación de las concentraciones de Pb en suelos con los ECA. ....	47

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, está basado en la identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros (PAM); entre las cuales, las más resaltantes fueron, *Paspalum bomplandianum* que presentó una mayor concentración de Al con 2 844.6 mg/kg, *Lachemilla orbiculata* presentó mayor concentración de Mg con 1 912.5 mg/kg, *Bidens triplinervia* presentó mayor concentración de Pb y Zn con 5 842 mg/kg y 11 514 mg/kg respectivamente, *Lupinus ballanus* tuvo mayor concentración de Cd con 287.3 mg/kg, *Cortaderia rudiusscula* Stapf. presentó mayor concentración de As con 2 858 mg/kg, *Juncus articus* Willd. obtuvo mayor concentración de Mn con 1 743 mg/kg y *Polylepis racemosa* obtuvo más concentración de Cu con 4 925.37 mg/kg. Asimismo, se clasificó a las especies vegetales de acuerdo al tipo de fitorremediación las cuales resultaron ser fitoextractivas y fitoestabilizadoras.

Por otro lado, se hizo una comparación de las concentraciones de metales pesados en los suelos provenientes de pasivos ambientales mineros con los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo 011-2017-MINAM, los cuales sobrepasaron los límites permitidos por la normativa peruana.

**Palabras clave:** Especies vegetales remediadoras, fitorremediación, concentración de metales pesados en plantas, suelos contaminados con metales pesados y pasivos ambientales mineros.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

La supervivencia de la humanidad está inevitablemente ligada al potencial de uso de los suelos; sin embargo, este recurso en las últimas décadas se ha degradado rápidamente como consecuencia de una serie de acciones derivadas principalmente de la actividad antrópica, como resultado se ha vertido en ellos una gran cantidad de sustancias contaminantes principalmente de naturaleza química, que hoy en día afectan seriamente la funcionalidad y sostenibilidad de este recurso, convirtiéndose en un problema ambiental de enorme repercusión (Bernal, 2014).

El suelo es el medio más estático, donde los contaminantes pueden permanecer durante mucho tiempo. Esta permanencia a largo plazo es especialmente grave en el caso de contaminantes inorgánicos como los metales pesados, que no pueden ser degradados. Su persistencia, acumulación progresiva y/o su transferencia a otros sistemas supone una amenaza para la salud humana y la de los ecosistemas, la actividad minera es una de las principales causas de la contaminación de suelos; ya que, genera una gran cantidad de residuos pétreos y lodos ricos en metales pesados (Becerril, Barrutia, Gacía, Hernández, Olano y Garbisu, 2007).

La fitorremediación surge por el desarrollo de la industria minera, donde los pasivos ambientales mineros (PAM) han ido incrementando de manera desmedida, estos se refieren a un área donde hay la necesidad de restaurar, mitigar o compensar por un daño ambiental o impacto generado, producido por actividades mineras inactivas o en abandono ya que estas se desarrollan en un periodo finito de tiempo, poniendo en riesgo la salud, calidad de vida y bienes públicos o privados (Arango y Olaya, 2012).

Joseph Priestley, Karl Scheele y Antoine Lavoisier en el siglo XVIII señalaron que las plantas son capaces de descontaminar la atmósfera. Luego en 1885, Baumann, un botánico alemán, encontró altas concentraciones de zinc (Zn) en las hojas de algunas plantas que crecían en lugares conteniendo cantidades elevadas de este metal; sin embargo, no fue sino hasta el año de 1970 que se reconoció la habilidad de las plantas para limpiar aguas y suelos contaminados. Y así, en el año de 1990 surgió el concepto de fitorremediación (De la Rosa, 2006).

El uso de plantas puede definirse como una tecnología sustentable para reducir in situ la concentración o peligrosidad de contaminantes orgánicos e inorgánicos de suelos, sedimentos, agua y aire, a partir de procesos bioquímicos realizados por ellas mismas que conducen a la fitoextracción, fitoestabilización, fitoinmovilización, fitovolatilización, fitodegradación y rizofiltración (Núñez, Vong, Borges y Olguín, 2004). Las plantas al ser expuestas a metales pesados pueden presentar distintas respuestas fisiológicas, las cuales varían dependiendo de la especie de la planta, el metal específico al que es expuesta y la concentración en el suelo del mismo; con base en dichas respuestas se clasifican en tres tipos: excluyentes, indicadoras y acumuladoras de metales pesados (Covarrubias y Peña, 2017).

México fue uno de los primeros países interesados en esta tecnología; ya que, en 1994 desarrolló la investigación enfocada en remediar aguas; la cual fue, fitorremediación de aguas residuales de granjas porcinas y de procesamiento del café y 2 años más tarde investigó a cerca de contaminación de suelos contaminados por hidrocarburos (Núñez et al. 2004). La fitorremediación ha sido exitosa tanto con compuestos orgánicos como solventes orgánicos, herbicidas, explosivos, hidrocarburos derivados del petróleo, bifenilos policlorinados (PCBs), tricloroetileno

(TCE), hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs) e inorgánicos como macronutrientes vegetales (nitrato y fosfato), elementos traza como cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), zinc (Zn), elementos no esenciales como cadmio (Cd), cobalto (Co), flúor (F), mercurio (Hg), selenio (Se), plomo (Pb), vanadio (V) y wolframio (W), entre otros; el mercado comercial de fitorremediación comprende 80% de contaminantes orgánicos y 20% de inorgánicos; por ende, la fitorremediación creció de 3 y 5 veces entre 1999 y 2005 (Mentaberry, 2011). En los últimos años la fitorremediación ha sido una tecnología limpia que ha dado resultados positivos a la problemática de contaminación de suelos por la actividad minera y problemas afines.

Por la alta contaminación al ambiente que generan los pasivos ambientales de las diferentes empresas mineras y por las consecuencias que traen consigo, se ha desarrollado múltiples investigaciones para encontrar soluciones a este problema en el cual sobresale la fitorremediación, por la efectividad que ha demostrado al momento de cada experimento desarrollado, mediante plantas que se caracterizan por presentar capacidad de remoción de metales pesados y metaloides.

Según Becerril et al. (2007) en la región de las Encartaciones en Bizkaia, Norte de España caracterizada por la tradición minera relacionadas con Fe, Pb y Zn, la investigación se centró en las escombreras y terrenos adyacentes de la mina de Galena abandonada donde se obtuvo muestras de suelo que tenía un pH de 6.9 contenido en materia orgánica 3%, una relación de C/N de 15 y niveles medios de Zn 51.304 (5,990- 159,157) mg/ kg, Pb 28.203 (8.350- 69.803) mg/kg, Cd 42 (4-163) mg/kg. Se comprobó que la zona era heterogénea en la distribución y en la concentración de los metales. Se hizo un inventario florístico del entorno, luego se analizó el contenido de metales del suelo recogido y en la materia seca de las plantas;

las cuales, especies como *Festuca rubra*, *Agrotis capillaris*, *Pteridium aquilinum*, *Thlaspi caerulescens*, *Jasione montana* y *Rumex acetosa*, se destacaron por tener capacidad de tolerancia y acumulación.

De la misma manera, América Latina no ha sido ajena a esta tecnología limpia, por lo que se han hecho estudios en muchos países de este continente, por el gran beneficio que brinda en la restauración de suelos recuperando diversas áreas degradadas por la actividad minera. En México se desarrolló una serie de investigaciones, Ruíz y Armienta (2012) determinaron las concentraciones de As, Pb, Zn, Cu, Fe y Cd en cuatros sustratos, bajo la influencia de los jales mineros de “El Fraile”, se estudió su acumulación y efectos en el desarrollo de ejemplares de tallo largo como el maíz, crecidas en invernadero bajo condiciones controladas por 70 días; del mismo modo se evaluó las concentraciones de metales para plantas de 30 días. Se encontró que el Zn y Pb fueron los elementos con mayor concentración para los sustratos y acumulación de las plantas. Los elementos tóxicos que deben ser vigilados son el Pb, Cd y As debido a la toxicidad. Por otro lado, según Muñoz, Nevárez, Dallinas y Peralta (2010) la contaminación de suelos es una complicación que se ha incrementado con el paso del tiempo, hoy en día se puede encontrar contaminantes tanto de tipo orgánico como inorgánico y para su remediación los tratamientos físico-químicos convencionales son muy caros y poco convenientes para aplicarse a terrenos extensos. Por último, Covarrubias y Peña (2017) mencionaron que la contaminación por metales tóxicos es un problema que va creciendo debido a la actividad humana, en especial la minería. Entre los lugares más afectados por las altas concentraciones de metales tóxicos en suelos están en los estados de Zacatecas, Querétaro, Hidalgo y San Luis Potosí. Una opción para contribuir a la solución de este inconveniente, es el uso de especies vegetales para la remoción de metales

pesados del suelo. Al respecto, en México se han caracterizado especies con capacidad de acumulación de metales, como *Scirpus americanus*, *Typha latifolia*, *Jatropha dioica*, *Eichhornia crassipes* y *Amaranthus hybridus*. Pero son necesarias más investigaciones para lograr una mejora de los sistemas de tratamiento basados en la selección de las mejores plantas endémicas de los sitios contaminados.

En nuestro país, en la región Lima según Jara-Peña, Gómez, Montoya, Chanco, Mariano y Cano (2014) sostuvieron que esta tecnología se ha hecho en condiciones de invernadero en octubre de 2011 a octubre de 2012, donde se evaluaron 20 tratamientos con un diseño factorial completo de 5x4: 5 especies alto andinas y 4 sustratos con suelo sin relave de mina, 30%, 60% y 100% de relave de mina y la producción de biomasa se redujo significativamente en *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, con el tratamiento de 100% de relave de mina. La mayor eficiencia de acumulación de Pb y Zn fue obtenida en las raíces de *F. echinata* con el tratamiento de 100% de relave de mina, obteniendo 2 015.1 mg de Pb/kg MS y 1 024.2 mg de Zn/kg MS. En las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de Cd, con una concentración de 287.3 mg/kg MS con el tratamiento de 100% de relave de mina. *F. echinata* presento el mayor índice de tolerancia al tratamiento de 100% de relave de mina, con un índice de tolerancia de 41.5 mg/kg, pero *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor índice de tolerancia al tratamiento de 60 % de relave de mina con índice de tolerancia de 68.5 % y 67.9%. Por otro lado, Paredes (2015) en su investigación evaluó el uso de especies forestales en Arequipa (*Acacia visco*, *Buddleja coriácea*, *Eucalyptus globulus*, *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Schinus molle*) para el tratamiento de relaves mineros. Evaluó el desarrollo de las especies durante 27 semanas e hizo un análisis para determinar la concentración de elementos químicos,

estas especies tuvieron gran tolerancia a suelos contaminados y removieron elementos químicos como: antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag) y plomo (Pb).

En la provincia de Cajamarca, según Dávila y Walter (2017) determinaron las especies de flora herbácea silvestre con capacidad fitorremediadora originarias de la zona de pasivos ambientales mineros provenientes del Sinchao, donde se realizaron el análisis de las especies *Calamagrostis termensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus*, seleccionadas por su valor de importancia en la zona. En este estudio se identificó que la especie *P. bonplandianum* acumula la mayor cantidad de metales tóxicos (mg/kg), como el Al (2 844.6), Hg (0.3), Sb (13), Sn (1.4), Zn (760.2), Cr (3.86) y Ni (3.59). Asimismo, la concentración de metales pesados se da en la parte de la raíz de todas las plantas, a excepción de la, *L. orbiculata* donde se observó en el tallo.

Para el desarrollo de este trabajo de investigación se utilizó definiciones conceptuales tales como:

### **Contaminación de suelos**

Se hace referencia a una degradación de tipo químico que genera la pérdida parcial o total de la productividad, como resultado de la acumulación de sustancias generalmente tóxicas, en concentraciones que superan su poder de atenuación natural y alteran negativamente sus propiedades (Bernal, 2014).

### **Especies vegetales remediadoras**

Según Durán (2010) son especies de plantas que han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con alto nivel de metales. Estas especies vegetales pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelos, sedimentos y agua, como solventes, plaguicidas,

hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radioactivos, fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para la planta (Peña y Beltrán, 2019).

### ***Paspalum bomplandianum***

Este tipo de flora silvestre corresponde a hierbas en macollas laxas, a veces rastreras las cuales llegan a medir hasta 15 cm de alto, presentan un color verde azulado y están densamente cubiertas de pelos blancos. Asimismo, las hojas son lanceoladas y tienen una vaina en la base, la lámina es estrecha y mide hasta 8 cm de largo. Por otro lado, las inflorescencias crecen sobre tallos rojizos, son racimos compuestos, laxos y contienen hasta 9 espiguillas; las flores son muy reducidas, de color verde amarillento (Dávila y Walter, 2017).

### ***Cortaderia rudiuscula* Stapf.**

Habita comúnmente en las regiones subhúmedas y semiáridas subtropicales. Es capaz de establecerse en una amplia variedad de tipos de suelo tales como duna, matorral, chaparral, pastizales y suelos de humedales. A menudo se encuentra en lugares abiertos y soleados, se presume que pueden ser sensibles a las heladas (Abanto y Carrera, 2018).

### ***Lupinus ballanus***

La especie *Lupinus ballanus* pertenece a la familia *Fabaceae* (leguminosa), es de porte semiarbuscivo originaria de los andes sudamericanos y se cultiva de 2000 a 3300 m.s.n.m. y principalmente en los valles y laderas interandinas de Ecuador, Colombia, Perú y Bolivia; también fructifica a nivel del mar y alrededor del lago Titicaca a 3800 m.s.n.m. (Agüero, 2018).

### ***Polylepis racemosa***

Este árbol alcanza los 12 m de altura. Posee ramas gruesas con corteza exfoliante en láminas papiraceas rojizas, esta es probablemente la especie de *Polylepis* de crecimiento más rápido. Sus flores son perfectas, con racimos de 100 cm a más de largo con pocas flores, su fruto es cónico, de 5 mm de largo y 4 mm de ancho, cada uno de los 4 ángulos termina en una esquina corta, son de color verduzco. *Polylepis racemosa* se encuentra entre los 3500 - 4300 m.s.n.m; estas especies crecen en zonas con temperatura promedio anual de 30°C a 12°C (León, 2009).

### ***Bidens triplinervia***

Es una hierba perenne, tendida sobre el suelo y con las puntas ascendentes, los tallos son de hasta 70 cm de largo, tiene varios tallos saliendo desde la base generalmente ramificados; sus hojas son opuestas, de hasta 7.5 cm de largo; el fruto es seco y no se abre, contiene una sola semilla, se le conoce como “aquenio”, es una especie muy variable en cuanto a la forma de las hojas y cantidad de pelillos (Hanan y Mondragón, 2009).

## **Fitorremediación**

Está definido como un conjunto de tecnologías por medio de las cuales se utilizan plantas con capacidad fisiológica y bioquímica para asimilar, metabolizar, detoxificar o inmovilizar metales pesados, de esta manera transformarlas a menos nocivas; también se conoce como la capacidad de ciertas plantas para remover, contener o transformar productos contaminantes del entorno; este método representa una tecnología alternativa sustentable y de bajo costo para la restauración de ambientes y efluentes contaminados o degradados (Bernal, 2014).

## **Tipos de fitorremediación**

### **Fitodegradación**

Según Ríos (2017) las plantas captan, almacenan y degradan compuestos orgánicos para dar subproductos menos tóxicos o no tóxicos. Es el proceso que implica la degradación, transformación parcial o completa de los contaminantes bajo la acción de reacciones enzimáticas realizadas por las plantas; de esta forma, los contaminantes degradados pueden ser incorporados en los tejidos y ser utilizados como nutrientes, o ser convertidos por procesos bioquímicos a productos menos dañinos (León, 2017).

### **Fitoestabilización**

Definido como el empleo de especies vegetales tolerantes a metales para inmovilizar metales pesados, mediante acumulación en las raíces o precipitación en la rizósfera. Las plantas fitoestabilizadoras han desarrollado mecanismos para evitar la traslocación de metales pesados a las partes aéreas, evitando así el riesgo de entrada de metales pesados en la cadena trófica. La fitoestabilización reduce la biodisponibilidad de los contaminantes, aumenta el contenido de materia orgánica en el suelo, mejora su estructura superficial, reduciendo la erosión eólica e hídrica, restaura la biodiversidad (vegetal y microbiana) del ecosistema y favorece el desarrollo de los procesos naturales del suelo (Sánchez, 2015).

### **Fitoextracción**

Según, López (2014) es el uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables. Consiste en la absorción y traslocación de los metales presentes en el suelo desde las raíces hasta las

partes aéreas de las plantas. Este proceso es llevado a cabo por determinadas especies conocidas como “hiperacumuladoras”, capaces de almacenar grandes cantidades de metales pesados en sus tejidos (Sánchez, 2015).

### **Fitoimmobilización**

Según, López (2014) es el uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención. La fitoimmobilización provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación (León, 2017).

### **Fitovolatilización**

Según, López (2014) es el uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.

Algunas plantas son capaces de volatilizar ciertos contaminantes, como Hg y Se, contenidos en suelos, sedimentos o agua. Tales contaminantes son absorbidos, metabolizados, transportados desde su raíz a sus partes superiores y liberados a la atmósfera en formas volátiles, menos tóxicas o relativamente menos peligrosas en comparación con sus formas oxidadas. La transformación de dichos elementos se efectúa básicamente en la raíz, y su liberación se lleva a cabo durante la transpiración (León, 2017).

### **Rizofiltración**

López (2014) afirma que es el uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. Se utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la

rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final (León, 2017).

### **Metal pesado**

Conjunto de elementos cuyo peso específico es mayor a  $5 \text{ Kg/m}^3$  y número atómico mayor a 20, con densidad relativamente amplia y muy nociva aún en pequeñas concentraciones. De los 70 elementos metálicos, 59 son considerados como metales pesados, incluyendo a los metaloides. Se encuentran de manera natural en la corteza terrestre en forma de minerales, sales y otros (Oc y Gonza, 2017).

### **Pasivos ambientales mineros**

Vienen a ser los daños no compensados producidos por una determinada empresa al ambiente a lo largo de su ciclo de vida (exploración, construcción, operación y cierre); los PAM generan daños que dejan secuelas en los factores ambientales, incluidos los seres humanos, cuyo pago del perjuicio ocasionado no ha sido asumido por quien lo ha generado y en muchas ocasiones los costos recaen en la sociedad. De modo que, frente a la existencia de pasivos ambientales es necesario recurrir no solo a una remediación o mitigación de los impactos ocasionados sino también a la exigencia del resarcimiento o indemnización de los daños provocados por parte de la empresa responsable de los proyectos ya ejecutados (Martínez, 2018).

### **Suelo**

El suelo es el medio o fuente nutritiva por excelencia de las plantas, por ello se infiere que la determinación de alguna característica del mismo o del nivel de los

bioelementos en él existentes, puede definir el posible déficit o exceso de los elementos en la planta sobre él cultivada (Bernal, 2014).

Los suelos que están expuestos a la contaminación por la actividad minera, por lo general sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM, el cual establece niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente. Los ECA para suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental y son aplicables para aquellos parámetros asociados a las actividades productivas, extractivas y de servicio (SINIA, 2017).

En vista que la contaminación es significativa por las actividades desarrolladas durante el proceso de explotación para la extracción de minerales, el suelo es uno de los recursos más afectados; ya que, queda incapacitado para un uso sustentable. La actividad minera contiene zonas de desmonte y relavera de material que genera drenajes ácidos y por ende altas concentraciones de metales pesados, por esto se estudia las especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros por presentar efectividad sin alterar el ecosistema y con costos reducidos; ya que, para esta tecnología no se utilizan productos químicos sino plantas que pueden ser naturales de la zona y con una alta capacidad de extraer, acumular y estabilizar los metales pesados existentes en el lugar de explotación. Además, no requiere de personal especializado para el manejo, emplea la energía solar, no produce contaminantes secundarios, tiene alta posibilidad para ser aceptada por las comunidades y sus alrededores, evita la excavación y el

tráfico pesado; donde se recomienda emplear plantas de tallo bajo para que no sea un proceso lento.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Identificar las especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Realizar un inventario de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.
- Identificar las especies vegetales que presentaron mayor concentración de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, magnesio, manganeso, plomo, y zinc.
- Identificar el tipo de fitorremediación de especies vegetales con concentraciones de metales pesados como aluminio, arsénico, cadmio, cobre, magnesio, manganeso, plomo, y zinc.
- Comparar la concentración de metales pesados en los suelos provenientes de pasivos ambientales mineros con los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

Las especies vegetales identificadas presentan concentraciones de metales pesados y tienen potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- Al realizar un inventario de especies vegetales se identificaron una variedad de estas con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.
- Las especies vegetales identificadas presentaron concentraciones elevadas de aluminio, arsénico, cadmio, cobre, magnesio, manganeso, plomo, y zinc.
- Las especies vegetales identificadas fueron fitoextractivas y fitoestabilizadoras.
- La concentración de metales pesados en los suelos provenientes de pasivos ambientales mineros sobrepasó los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo teórica, la cual se define como la actividad sistemática de elaborar, construir, reconstruir, explorar y analizar críticamente los cuerpos conceptuales (Barahona, 2013), y de nivel exploratoria, es como su nombre lo indica, examinar o explorar un tema o problema de investigación poco estudiado, nos permite conocer y ampliar los conocimientos sobre un fenómeno para precisar mejor el problema a investigar (Cazau, 2006).

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

#### Población

Todos los estudios donde se comparó muestras de suelos con metales pesados e identificó las especies vegetales con potencial para la remediación de pasivos ambientales mineros.

#### Muestra

Los 10 estudios donde se comparó muestras de suelos con metales pesados (As, Cd y Pb) con los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM e identificó especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.

Estudio 1: Bazán y Rojas (2018) con 2 especies vegetales (*Juncus articus* y *Urtica dioica*) y 1 muestra de suelo con metales pesados (As, Cd y Pb)

Estudio 2: Corpus (2018) con 3 especies vegetales (*Calamagrostis recta*, *Cortaderia jubata*, *Festuca glyceriantha*) y 1 muestra de suelo con metales pesados (Cd y Pb)

Estudio 3: Dávila y Walter (2017) con 5 especies vegetales (*Calamagrostis tarmensis*, *Carex pichinchensis*, *Juncus conglomeratus*, *Lachemilla orbiculata* y *Paspalum bomplandianum*) y 1 muestra de suelo con metales pesados (As, Cd y Pb)

Estudio 4: Durán (2010) con 4 especies vegetales (*Baccharis latifolia*, *Bidens triplinervia*, *Senecio sp* y *Sonchus oleraceus*) y 1 muestra de suelo con metales pesados (As y Pb)

Estudio 5: Jara-Peña et al. (2014) con 5 especies vegetales (*Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Lupinus ballianus*, *Solanum nitidum*, *Urtica urens* y) y 1 muestra de suelo con metales pesados (Cd y Pb)

Estudio 6: León (2017) con 3 especies vegetales (*Achyrocline alata*, *Juncus arcticus* Willd y *Werneria nubigena*) y 1 muestra de suelo con metales pesados (Cd y Pb)

Estudio 7: Medina y Montano (2014) con 2 especies vegetales (*Cortaderia rudiusscula* Stapf. y *Juncus articus* Willd.) y 1 muestra de suelo con metales pesados (As, Cd y Pb)

Estudio 8: Padilla et al. (2009) con 2 especies vegetales (*Cynodon dactylon* y *Juncus articus*).

Estudio 9: Paredes (2015) con 6 especies vegetales (*Acacia visco*, *Buddleja coriácea*, *Eucalyptus globulus*, *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Schinus molle*) 1 muestra de suelo con metales pesados (As, Cd y Pb)

Estudio 10: Ríos (2017) con 3 especies vegetales (*Fuertesimalva Echinata*, *Lolium perenne* y *Pelargonium hortorum*) y 1 muestra suelo con metales pesados (Cd y Pb)

## **Materiales**

- Laptop portátil
- Libros
- Cuaderno de apuntes

- Lápiz
- Lapicero
- USB
- Celular

### **Instrumentos**

- Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM.

### **Métodos**

#### **Estrategia de búsqueda**

Para esta investigación de identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros, se buscó sistemáticamente en 4 bibliotecas virtuales; Google Académico, Redalyc, ProQuest y SCielo; de acuerdo a las palabras clave como especies vegetales remediadoras, fitorremediación, metales pesados en plantas, suelos contaminados por metales pesados y pasivos ambientales mineros, considerando todos los estudios publicados a nivel mundial, en el idioma español; donde se realizó filtros de búsqueda con el propósito de obtener una base de datos desde el año 2000 hasta la actualidad, las listas de referencias de los artículos científicos incluidos fueron buscadas de forma manual y guardados en una base de datos propia.

#### **Criterio de elegibilidad**

Para la elección de los artículos científicos se tomó en cuenta los más relevantes y de mayor importancia para este tipo de estudio, haciendo un metaanálisis de forma minuciosa; se consideró desde el año 2000 hasta la actualidad, de acuerdo a las palabras clave. Las investigaciones científicas se estudiaron a detalle enfocándose en la relación entre las variables, especies vegetales con potencial para la remediación y

suelos contaminados provenientes de pasivos ambientales mineros, de esta manera determinar la inclusión y exclusión de las mismas.

### **Evaluación de elegibilidad y extracción de datos**

Se estudió de forma detallada los documentos en general, desde el título, resumen, introducción, metodología, resultados hasta la discusión y conclusiones para la elaboración de esta investigación. Obteniendo así los datos como el potencial fitorremediador de diversas especies vegetales, tipología de fitorremediación, contaminación de suelos y discrepando en aspectos como especies vegetales.

### **Síntesis de datos**

Los resultados de los artículos científicos incluidos fueron agrupados en una tabla en Excel en donde se tomaron datos como autor, año, ciudad, título, y resultados relevantes para la investigación, asociados con la influencia positiva de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

Las técnicas utilizadas para la recolección y análisis de datos han sido el análisis documental, porque se obtuvieron de fuentes; tales como, libros, artículos científicos, tesis, etc. y observación no experimental porque no se realizó una manipulación deliberada de las variables.

Los instrumentos de recolección que se utilizó fueron las fichas de registro de datos conforme al anexo 2 y el almacenamiento digital en una computadora portátil, los cuales nos sirvió para la recolección de información para poder resolver el problema de investigación.

Para el análisis de datos, en cada uno de los estudios se categorizó las especies vegetales que presentaron concentración de metales pesados como Al, As, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb, y Zn tanto en su raíz como en su tallo, conforme se observa en la tabla 1; también se utilizó los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM, los cuales nos permitieron observar el nivel de concentración de metales pesados presentes en el suelo proveniente de pasivos ambientales mineros y verificar si sobrepasa lo permitido.

## **2.4. Procedimiento**

### **Trabajo de gabinete**

En el desarrollo de esta investigación, se llevó a cabo el trabajo de gabinete, el cual consistió en la búsqueda de una serie de documentos experimentales que examinaban a fondo los temas de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros, en el cual se aplicaron filtros de búsqueda en bibliotecas virtuales como Google Académico, Redalyc, ProQuest y SCielo; en el idioma español desde al año 2000 hasta la actualidad, como se menciona de forma detallada en el apartado de métodos.

A partir de los estudios incluidos, se hizo un inventario de 35 especies vegetales (tabla 1), en donde se identificó las concentraciones de metales pesados como Al, As, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb, y Zn que presentaron cada una de ellas; luego se realizó figuras para ver la especie vegetal que presentó mayor concentración de metales pesados de cada investigación (figuras 1-10); asimismo, se hizo una figura en donde se observó que 7 fueron las especies vegetales que presentaron mayores concentraciones de los metales pesados antes mencionados (tabla 2 y figura 11); Además se identificó el tipo de fitorremediación de 15 especies vegetales (tabla 3);

finalmente, se realizó la comparación de la concentración de metales pesados como As, Cd y Pb de los suelos provenientes de pasivos ambientales mineros con los Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas Aprobado por el Decreto Supremo N°011-2017-MINAM (tablas 4-6 y figuras 12-14).

## **2.5. Aspectos Éticos**

La presente investigación está enfocada principalmente a la identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros, para su elaboración se utilizó información de bibliotecas virtuales como Google Académico, Redalyc, ProQuest y SCielo, donde se citó a diferentes autores. Dado el interés se sugiere la ampliación de la investigación de tipo experimental.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se realizó la comparación de resultados de diversas investigaciones nacionales y locales de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros, basándose principalmente en las concentraciones de los metales pesados que acumuló cada planta (tallos-raíces), como aluminio, arsénico, cadmio, cobre, magnesio, manganeso, plomo y zinc, considerando que las plantas fueron de tallo corto, tallo leñoso y tallo largo.

#### 3.1. Inventario de especies vegetales

Tabla 1

*Inventario de especies vegetales.*

Autor y año	Lugar	Especie Vegetal	Tipo	Metal	Concentración de la planta (mg/kg)	
					Tallo	Raíz
Bazán y Rojas (2018)	Trujillo	<i>Juncus articus</i>	Tallo	Arsénico	314.17	
			Corto	Cadmio	4.40	
				Plomo	104.72	
		<i>Urtica dioica</i>	Tallo	Arsénico	287.12	
			Corto	Cadmio	3.34	
				Plomo	96.33	
Corpus (2018)	Áncash	<i>Calamagrostis recta</i>	Tallo	Cadmio	9.52	60.20
			Corto	Cobre	9.90	118.50
				Plomo	38.13	300.68
				Zinc	60.60	151.60
		<i>Cortaderia jubata</i>	Tallo	Cadmio	4.97	17.95
			Corto	Cobre	11.50	34.10
				Plomo	76.45	389.90
				Zinc	117.20	132.10
		<i>Festuca glyceriantha</i>	Tallo	Cadmio	12.29	33.05
			Corto	Cobre	23.60	189.00
				Plomo	33.19	1 217.27
				Zinc	155.30	148.60
Dávila y Walter	Cajamarca	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Tallo	Aluminio	36.2	471.2
			Corto	Arsénico	6.8	52.7

Autor y año	Lugar	Especie Vegetal	Tipo	Metal	Concentración de la planta (mg/kg)	
					Tallo	Raíz
(2017)		<i>Carex pichinchensis</i>	Tallo	Cadmio	0.52	4.4
				Cobre	45.9	533.7
				Magnesio	406.9	125.4
			Corto	Manganeso	515.6	74.40
				Plomo	15.59	145.78
				Aluminio	45.9	2 737.5
			Tallo	Arsénico	2.9	188.5
				Cadmio	0.28	2.97
				Cobre	25.1	220.3
				Magnesio	536.1	439.6
				Manganeso	424.82	351.13
				Plomo	2.36	103.61
			corto	Aluminio	16.2	571.7
				Arsénico	2.5	164.2
				Cadmio	0.81	3.73
		Cobre		16.0	163.8	
		Magnesio		603.7	375.1	
		Manganeso		56.91	42.82	
		<i>Juncus conglomeratus</i>	Tallo	Plomo	1.94	72.53
				Aluminio	112.8	148.9
				Arsénico	13.3	27.5
			corto	Cadmio	1.29	3.8
				Cobre	24.7	56.1
				Magnesio	967.2	945.3
			<i>Lachemilla orbiculata</i>	Manganeso	293.09	245.74
				Plomo	11.83	34.57
				Tallo	Aluminio	305.6
		Arsénico			15.0	174.5
		Cadmio			0.7	3.58
		corto		Cobre	30.8	166.7
Magnesio	1 044.6		590.9			
Manganeso	284.01		206.29			
Plomo	10.07		88.73			
Arsénico	138.0		-			
Durán	Barcelona	<i>Baccharis</i>	Tallo	Arsénico	138.0	-

Autor y año	Lugar	Especie Vegetal	Tipo	Metal	Concentración de la planta (mg/kg)			
					Tallo	Raíz		
(2010)		<i>latifolia</i>	corto	Cobre	129.0	54.0		
				Plomo	1 554.0	720.0		
				Zinc	1 284.0	299.0		
		<i>Bidens triplinervia</i>	Tallo corto	Arsénico	155.0	316.0		
				Cobre	64.0	604.0		
				Plomo	655.0	5 187.0		
		<i>Senecio sp</i>	Tallo corto	Arsénico	50.0	-		
				Cobre	227.0	51.0		
				Plomo	4 253.0	451.0		
		<i>Sonchus oleraceus</i>	Tallo corto	Arsénico	106.0	-		
				Cobre	54.0	54.0		
				Plomo	616.0	332.0		
		Jara- Peña et al. (2014)	Lima	<i>Brassica rapa</i>	Tallo corto	Cadmio	-	4.9
						Plomo	-	758.8
						Zinc	-	550
<i>Fuertesimalva echinata</i>	Tallo corto			Cadmio	-	11		
				Plomo	-	2 015.1		
				Zinc	-	1 024.2		
<i>Lupinus ballanus</i>	Tallo corto			Cadmio	-	287.3		
				Plomo	-	992.8		
<i>Solanum nitidum</i>	Tallo leñoso			Cadmio	-	8.7		
				Plomo	-	576		
				Zinc	-	431.4		
<i>Urtica urens</i>	Tallo corto			Cadmio	-	8.9		
				Plomo	-	854.5		
				Zinc	-	452.8		
León (2017)	Áncash			<i>Achyrocline alata</i>	Tallo corto	Cadmio	32.24	36.28
		Cobre	131.30			266.80		
		Plomo	775.77			4 808.08		
		<i>Juncus arcticus Willd</i>	Tallo corto	Zinc	397.30	263.80		
				Cadmio	24.68	17.02		
				Cobre	23.97	26.90		
Plomo	81.34	33.07						

Autor y año	Lugar	Especie Vegetal	Tipo	Metal	Concentración de la planta (mg/kg)			
					Tallo	Raíz		
Medina y Montano (2014)	Áncash	<i>Werneria nubigena</i>	Tallo corto	Zinc	145.11	720.50		
				Cadmio	140.17	29.53		
				Cobre	427.70	41.00		
				Plomo	0	1 159.98		
		<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf.	Tallo largo	Zinc	990.30	209.80		
				Aluminio	604.0	695.0		
				Arsénico	2 858.0	2 380.0		
				Cadmio	5.0	5.0		
				Cobre	84.0	155.0		
				Manganeso	408.0	371.0		
				Plomo	592.0	340.0		
				Zinc	897.0	980.0		
				<i>Juncus arcticus</i> Willd.	Tallo largo	Aluminio	1 298.0	1 726.0
						Arsénico	1 826.0	5 660.0
Padilla et al. (2009)	Áncash	<i>Cynodon dactylon</i>	Tallo corto	Cadmio	12.0	10.0		
				Cobre	133.0	257.0		
				Manganeso	1 032.0	711.0		
		<i>Juncus arcticus</i>	Tallo corto	Plomo	278.0	720.0		
				Zinc	3 184.0	3 050.0		
				Arsénico	8.11			
		Paredes (2015)	Arequipa	<i>Acacia visco</i>	Tallo leñoso	Cadmio	15.84	
						Plomo	1 117.32	
						Arsénico	6.41	
				<i>Buddleja coriacea</i>	Tallo leñoso	Cadmio	9.48	
Plomo	305.83							
Arsénico	642.98							
Cadmio	1.62							
<i>Eucalyptus</i>	Tallo	Cobre	4 572.62					
		Plomo	1 891.52					
		Arsénico	424.10					
				Cadmio	4.82			
				Cobre	4 605.93			
				Plomo	1 950.19			
				Arsénico	1 073.03			

Autor y año	Lugar	Especie Vegetal	Tipo	Metal	Concentración de la planta (mg/kg)	
					Tallo	Raíz
		<i>globulus</i>	leñoso	Cadmio	6.62	
				Cobre	4 707.5	
				Plomo	1 966.03	
		<i>Myoporum laetum</i>	Tallo leñoso	Arsénico	868.03	
				Cadmio	3.42	
				Cobre	4 594.46	
				Plomo	1 871.57	
		<i>Polylepis racemosa</i>	Tallo leñoso	Arsénico	1 202.29	
				Cadmio	5.51	
				Cobre	4 925.37	
				Plomo	2 088.65	
		<i>Schinus molle</i>	Tallo leños	Arsénico	838.96	
				Cobre	3 702.22	
				Plomo	833.11	
Ríos (2017)	Lima	<i>Fuertesimalva Echinata</i>	Tallo corto	Plomo	-	302.42
		<i>Lolium perenne</i>	Tallo corto	Plomo	39.02	574.26
		<i>Pelargonium Hortorum</i>	Tallo corto	Plomo	472.0	125.0

### 3.2. Concentración de metales pesados en especies vegetales de diez investigaciones

Se realizó diez figuras en las cuales se detalló los metales pesados con mayor concentración que presentaron cada una de las especies vegetales estudiadas, para verificar cuales fueron las plantas que presentaron mayor potencial; como se muestra a continuación.

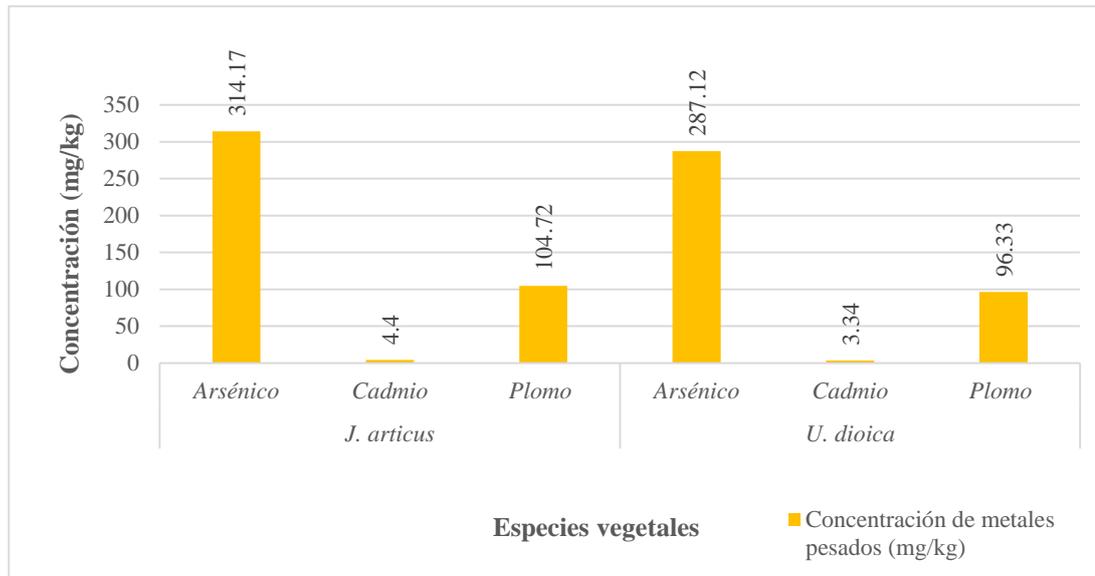


Figura 1. Metales pesados en la investigación de Bazán y Rojas (2018).

En la investigación de Bazán y Rojas (2018) la especie vegetal *J. articus* presentó mayores concentraciones en As, Cd y Pb con 314.17 mg/kg, 4.4 mg/kg y 104.72 mg/kg respectivamente, en comparación con *U. dioica*.

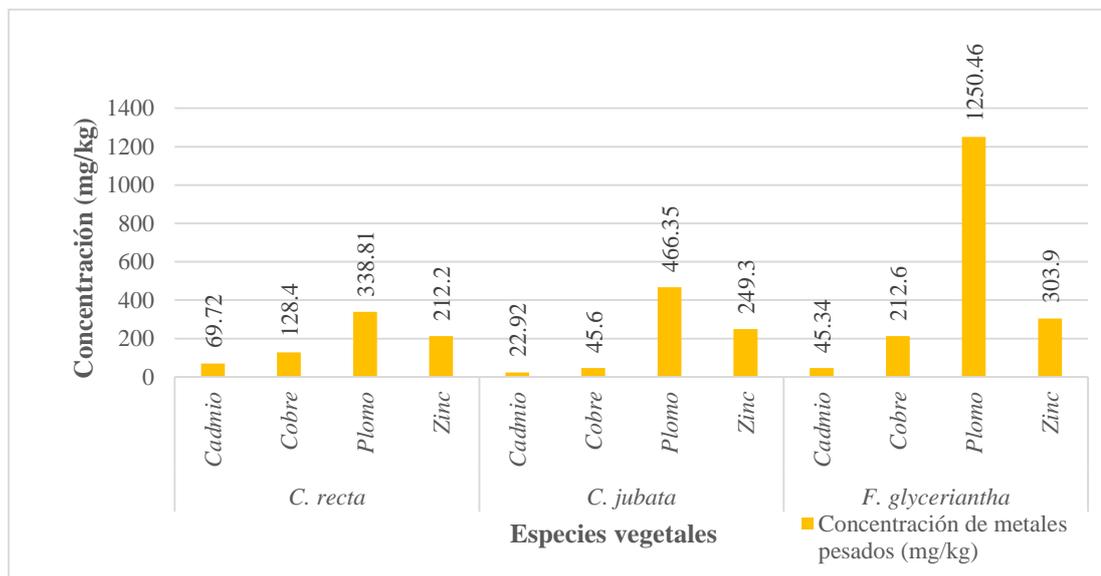


Figura 2. Metales pesados en la investigación de Corpus (2018).

En la investigación de Corpus (2018) la especie vegetal *F. glyceriantha* presentó mayor concentración de Cu con 212.6 mg/kg, Pb con 1 250.46 mg/kg y Zn con 303.9 mg/kg y *C. recta* presentó mayor concentración de Cd con 69.72 mg/kg a diferencia de *C. jubata* que presentó menores concentraciones.

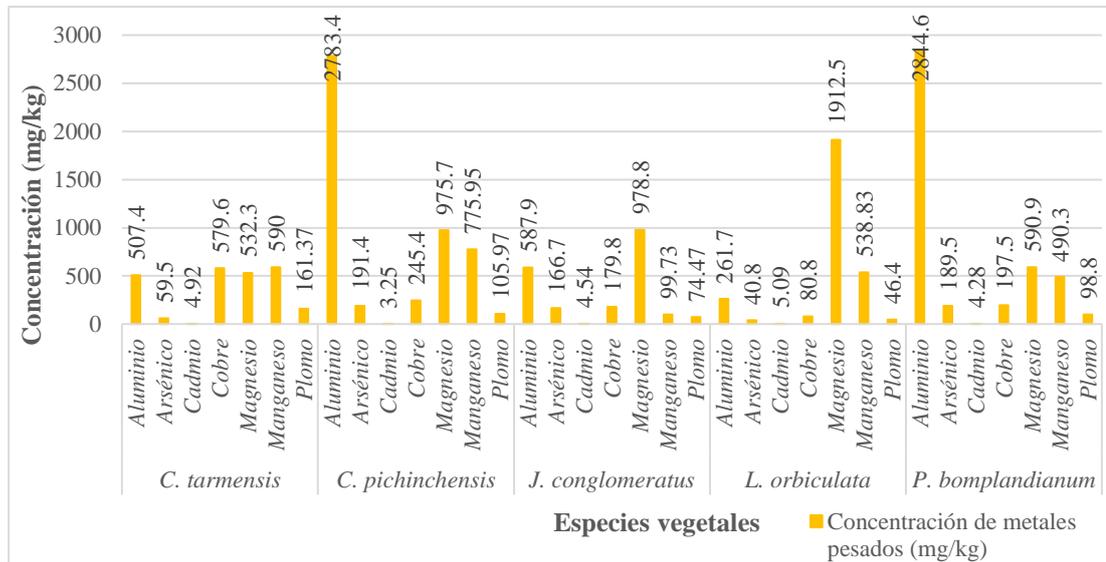


Figura 3. Metales pesados en la investigación de Dávila y Walter (2017).

En la investigación de Dávila y Walter (2017) *C. tarmensis* presentó mayor concentración de Cu con 579.6 mg/kg, *C. pichinchensis* y *P. bomplandianum* presentaron mayor concentración de Al con 2 783.4 mg/kg y 2 844.6 mg/kg respectivamente y *J. conglomeratus* con *L. orbiculata* presentaron mayor concentración de Mg con 978.8 mg/kg y 1 912.5 mg/kg respectivamente.

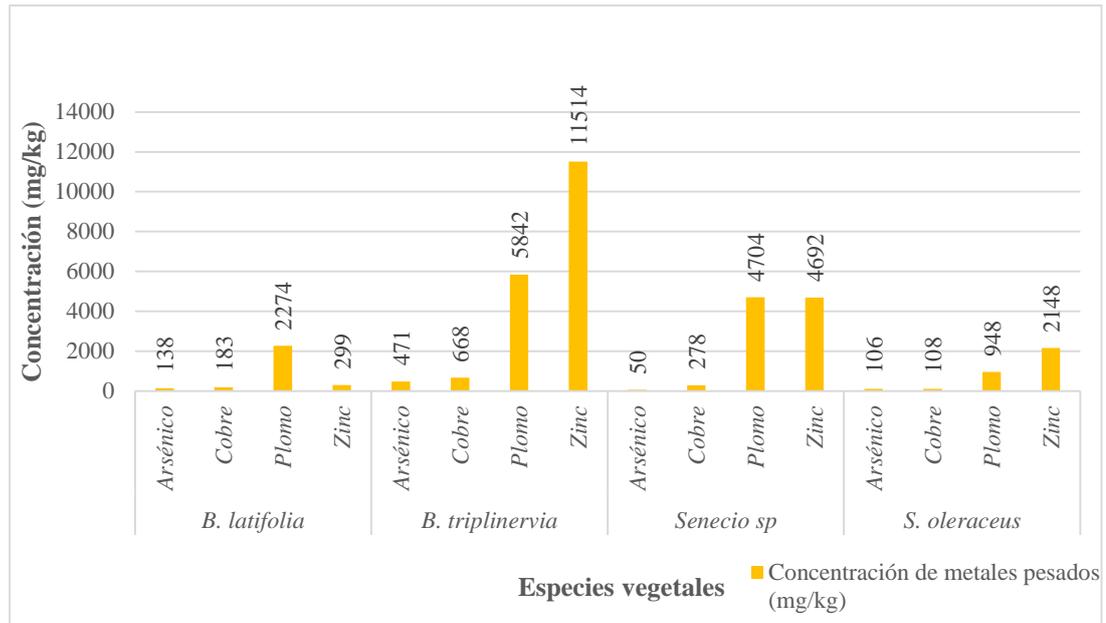


Figura 4. Metales pesados en la investigación de Durán (2010).

En la investigación de Durán (2010) la especie vegetal *B. triplinervia* presenta mayor concentración de As, Cu, Pb y Zn con 471 mg/kg, 668 mg/kg, 5 842 mg/kg y 11 514 mg/kg respectivamente en comparación con *Senecio sp*, *S. oleraceus* y *B. latifolia*.

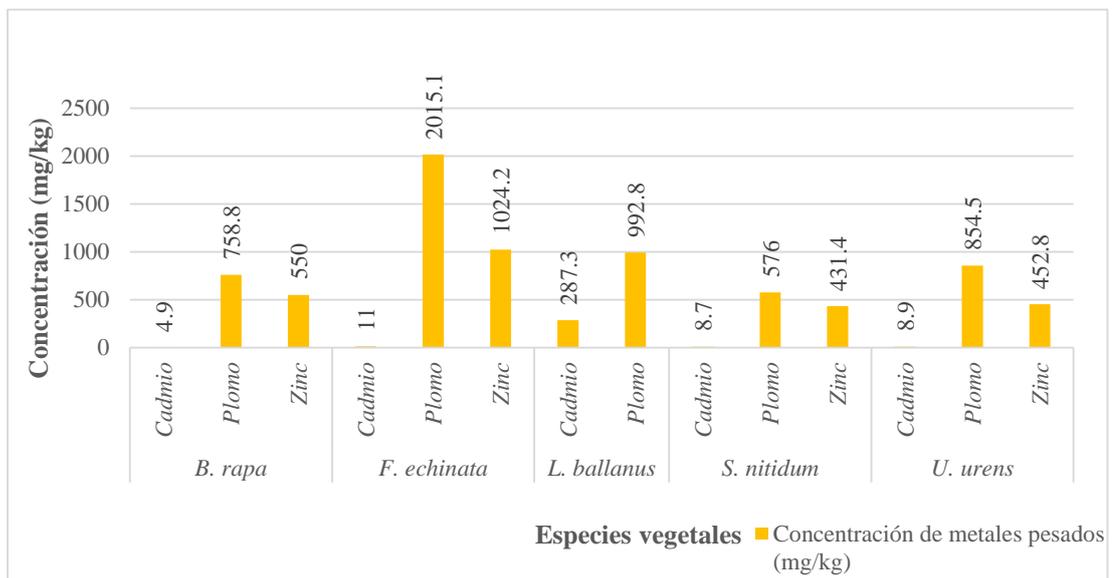


Figura 5. Metales pesados en la investigación de Jara-Peña et al. (2014).

En la investigación de Jara-Peña et al. (2014) la especie vegetal de *F. echinata* presentó mayor concentración de Pb con 2 015.1 mg/kg y Zn con 1 024.2 mg/kg, siendo superior a *B. rapa*, *L. ballanus*, *S. nitidum* y *U. urens*. La especie vegetal *L. ballanus* presentó mayor concentración de Cd con 287.3 mg/kg.

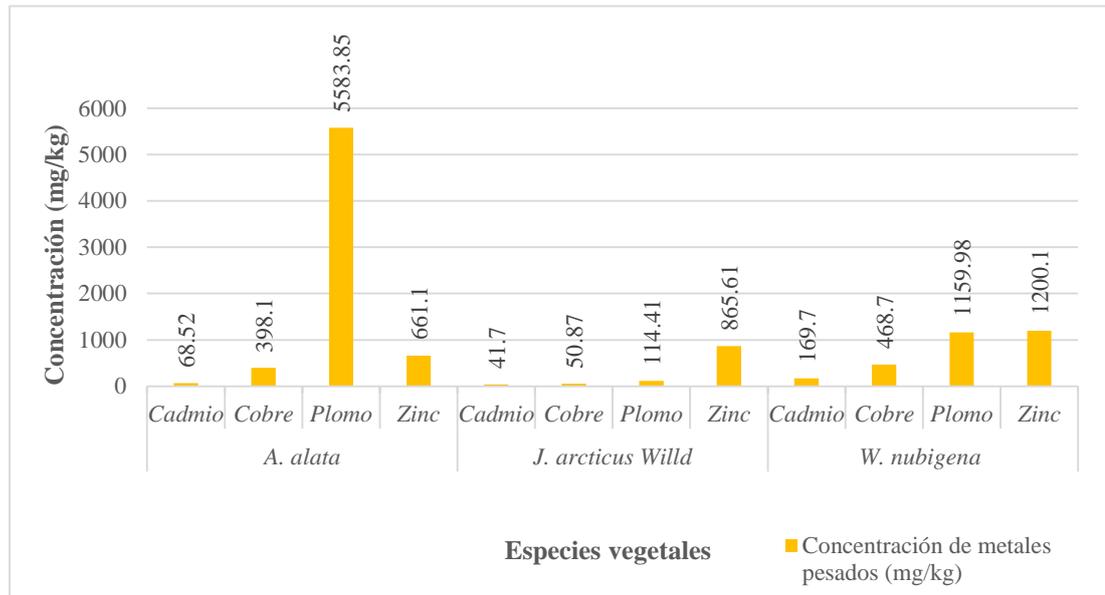


Figura 6. Concentración de metales pesados en la investigación de León (2017).

En la investigación de León (2017) la especie vegetal *A. alata* tiene una mayor concentración de Pb con 5 583.85 mg/kg y *W. nubigena* presentó mayor concentración en Cd, Cu y Zn con 169.7 mg/kg, 468.7 mg/kg y 1 200.1 mg/kg respectivamente. La especie vegetal *J. arcticus* Willd presentó menores concentraciones.

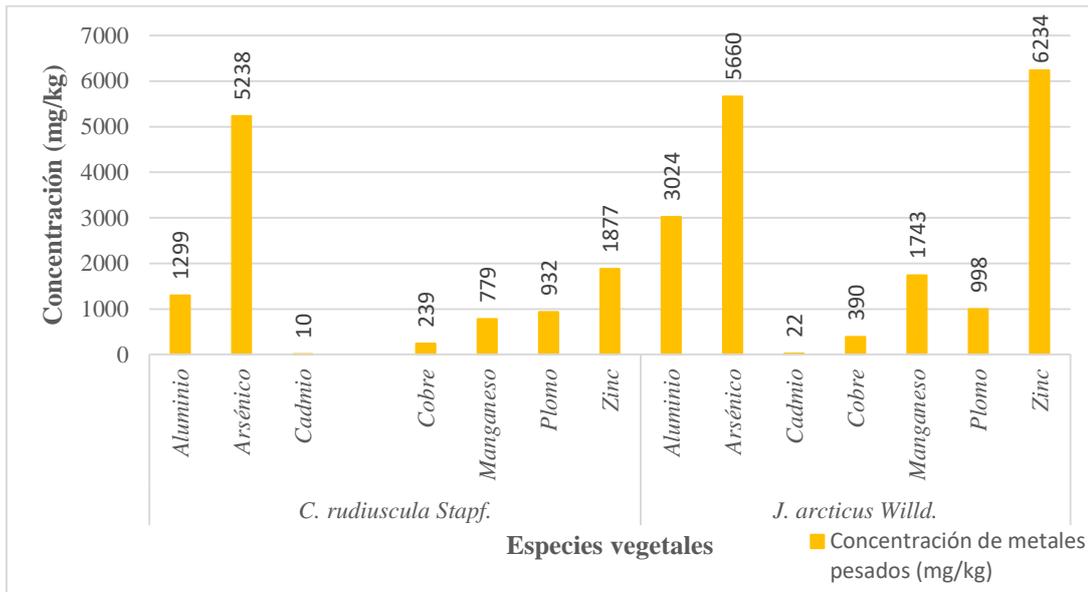


Figura 7. Metales pesados en la investigación de Medina y Montano (2014).

En la investigación de Medina y Montano (2014) la especie vegetal *J. arcticus* Willd. presentó mayor concentración de Al, As, Cd, Cu, Mg, Pb y Zn con 3 024 mg/kg, 5 660 mg/kg, 22 mg/kg, 390 mg/kg, 1 743 mg/kg, 998 mg/kg y 6 234 mg/kg respectivamente en comparación con *C. rudiusscula* Stapf.

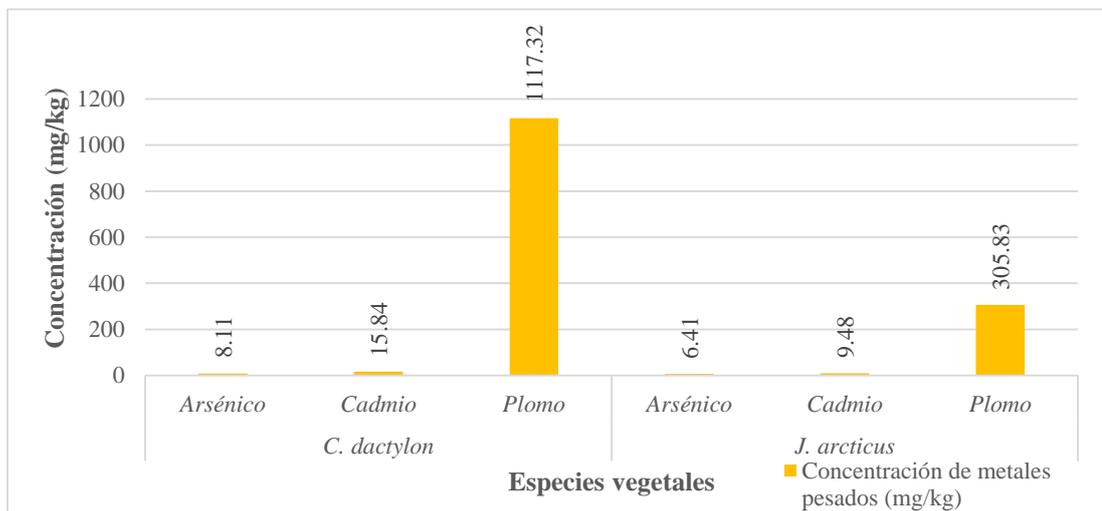


Figura 8. Metales pesados en la investigación de Padilla et al. (2009).

En la investigación de Padilla et al. (2009) la especie vegetal *C. dactylon* presentó mayor concentración de As, Cd y Pb con 8.11 mg/kg, 15.84 mg/kg y 1 117.32 mg/kg respectivamente en comparación con *J. arcticus*.

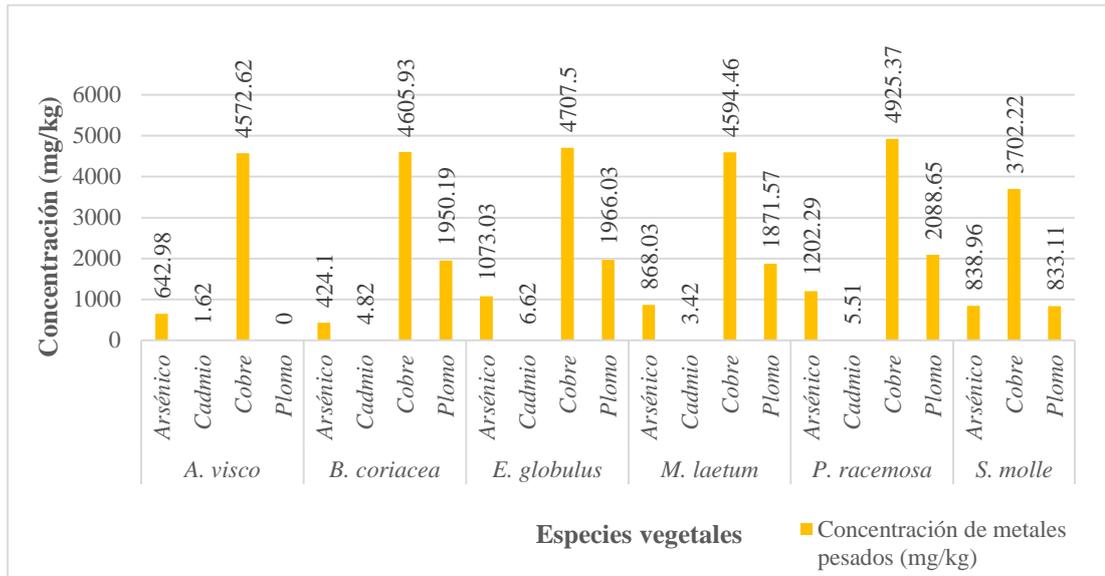


Figura 9. Metales pesados en la investigación de Paredes (2015).

En la investigación de Paredes (2015) las especies vegetales de *A. visco*, *B. coriacea*, *E. globulus*, *M. laetum*, *P. racemosa* y *S. molle* presentaron mayor concentración de Cu, resaltando *P. racemosa* con 4 925.37 mg/kg; asimismo presento concentraciones mayores de As con 1 202.29 mg/kg, y Pb con 2 088.65 mg/kg. *E. globulus* fue la especie vegetal con mayor concentración de Cd con 6.62 mg/kg.

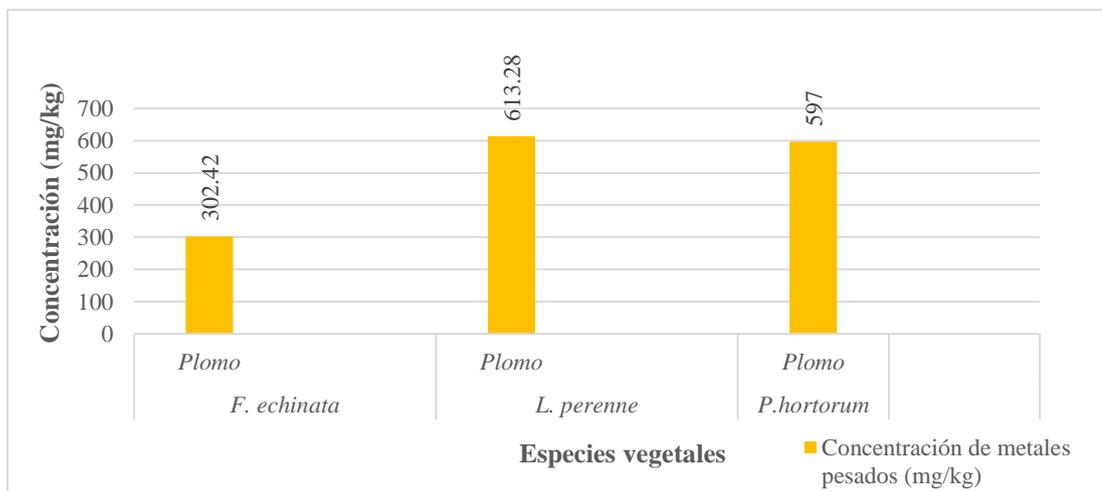


Figura 10. Metales pesados en la investigación de Ríos (2017).

En la investigación de Ríos (2017) la especie vegetal *L. perenne* fue la que presentó mayor concentración de Pb con 613.28 mg/kg, seguido de *P. Hortorum* con 597 mg/kg y *F. echinata* con 302.42 mg/kg.

### 3.3. Especies vegetales que presentaron mayor concentración de metales pesados

Sé realizó una tabla y una figura con las especies vegetales que presentaron mayor concentración de Al, As, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn con la finalidad de verificar cuales son las que presentaron mayor concentración.

Tabla 2

*Especies vegetales que presentaron mayor concentración de metales pesados.*

Autor y año	Especie vegetal	Metal	Concentración mg/kg
<b>Dávila Walter (2017)</b>	<i>Paspalum bomplandianum</i>	Aluminio	2 844.6
	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Magnesio	1 912.5
<b>Durán (2010)</b>	<i>Bidens triplinervia</i>	Plomo	5 842.0
		Zinc	11 514.0
<b>Jara-Peña et al. (2014)</b>	<i>Lupinus ballanus</i>	Cadmio	287.3
<b>Medina y Montano (2014)</b>	<i>Cortaderia rudiuscula</i> Stapf.	Arsénico	2 858.0
	<i>Juncus arcticus</i> Willd.	Manganeso	1 743.0
<b>Paredes (2015)</b>	<i>Polylepis racemosa</i>	Cobre	4 925.37

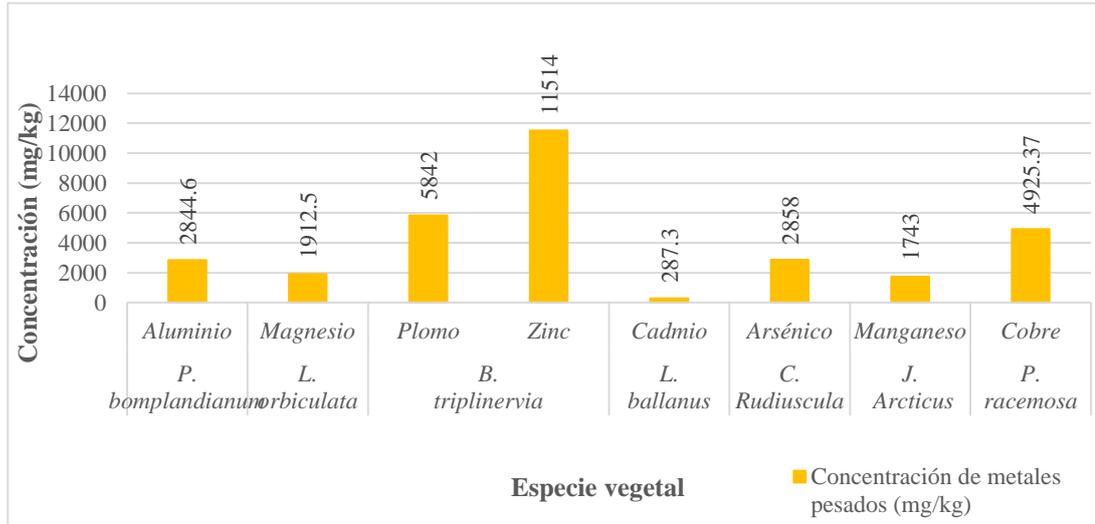


Figura 11. Especies vegetales con mayor concentración de metales pesados.

Se verificó que *P. bomplandianum* presentó mayor concentración de Al con 2 844.6 mg/kg, *L. orbiculata* mayor concentración en Mg con 1 912.5 mg/kg, *B. triplinervia* presentó mayor concentración de Pb y Zn con 5 842 mg/kg, 11 514 mg/kg respectivamente, *L. ballanus* mayor concentración de Cd con 287.3 mg/kg, *C. rudiusscula* Stapf. mayor concentración de As con 2858 mg/kg, *J. arcticus* Willd. mayor concentración en Mn con 1 743 mg/kg y *P. racemosa* mayor concentración de Cu con 4 925.37 mg/kg, estas especies vegetales son óptimas para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.

### 3.4. Tipo de fitorremediación de especies vegetales

Tabla 3

*Tipo de fitorremediación de especies vegetales*

Autor y año	Especie vegetal	Tipo de fitorremediación/Metal
Corpus (2018)	<i>Calamagrostis recta</i>	Fitoextractiva para Cd
	<i>Festuca glyceriantha</i>	Fitoextractiva para Cd y Zn
Dávila y Walter (2017)	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Fitoextractiva para Mg y Mn
	<i>Paspalum bomplandianum</i>	Fitoextractiva para Mg y Mn.
	<i>Carex pichinchensis</i>	Fitoextractiva para Mg y Mn.
	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Fitoextractiva para Mg y Mn.
Durán (2010)	<i>Bidens triplinervia</i>	Fitoestabilizadora para As, Cu, Pb y Zn.
Jara-Peña et al. (2014)	<i>Solanum nitidum</i>	Fitoestabilizadora para Pb, Zn y Cd.
	<i>Fuertesimalva echinata</i>	Fitoestabilizadora para Pb y Cd.
	<i>Lupinus ballianus</i>	Fitoextractiva para Cd.
León (2017)	<i>Achyrocline alata</i>	Fitoextractiva para Cd y Zn. Fitoestabilizadora para Cu y Pb.
	<i>Werneria nubigena</i>	Fitoextractiva para Cd, Cu y Zn. Fitoestabilizadora para Pb.
	<i>Juncus arcticus Willd</i>	Fitoextractiva para Cd y Pb. Fitoestabilizadora para Cu y Zn.
Medina y	<i>Juncus arcticus Willd.</i>	Fitoextractiva para Cd, Mn y Zn

Autor y año	Especie vegetal	Tipo de fitorremediación/Metal
Montano (2014)	<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf.	Fitoestabilizadora para Al, As y Cu Fitoextractiva para Mn y Zn. Fitoestabilizadora para Cu.

De seis investigaciones se identificaron 14 especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros, las cuales *Calamagrostis recta*, *Festuca glyceriantha*, *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bomplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Lupinus ballianus* fueron fitoextractivas ya que los metales presentes en el suelo fueron trasladados desde las raíces hasta la parte aérea de las plantas; *Bidens triplinervia*, *Solanum nitidum* y *Fuertesimalva echinata* fueron fitoestabilizadoras ya que son tolerantes a metales pesados mediante acumulación en sus raíces y *Achyrocline alata*, *Werneria nubigena*, *Juncus arcticus Willd* y *Cortaderia rudiusscula* Stapf. fueron fitoextractivas y fitoestabilizadoras. Para los metales como Al, As, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn.

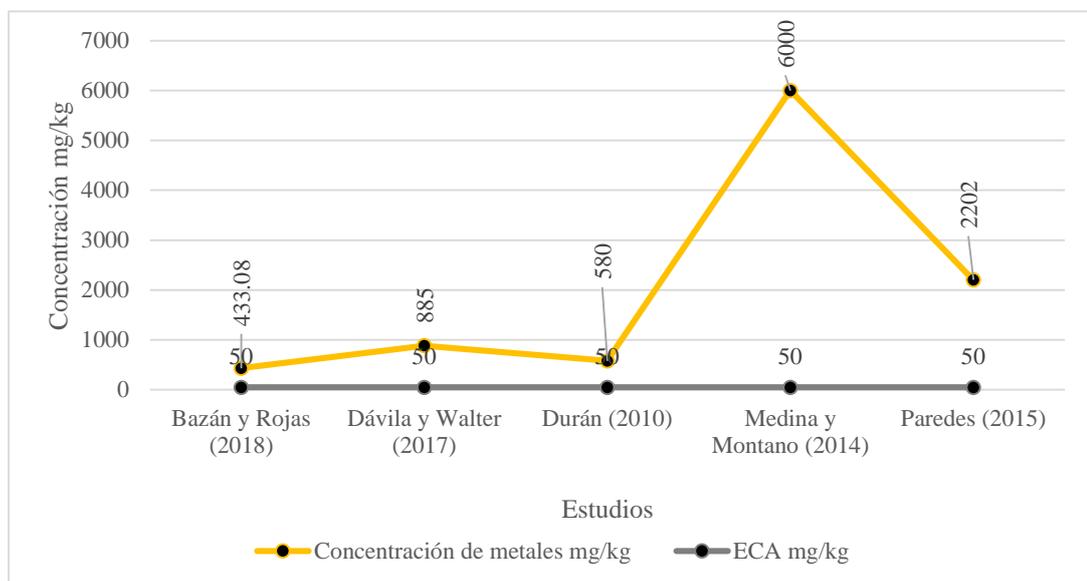
### 3.5. Comparación de suelos provenientes de PAM con los ECA

Se realizó la comparación de resultados de diferentes investigaciones de pasivos ambientales mineros para ver la concentración de metales pesados presentes en los suelos y verificar si sobrepasa lo permitido por los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM, como se muestra a continuación.

Tabla 4

*Comparación de las concentraciones de As en suelos con los ECA.*

Autor y año	Concentración de Arsénico (As) en suelos	ECA
Bazán y Rojas (2018)	433.08 mg/kg	50 mg/kg
Dávila y Walter (2017)	885 mg/kg	50 mg/kg
Durán (2010)	580 mg/kg	50 mg/kg
Medina y Montano (2014)	>6 000 mg/kg	50 mg/kg
Paredes (2015)	2 202.0 mg/kg	50 mg/kg



*Figura 12. Comparación de las concentraciones de As en suelos con los ECA.*

El As sobrepasó en las 5 investigaciones comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM, siendo el valor de Medina y Montano (2014), investigación de Áncash, el más alto con 6 000 mg/kg; por otro lado, en los suelos evaluados por Bazán y Rojas (2018) en Trujillo,

tiene menos concentración con 433.08 mg/kg; 50 mg/kg es el valor máximo admitido.

Tabla 5

*Comparación de las concentraciones de Cd en suelos con los ECA.*

<b>Autor y año</b>	<b>Concentración de Cadmio (Cd) en suelos</b>	<b>ECA</b>
Bazán y Rojas (2018)	11.42 mg/kg	1,4 mg/kg
Corpus (2018)	26.98 mg/kg	
Dávila y Walter (2017)	14.29 mg/kg	
Jara-Peña et al. (2014)	48.1 mg/kg	
León (2017)	6.55 mg/kg	
Medina y Montano (2014)	8.5 mg/kg	
Paredes (2015)	36.52 mg/kg	
Ríos (2017)	2.21 mg/kg	

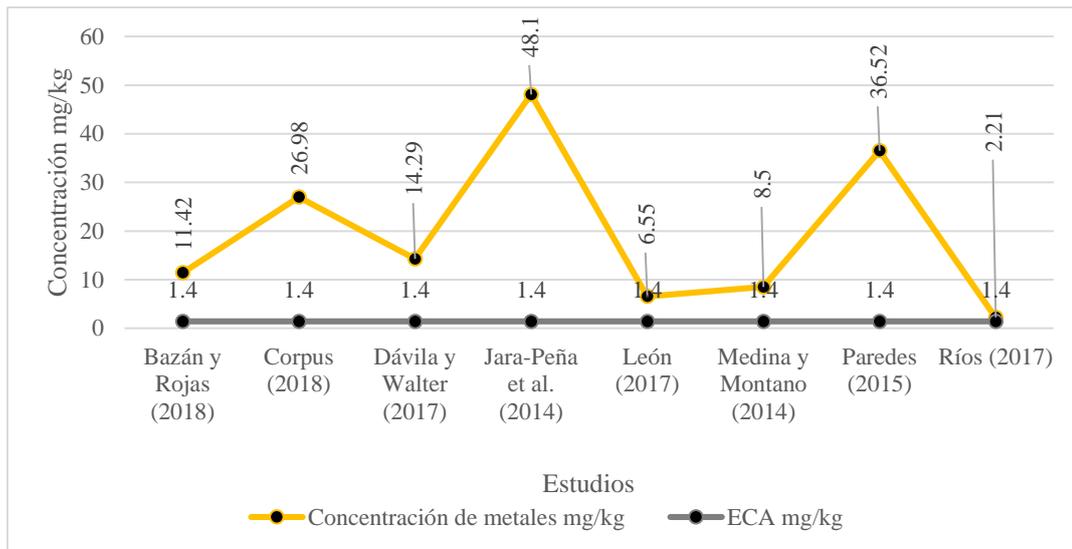


Figura 13. Comparación de las concentraciones de Cd en suelos con los ECA.

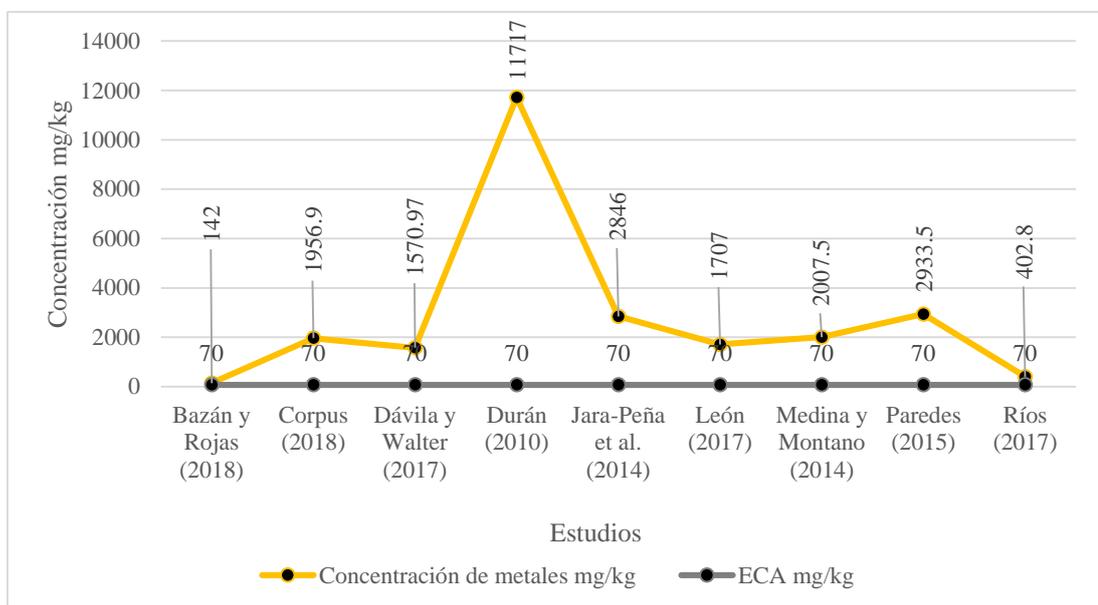
El Cd sobrepasó en las 8 investigaciones comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM, siendo el valor de Jara- Peña et al. (2014) investigación de Lima, el más alto con 48.1 mg/kg; por otro lado, en los suelos evaluados por Ríos (2017) también en Lima, tiene menos concentración con 2.21 mg/kg; 1.4 mg/kg es el valor máximo admitido.

Tabla 6

Comparación de las concentraciones de Pb en suelos con los ECA.

Autor y año	Concentración de Plomo (Pb) en suelos	ECA
Bazán y Rojas (2018)	142 mg/kg	70 mg/kg
Corpus (2018)	1 956.90 mg/kg	
Dávila y Walter (2017)	1 570.97 mg/kg	
Durán (2010)	11 717 mg/kg	
Jara-Peña et al. (2014)	2 846.0 mg/kg	

Autor y año	Concentración de Plomo (Pb) en ECA suelos
León (2017)	1 707.00 mg/kg
Medina y Montano (2014)	2 007.5 mg/kg
Paredes (2015)	2 933.5 mg/kg
Ríos (2017)	402.8 mg/kg



*Figura 14.* Comparación de las concentraciones de Pb en suelos con los ECA.

El Pb sobrepasó en las 9 investigaciones comparado con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM, siendo el valor de Durán (2010) investigación de Barcelona, el más alto con 11 717 mg/kg, por otro lado, en los suelos evaluados por Bazán y Rojas (2018) en Trujillo, tiene menos concentración con 142 mg/kg; 70 mg/kg es el valor máximo admitido.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En esta investigación se observó que hay una variedad de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros; ya que, acumulan grandes cantidades de metales pesados tanto en sus raíces como en la parte aérea de la planta.

En estudios nacionales y locales realizados, se identificó la existencia de distintas plantas con características fitorremediadoras, en la investigación de Jara-Peña et al. (2014) experimentó con cinco especies vegetales como *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Lupinus ballianus*, *Solanum nitidum* y *Urtica urens*, las cuales presentaron concentraciones elevadas de metales pesados, resaltando *Fuertesimalva echinata*; en la investigación de Paredes (2015), estudió seis plantas tales como *Acacia visco*, *Buddleja coriácea*, *Eucalyptus globulus*, *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Schinus molle*, de las cuales todas presentaron grandes concentraciones de metales pesados, resaltando *Polylepis racemosa*; en la investigación de Medina y Montano (2014), estudió dos especies vegetales tales como *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf. donde ambos presentaron una elevada concentración de metales pesados, pero *Cortaderia rudiusscula* Stapf. presentó mayor concentración de As. En esta investigación se verificó la concentración de más especies vegetales las cuales en su mayoría son apropiadas para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros.

De todas las especies vegetales identificadas, 7 fueron las que presentaron mayor concentración de metales pesados, tales como *Paspalum bomplandianum* presentó una mayor concentración de Al con 2 844.6 mg/kg, *Lachemilla orbiculata*

presentó mayor concentración de Mg con 1 912.5 mg/kg, *Bidens triplinervia* presentó mayor concentración de Pb y Zn con 5 842 mg/kg y 11 514 mg/kg respectivamente, *Lupinus ballanus* tuvo mayor concentración de Cd con 287.3 mg/kg, *Cortaderia rudiusscula* Stapf. presentó mayor concentración de As con 2 858 mg/kg, *Juncus arcticus* Willd. obtuvo mayor concentración de Mn con 1 743 mg/kg y *Polylepis racemosa* obtuvo más concentración de Cu con 4 925.37 mg/kg.

Las especies vegetales tales como *Calamagrostis recta*, *Festuca glyceriantha*, *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bomplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Lupinus ballianus* fueron fitoextractivas ya que los metales presentes en el suelo fueron trasladados desde las raíces hasta la parte aérea de las plantas; *Bidens triplinervia*, *Solanum nitidum* y *Fuertesimalva echinata* fueron fitoestabilizadoras ya que son tolerantes a metales pesados mediante acumulación en sus raíces y *Achyrocline alata*, *Werneria nubigena*, *Juncus arcticus* Willd y *Cortaderia rudiusscula* Stapf. fueron fitoextractivas y fitoestabilizadoras. Para los metales como Al, As, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn.

En la comparación de las concentraciones de metales pesados presentes en el suelo proveniente de pasivos ambientales mineros con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM se identificó que la investigación de Medina y Montano (2014), presentó mayor concentración de As con 6 000 mg/kg, siendo 50 mg/kg el valor permitido por los ECA; la investigación de Jara-Peña et al. (2014) presentó la mayor concentración de Cd con 48,1 mg/kg, siendo 1,4 mg/kg el valor máximo permitido por los ECA y la investigación de Durán (2010) presentó la mayor concentración de Pb con 11 717 mg/kg, siendo 70 mg/kg el valor máximo permitido por los ECA.

Esta investigación es relevante; ya que, identificamos cuales son las especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros; ya que, nuestra región está expuesta a esta problemática por la industria minera presente en los últimos años.

### **Limitaciones**

Para el desarrollo de esta investigación, las limitaciones que se presentaron fueron que no se encontró estudios a nivel nacional y local de las mismas especies vegetales identificadas. Otra de las limitaciones es que los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM, contienen el valor máximo admitido para los metales como As, Cd y Pb mas no para Al, Cu, Mg, Mn y Zn.

### **4.2. Conclusiones**

Se concluye que hay una variedad de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros; ya que, acumulan grandes cantidades de metales pesados tanto en sus raíces como en la parte aérea de la planta.

En estudios nacionales y locales realizados, se identificó la existencia de distintas plantas con características fitorremediadoras, algunas de ellas son *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, *Buddleja coriácea*, *Eucalyptus globulus*, *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Schinus molle* *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

Siete fueron las especies vegetales que presentaron mayor potencial para la remediación de suelos provenientes de pasivos ambientales mineros, tales como *Paspalum bomplandianum*, *Lachemilla orbiculata*, *Bidens triplinervia*, *Lupinus*

*ballanus*, *Cortaderia rudiusscula* Stapf., *Juncus arcticus* Willd. y *Polylepis racemosa*; ya que, presentaron mayor concentración de Al, As, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn.

El tipo de fitorremediación que se identificó para catorce especies vegetales, 7 especies fueron fitoextractivas, 3 fueron fitoestabilizadoras y 4 fueron fitoextractivas y fitoestabilizadoras para los metales como Al, As, Cd, Cu, Mg, Mn, Pb y Zn.

En la comparación de las concentraciones de metales pesados presentes en el suelo provenientes de pasivos ambientales mineros con los Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM se identificó que As, Cd y Pb en todas las investigaciones sobrepasaron lo permitido por la mencionada normativa peruana.

Al identificar las especies vegetales se llegó a la conclusión que muchas de ellas están presentes en la región, las cuales se pueden utilizar sin ninguna dificultad ya que no presentarán problemas de adaptación.

## REFERENCIAS

- Abanto, S. & Carrera, N. (2018). *Niveles de acumulación de plomo en las raíces y tallo de Cortaderia rudiusscula Stapf “coradera”, en condiciones de laboratorio.* (Tesis pregrado), Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad-Perú.
- Agüero, S. (2018). *Sistemas de producción de Lupinus mutabilis Sweet “chocho” en terrazas y laderas con fertilización fosfatada en Cajamarca.* (Tesis magistral), Universidad Agraria La Molina, Lima-Perú.
- Arango, M. & Olaya, Y. (2012). Problemática de los pasivos ambientales mineros en Colombia. En revista *Gestión y Ambiente*, 15(3) pp. 125-133. Recuperado de [www.redalyc.org/service/redalyc/downloadPdf/1694/169424893009/1](http://www.redalyc.org/service/redalyc/downloadPdf/1694/169424893009/1)
- Barahona, M. (2013). *El papel de la investigación teórica en la construcción del conocimiento: Una reflexión desde la Universidad Estatal a Distancia (UNED).* En revista *Rupturas*, 3(1) pp. 2-16. Recuperado de <file:///C:/Users/YENI%20HORNA%20D%C3%8DAZ/Downloads/Dialnet-ElPapelDeLaInvestigacionTeoricaEnLaConstruccionDel-4888225.pdf>
- Bazán, G. & Rojas, S. (2018). *Remoción de metales pesados con Juncus articus y Urtica dioica en un relave minero, distrito Huamachuco-La Libertad.* (Tesis Pregrado). Universidad Cesar Vallejo, La Libertad, Perú.
- Becerril, J., Barrutia, O., García, J., Hernández, A., Olano, J. & Garbisu, C. (2017). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. En revista *Ecosistemas*, 16 (2) pp 1-7. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54016206>
- Bernal, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. En revista de *Investigación Agraria y Ambiental*, 5 (2) pp. 245-258. Recuperado de

[https://search.proquest.com/docview/1802725918/14FFF75D6B74461BPQ/1?acco  
untid=36937](https://search.proquest.com/docview/1802725918/14FFF75D6B74461BPQ/1?acco<br/>untid=36937)

Cazau, P. (2006). Introducción a la investigación en ciencias sociales. Recuperado de  
<http://alcazaba.unex.es/asg/400758/MATERIALES/INTRODUCCI%C3%93N%20A%20LA%20INVESTIGACI%C3%93N%20EN%20CC.SS..pdf>

Corpus, M. (2018). *Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016.* (Tesis pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Áncash-Perú.

Covarrubias, S. & Peña, J. (2016). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. En revista Int. Contam. Ambie. 33 (Especial Biotecnología e ingeniería Ambiental) pp. 8-21. doi: 10.29937/RICA.2017.33.esp01.01

Dávila, N. & Walter, L. (2017). *Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros El Sinchao, distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca- Perú 2017.* (Tesis pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Decreto Supremo 011-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental Nacionales para Suelos Agrícolas (diciembre 2, 2017). Presidente del Congreso de la República. Recuperado de [http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS\\_011-2017-MINAM.pdf?fbclid=IwAR1aHs8R1mtsOQ4HJuCRmnex8pvYrhaL24yh4QL7x\\_i6ASUW1aOPfmjMnk](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf?fbclid=IwAR1aHs8R1mtsOQ4HJuCRmnex8pvYrhaL24yh4QL7x_i6ASUW1aOPfmjMnk)

- De la Rosa, M. (2006). Fitorremediación. Una nueva opción para el rescate de ambientes contaminados. En revista Enlace Químico, 1(2) pp. 28-33. Recuperado de <http://www.dcne.ugto.mx/Contenido/revista/numeros/2/A1.pdf>
- Durán, P. (2010). *Transferencia de metales de suelo a planta de áreas mineras: ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana*. (Tesis doctoral), Universidad de Barcelona, Barcelona-España.
- Gutiérrez, H. & Castañeda, R. (2017). Catálogo de las gramíneas (Poaceae) de Huancavelica, Perú. En revista Ecología Aplicada, 16(1) pp. 63-73. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n1/a08v16n1.pdf?fbclid=IwAR0udJUscwxncLh0sHm-1ZumNkq4m\\_A8DMOfHn\\_ZqZ-KCpmCNRmT7C1JYY](http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v16n1/a08v16n1.pdf?fbclid=IwAR0udJUscwxncLh0sHm-1ZumNkq4m_A8DMOfHn_ZqZ-KCpmCNRmT7C1JYY)
- Hanan, A. & Mondragón, J. (2009). Malezas de México. Recuperado de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/asteraceae/bidens-triplinervia/fichas/ficha.htm>
- 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. En revista Peruana de Biología, 21 (2) pp 145-154. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195032229004>
- León, D. (2009). *Propagación de dos especies de Yagual (Polylepis incana y Polylepis racemosa) utilizando dos enraizadores orgánicos y dos enraizadores químicos en el vivero forestal del Crea en el cantón y provincia del Cañar*. (Tesis Pregrado), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador.
- León, V. (2017). *Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC, en condiciones de invernadero, 2015-2016*. (Tesis pregrado), Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Áncash-Perú.

- López, E. (2014). *Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por la actividad minera*. (Tesis Pregrado), Corporación Universitaria Lasallista, Antioquía-Colombia.
- Martínez, L. (2018). *Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera El Madrigal – Areuipa y propuesta de fitorremediación*. (Tesis Doctoral), Universidad Nacional san Agustín de Arequipa, Arequipa-Perú.
- Medina, K. & Montano, Y. (2014). *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el Juncus artucus Willd. y Cortaderia rudiusscula Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza-Ancash 2013*. (Tesis pregrado). Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, Huaraz, Perú.
- Mentaberry, A. (2011). Fitorremediación. Recuperado de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM\\_fitorremediacion\\_argentina\\_25620.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_25620.pdf)
- Muñoz, L., Nevárez, G., Ballinas, M. & Peralta, M. (2010). Fitorremediación como una alternativa para el tratamiento de suelos contaminados. En revista Internacional de Ciencia y Tecnología Biomédica. Pp 1-9. Recuperado de <http://www.uacj.mx/ICB/redcib/Toctli/Documents/Volumenes%20Anteriores/Fitorremediacion%20como%20una%20alternativa%20para%20el%20tratamiento%20de%20suelos%20contaminados.pdf>
- Núñez, R., Vong, Y., Borges, R. & Olgún, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. Ciencia, pp. 69-82. Recuperado de [https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/55\\_3/Fitorremediacion.pdf](https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf)
- Oc, W. & Gonza, C. (2017). Evaluación de especies vegetales con potencial fitorremediador de Cadmio en parcelas agrícolas del distrito de Imaza, Amazonas,

- 2016-2017. (Tesis Pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Amazonas-Perú.
- Padilla Sobrados, J. A., Ramírez Apolinario, E., Barra Zegarra, R., & Barreto Rodriguez, J. F. (2009). Niveles de concentración de metales pesados en especies vegetales emergentes en el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz, Perú. *Aporte Santiaguino*, 2(1), pág. 21-26.  
<https://doi.org/10.32911/as.2009.v2.n1.372>
- Paredes, J. (2015). Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales en la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros. En revista ECIPerú, 11 (2) pp. 42-46. Recuperado de <http://www.reddeperuanos.com/revista/eci2015vrevista/08ambientalesparedesucsmperufinal.pdf>
- Peña, S. & Beltrán, N. (2019). Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus L.* en la estación experimental El Mantaro. En revista Prospectiva Universitaria, 9(1) pp 31-45. Recuperado de <http://revistas.uncp.edu.pe/index.php/prospectiva/article/view/34>
- Ríos, R. (2017). *Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies Lolium perenne, Pelargonium hortorum y Fuertesimalva echinata en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017.* (Tesis pregrado). Universidad César Vallejo, Lima-Perú.
- Ruiz, E. & Armienta, M. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. En revista Int. Conta. Ambie. 28 (2) pp 104-117. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37023178001>
- Sánchez, C. (2015). Evolución de la calidad del suelo, disponibilidad de metales pesados y vegetación en un depósito minero de la sierra minera de Cartagena-La Unión tras su

rehabilitación mediante fitoestabilización asistida. (Tesis Pregrado), Universidad  
Politécnica de Cartagena, Cartagena-Colombia.

SINIA (2017), Decreto Supremo 011-2017-MINAM. Estándares de Calidad Ambiental  
Nacionales para Suelos Agrícolas (diciembre 2, 2017). Recuperado de  
[https://sinia.minam.gob.pe/norma/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca.suelo-  
0](https://sinia.minam.gob.pe/norma/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca.suelo-0)

## ANEXOS

### Anexo 1: Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM.

14 <b>NORMAS LEGALES</b> Sábado 2 de diciembre de 2017 / 				
ANEXO				
ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL (ECA) PARA SUELO				
Parámetros en mg/kg PS <sup>(2)</sup>	Usos del Suelo <sup>(1)</sup>			Métodos de ensayo <sup>(7) y (8)</sup>
	Suelo Agrícola <sup>(3)</sup>	Suelo Residencial/Parques <sup>(4)</sup>	Suelo Comercial <sup>(5)</sup> /Industrial/Extractivo <sup>(6)</sup>	
<b>ORGÁNICOS</b>				
<b>Hidrocarburos aromáticos volátiles</b>				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 <sup>(9)</sup> EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos <sup>(10)</sup>	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
<b>Hidrocarburos poliaromáticos</b>				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a)pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
<b>Hidrocarburos de Petróleo</b>				
Fracción de hidrocarburos F1 <sup>(11)</sup> (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F2 <sup>(12)</sup> (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fracción de hidrocarburos F3 <sup>(13)</sup> (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
<b>Compuestos Organoclorados</b>				
Bifenilos policlorados - PCB <sup>(14)</sup>	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
<b>INORGÁNICOS</b>				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total <sup>(15)</sup>	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 <sup>(16)</sup>
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D 7237 y/o ISO 17690:2015

**Notas:**

(\*) Este símbolo dentro de la tabla significa que el parámetro no aplica para el uso de suelo agrícola.

(1) **Suelo:** Material no consolidado compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad.

(2) **PS:** Peso seco.

(3) **Suelo agrícola:** Suelo dedicado a la producción de cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo con aptitud para el crecimiento de cultivos y el desarrollo de la ganadería. Esto incluye tierras clasificadas como agrícolas, que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, además de flora y fauna nativa, como es el caso de las áreas naturales protegidas.

(4) **Suelo residencial/parques:** Suelo ocupado por la población para construir sus viviendas, incluyendo áreas verdes y espacios destinados a actividades de recreación y de esparcimiento.

(5) **Suelo comercial:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla está relacionada con operaciones comerciales y de servicios.

(6) **Suelo industrial/extractivo:** Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes.

(7) Métodos de ensayo estandarizados vigentes o métodos validados y que cuenten con la acreditación nacional e internacional correspondiente, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). Los métodos de ensayo deben contar con límites de cuantificación que estén por debajo del ECA.

Imagen 1. Estándares de Calidad Ambiental para suelos agrícolas Nacionales, DS N° 011-2017 MINAM.

## Anexo 2: Fichas de registros de datos.

### Ficha de registro N° 1

**Autores:** Bazán, T. & Rojas, D.

**Título:** Remoción de metales pesados con *Juncus arcticus* y *Urtica dioica* en un relave minero, distrito de Huamachuco, La Libertad.

**Año:** 2018

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Tesis de la Universidad César Vallejo.

**Resumen:** Se determinó la remoción de metales pesados con *Juncus arcticus* y *Urtica dioica*, las concentraciones iniciales de relave fueron, 142mg/kg Pb, 433,08mg/kg As y 11,42mg/kg Cd; después de dos meses U. Dioica, removió 32,2% Pb, 33,7% As y 70,8% Cd y J. Arcticus se obtuvieron resultados de 26,3% Pb, 27.5% As y 67.9% Cd.

### Ficha de registro N° 2

**Autores:** Corpus (2018)

**Título:** Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016.

**Año:** 2018

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Tesis de la Universidad Santiago Antúnez de Mayolo.

**Resumen:** Se evaluó la eficiencia fitorremediadora de: *Calamagrostis recta*, *Cortaderia jubata* y *Festuca glyceriantha*, en donde las 3 especies mostraron una alta eficiencia fitorremediadora para el mecanismo de Fitoestabilización.

### Ficha de registro N° 3

**Autores:** Dávila y Walter (2017)

**Título:** Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el Sinchao, Distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017”

**Año:** 2017

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Tesis de la Universidad Privada del Norte

**Resumen:** Se evaluó las especies de *C. tarmensis*, *P. bonplandianum*, *C. pichinchensis*, *L. orbiculata* y *J. conglomeratus*. De las cuales se podría aplicar en técnicas de fitoestabilización para Ti, Sb Cd, Mn, Zn y Cr, etc.

### Ficha de registro N° 4

**Autor:** Durán, P.

**Título:** Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana.

**Año:** 2010

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Tesis de la Universidad de Barcelona.

**Resumen:** Los suelos estudiados presentan altos contenidos de metales pesados; del mismo modo las plantas *B. triplinervia*, *Senecio* sp, *S. oleraceus*, *B. latifolia*, *P. orbignyana* y *L. bipinnatifidum* son capaces de crecer en suelos con un alto contenido de metales pesados y tienen la habilidad de acumularlos en sus tejidos.

### Ficha de registro N° 5

**Autores:** Jara-Peña, E., Gómez, Z., H., Chanco, M., Mariano, M. & Cano, N.

**Título:** Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados.

**Año:** 2014

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Artículo científico de la Revista Peruana de Biología.

**Resumen:** En esta investigación se evaluó *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata* y *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, La mayor eficiencia de acumulación de Pb y Zn fue en las raíces de *F. echinata*, con 2015.1 mg/kg de Pb y 1024.2 mg/kg de Zn y en las raíces de *L. ballianus* fue Cd, con 287.3 mg/kg.

### Ficha de registro N° 6

**Autor:** León, V.

**Título:** Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la Compañía Minera Lincuna SAC, en condiciones de invernadero, 2015-2016.

**Año:** 2017

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Tesis de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

**Resumen:** El estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial fitorremediador de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC en condiciones de invernadero.

### Ficha de registro N° 7

**Autor:** Medina, K & Montano, Y.

**Título:** Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus willd.* y *Cortaderia rudiusscula stapf*, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013.

**Año:** 2014

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Tesis de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

**Resumen:** Se realizó el análisis de metales pesados en el suelo, encontrándose que las concentraciones de Hg, Tl, Ag, Ni, Mo, Co y Cr se encuentran dentro del límite de las Normas de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola. El promedio de las concentraciones de los metales pesados de las muestras de suelos de la *C. rudiusscula* Stapf, se encuentran en mayor concentración que *Juncus arcticus* Wild.

### Ficha de registro N° 8

**Autores:** Padilla, J., Ramírez, E., Barra, R. & Barreto, J.

**Título:** Niveles de concentración de metales pesados en especies vegetales emergentes en el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz, Perú.

**Año:** 2009

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Artículo científico.

**Resumen:** En este estudio se valuó *Cynodon dactylon* y *Juncus arcticus*. En donde se determinó que *C. dactylon*, es la especie vegetal que acumula metales pesados en mayor concentración que *J. arcticus*.

### Ficha de registro N° 9

**Autor:** Paredes, J.

**Título:** Evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros.

**Año:** 2015

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Artículo científico de la Revista ECIPerú.

**Resumen:** Se evaluó el uso de especies forestales de la sierra peruana (*A. visco*, *B. coriacea*, *E. globulus*, *M. laetum*, *P. racemosa* y *S. molle*) para el tratamiento de relaves mineros. Las especies forestales demostraron tener gran tolerancia a suelos contaminados y se obtuvo una remoción de los elementos químicos: Sb, As, Cd, Cu, Ag y Pb.

### Ficha de registro N° 10

**Autor:** Ríos, A.

**Título:** Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies *Lolium perenne*, *Pelargonium hortorum* y *Fuertesimalva echinata* en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017

**Año:** 2017

**Idioma:** Español

**Tipo de documento:** Tesis de la Universidad César Vallejo.

**Resumen:** Rye Grass (*L. perenne*), Geranio (*P. hortorum*) y Malva (*F. echinata*)  
Se emplearon como especies fitorremediadoras, se analizaron parámetros físicos químicos como Pb, pH, CE, CIC y textura en el suelo, así como análisis de las concentraciones de plomo en las partes áreas y radiculares.