

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“COMPARACIÓN DE ESPECIES VEGETALES  
CON CAPACIDAD FITORREMEDIADORA PARA  
EL TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS  
CON METALES PESADOS”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autores:**

Merilyn Yolanda Fernandez Romero  
Gloria Rosa Chirinos Chumbimuni

**Asesor:**

Mg. Kelly Milena Polo Herrera  
<https://orcid.org/0000-0002-4833-2157>

Lima - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Erick Humberto Rabanal Chávez</b>	<b>42009981</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Carlos Alberto Alva Huapaya</b>	<b>06672420</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Iselli Josylin Murga González</b>	<b>44362724</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico en primer lugar a Dios por darme fortaleza e iluminarme con su sabiduría para afrontar cada reto en mi vida. A mis padres por sus palabras de aliento, por enseñarme a no rendirme, por su apoyo incondicional y por brindarme las herramientas necesarias para defenderme en el futuro. Y a mi hijo Ian por ser mi inspiración, la fuente de mi motivación que me impulsa a superarme cada día más y lograr todas mis metas.

**Merilyn Yolanda Fernandez Romero**

En primer lugar, a Dios por iluminarme con su sabiduría para afrontar cada reto en esta etapa y a mi Madre: Delia Máxima Perez Chumbimuni porque a sido el pilar fundamental en mi desarrollo profesional, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo y a salir siempre adelante pese a las circunstancias para así lograr todos mis objetivos.

**Gloria Rosa Chirinos Chumbimuni**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por los logros alcanzados hasta el día de hoy, a nuestra asesora Kelly Polo por su dedicación y orientación continua para lograr un excelente trabajo, a mi madre Luisa y a mi padre Walter por su amor infinito y por su esfuerzo que me ha permitido llegar a esta etapa tan importante en mi vida, por ellos son quien soy, a mi familia por sus consejos y apoyo que me da vigor para cumplir mis sueños.

**Merilyn Yolanda Fernandez Romero**

En primer lugar agradezco a Dios ya que sin la bendición y su amor no lo hubiese logrado, a nuestra asesora Kelly Polo por guiarnos en nuestro trabajo dándonos las herramientas y conocimientos necesarios para poder culminarlo, A mi familia y compañera de tesis que estuvo todos los días pendiente y aportando para que nada salga mal y todo este bien elaborado.

**Gloria Rosa Chirinos Chumbimuni**

**Tabla de contenido**

JURADO EVALUADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
<b>1.1. Realidad problemática</b>	<b>10</b>
<b>1.2. Antecedentes</b>	<b>12</b>
1.2.1. Antecedentes internacionales	12
1.2.2. Antecedentes nacionales	14
<b>1.3. Base teórica</b>	<b>17</b>
1.3.1. Fitorremediación	17
1.3.2. Metodologías de fitorremediación	19
1.3.3. Capacidad fitorremediadora de las plantas	21
1.3.4. Contaminación del suelo	22
1.3.5. Metales pesados	23
1.3.6. Movilización de los metales pesados en el suelo	23
1.3.7. Transporte de contaminantes inorgánicos	23
1.3.8. Estándares de calidad ambiental para suelo	24

<b>1.4. Formulación del problema</b>	<b>25</b>
<b>1.5. Objetivos</b>	<b>25</b>
1.5.1. Objetivo general	25
1.5.2. Objetivos específicos	25
<b>1.6. Hipótesis</b>	<b>26</b>
<b>1.7. Justificación</b>	<b>26</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	28
CAPÍTULO III: RESULTADOS	34
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	64
REFERENCIAS	74
ANEXOS	86

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Ventajas y desventajas de la fitorremediación</i>	18
<i>Tabla 2 Mecanismos de la fitorremediación</i>	21
<i>Tabla 3 Criterios de inclusión y exclusión</i>	31
<i>Tabla 4 Identificación de especies vegetales</i>	34
<i>Tabla 5 Caracterización de las especies identificadas</i>	38
<i>Tabla 6 Mecanismos de fitorremediación de las especies vegetales identificadas</i>	48
<i>Tabla 7 Cantidad de absorción de metales pesados en relación con la especie utilizada</i>	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Procedimiento de selección de artículos</i>	32
<b>Figura 2</b> <i>Cantidad de especies por tipo de planta identificadas en los artículos de investigación</i>	47
<b>Figura 3</b> <i>Mecanismos de Fitorremediación más empleados en los estudios consultados de tratamiento de suelos con metales pesados</i>	53
<b>Figura 4</b> <i>Principales especies vegetales identificadas según la cantidad de absorción de metales pesados (mg/kg)</i>	63



## RESUMEN

La contaminación del suelo por metales pesados es un problema mundial que va en aumento, ocasionada mayormente por la actividad antrópica. Dentro de las tecnologías de remediación para esta problemática, la Fitorremediación surge como una alternativa eco-amigable y costo-efectiva. Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo comparar las especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados. El presente trabajo se realizó mediante una investigación descriptiva de 35 artículos obtenidos en las bases de datos Redalyc, Scielo, Dialnet, Springer, Repositorios universitarios y Science Direct, las cuales cumplían con los criterios de inclusión de idioma, confiabilidad de la fuente y usos de palabras claves relacionadas con el tema. Como resultados, se determinó 62 especies vegetales, de las cuales las plantas herbáceas son las más utilizadas para estudios de fitorremediación; dentro de los tipos de mecanismos, la fitoextracción resulta ser muy efectiva, los metales con mayor porcentaje de remoción son el plomo, arsénico y el cadmio. Además, se concluye que en los últimos años se está teniendo una mayor preocupación por escoger tecnologías verdes y alcanzar una cultura sostenible en el tiempo.

**PALABRAS CLAVES:** *Especies vegetales, fitorremediación, contaminación del suelo, metales pesados, remediación.*

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Los suelos son unos de los ecosistemas más preciados del mundo y actualmente se ven afectados principalmente por la contaminación de metales pesados. (Becerra et.al,2021). Una de las principales actividades que generan esta contaminación es la minería.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la mayoría del recurso suelo del mundo está en una condición aceptable, pobre o muy pobre, debido entre otras causas, a la exposición a elementos trazas (también llamados metales pesados) y a contaminantes orgánicos, por lo cual, la disposición de residuos tóxicos y la acumulación de metales suponen grandes desafíos para la recuperación y posterior uso adecuado de estos.

En los últimos años, a nivel mundial se está investigando exhaustivamente la aplicación de la fitorremediación, que es definida como la técnica que utiliza las plantas que tienen la capacidad de absorber, reducir, degradar o transformar sustancias contaminantes a formas menos tóxicas. (Harvey et.al,2002). Y resalta por ser una alternativa sustentable, económica y con un alto potencial en la recuperación de suelos afectados por la contaminación natural o antropogénica.

En este sentido, en distintos países se han identificado más de 450 especies vegetales extractoras, como la colza, la mostaza, el maíz, el trigo o el césped. Que resultan ser capaces de extraer del suelo metales como el cadmio, el níquel, el selenio, el plomo, el zinc, el cobalto, el cobre, el arsénico, el lantano o el manganeso. (Gascó, 2020)

A nivel nacional, casos emblemáticos como los reportados en el Complejo Metalúrgico de La Oroya (CMLO), una de las industrias más importantes del Perú, desde que comenzó sus operaciones en el año 1922, viene emitiendo material particulado en las emisiones fugitivas con gran cantidad de plomo el cual ha venido depositándose y acumulándose en el suelo de las inmediaciones del complejo. (Barandiaran & Cederstav, 2002).

Casos como estos reflejan una muestra de lo que ha dejado a su paso una actividad que durante décadas trabajó sin el mayor cuidado ni respeto a las poblaciones aledañas y al ambiente. Así mismo, la tradición minera del país apunta a un incremento en el número de concesiones y posterior actividad minera (Chávez, 2014). Ante este problema de interés mundial, es necesario buscar alternativas sostenibles de remediación, una de ellas es la fitorremediación, que la propia naturaleza refleja al mostrar una variedad de especies nativas que crecen en estas áreas perturbadas.

A lo largo del tiempo, la flora nativa ha colonizado zonas impactadas por desechos metálicos, adaptándose a concentraciones que superan los límites máximos permitidos, lo que ha despertado el interés por evaluar su potencial uso para la recuperación de estos lugares (Padilla et al. 2009).

Recientemente, se han encontrado diversas especies nativas altoandinas con un gran potencial como alternativa para tratar la contaminación del agua y del suelo con metales como aluminio, cobre, hierro, manganeso y zinc, que son característicos del drenaje ácido de roca (DAR). Unas de las más resaltantes, son la *Calamagrostis spp.*, *Paranephelius ovatus* y la *Werneria nubigena* que acumulan metales en sus tejidos aéreos y/o radiculares (Andina, 2021).

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Antecedentes internacionales

Nungaray (2014) en su tesis de “Fitorremediación del suelo de la mina La Blanca, Hidalgo, con plantas de la especie *Cosmos bipinnatus* y el género *Dahlia*”. Tuvo como objetivo evaluar la capacidad fitoacumuladora de metales pesados (Cd, Pb, Zn) en *Cosmos bipinnatus Cav.* y *Dahlia Cav.* La zona de estudio se ubica en la ciudad de Pachuca de Soto en Mexico. Como metodología usaron la concentración de metales disponibles y totales en el suelo por medio de absorción atómica y se realizaron análisis físicos y químicos. En los resultados obtenidos los tratamientos de las dos especies, se destacó que principalmente *Dahlia* obtuvo una eficiencia al 40, 60, 80 y al 100% con los valores que van de 5.65 a 6.22 mg/kg y *Cosmos bipinnatus* al 40, 80 y 100% con concentraciones de 5.13, 5.07 y 5.45 mg/kg respectivamente. Estas especies resultaron ser una alternativa para cubrir suelos contaminados y disminuir los riesgos ambientales por contaminación de suelos, además de embellecer el entorno de las zonas mineras.

Ghadiri y Hejazi (2018). En su estudio denominado “Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados utilizando *Pasto vetiver* y *Festuca alta*” realizada en Irán tuvo la finalidad de estudiar la capacidad del *Pasto vetiver* y la *Festuca alta* para minimizar los contaminantes como el Cd, Cu y Zn de suelos contaminados. En su metodología aplicó el uso de un invernadero a lo largo de 2 pruebas separadas. Con un diseño del todo aleatorio que incluye 7 niveles de contaminación (0, 50, 100, 200, 400, 600, 800 miligramo kilogramo de suelo) en Cd, Cu y Zn durante tres repeticiones.

Los resultados que se obtuvieron demuestran que el *Pasto vetiver* tiene mayor capacidad de acumulación de Cd en comparación con la *Festuca alta*. Esto nos indica que a pesar de que los dos tipos de plantas estaban expuestas a las mismas condiciones, una tiene mayor capacidad de absorción que la otra, debido a sus propiedades específicas.

Según Feng et.al (2018) en su artículo denominado “Tolerancia y bioacumulación de cobre, zinc y cadmio combinados en *Sesuvium portulacastrum*”. Las especies fueron recolectadas del pueblo de Shatoulong, China. En donde se propuso analizar la tolerancia de la planta y su bioacumulación de cobre, zinc y cadmio. En su metodología las plantas pasaron por un combinado de metales en cinco diferentes concentraciones cada uno (1, 2.5, 5, 10 y 20 mg/L). En los resultados se obtuvo que los valores del factor de bioconcentración (BCF) de los tres metales fueron todos superiores a 10 y la tolerancia en la raíz fue de hasta 1000 mg / kg sin causar una inhibición significativa del crecimiento. Se concluye que la especie *S. portulacastrum* debería ser un candidato potencial para la fitoestabilización de contaminaciones polimetálicos en ambientes costeros.

Santoyo (2020) en México en su “Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de Huautla, Morelos”. Cuyo objetivo fue evaluar la función de bioacumulación y el impacto de tiempo de exposición a los metales pesados sobre los cambios en *Vachellia campechiana* y *Crotalaria pumila*. En el método experimental que emplearon usaron plantas en invernadero con las semillas provenientes de sitios control para ambas especies de estudio, las cuales crecieron en sustrato proveniente de la zona contaminada (jale) y sustrato testigo.

Los resultados fueron que *Vachellia campechiana* es una especie con potencial para fitorremediar suelos contaminados, debido a que tiene una buena capacidad para bioacumular Cr, Cu y Pb en el tejido de la raíz (0.83 mg/kg, 0.37 mg/kg, 4.23 mg/kg) y en tejido foliar (2.75 mg/kg, 0.38 mg/kg, 4.75 mg/kg). Esta averiguación evidenció que la función de bioacumulación de metales pesados entre especies difiere, por esto tienen la posibilidad de ser consideradas para tratamientos de fitorremediación en sitios contaminados por metales pesados.

Martell (2014) en su trabajo de investigación realizada en “Acumulación de metales pesados en *Beta vulgaris L.* y *Lolium perenne L.* de suelos de Cuernavaca” tuvo como finalidad evaluar la capacidad acumuladora de metales pesados, de *Beta vulgaris* y *Lolium perenne*. Como metodología se seleccionaron parcelas abandonadas del parque ecológico de Cuernavaca-México para recolectar muestras, se hizo un procedimiento ex situ, con 10 muestras a lo largo de 16 semanas. Se obtuvo como resultados que la más grande acumulación de Plomo fue en la raíz de *Lolium perenne* (pasto) con 467.5 mg/kg y en las hojas de *Beta vulgaris L.* (acelga) con 681.66 mg/kg llegando a la conclusión que las dos especies cumplen la función de absorber metales pesados como el plomo, Cromo, Cadmio, Níquel, Cobre e hiperacumuladoras de Zinc, asimismo las dos presentan un índice alto de supervivencia. Esto quiere decir que para próximos trabajos se pueden usar como especies fitoestabilizadoras.

### 1.2.2. Antecedentes nacionales

Peña y Beltrán (2017). En su investigación “Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus L.* En la Estación Experimental El Mantaro”.

Este estudio realizado en el departamento de Junin tuvo como objetivo aplicar la tecnología de la fitoextracción para erradicar la presencia de metales pesados como el cobre, cadmio, cromo, hierro, manganeso, plomo, arsénico y antimonio. En la metodología se usó 3 terrenos de magnitudes: A: lote de 375 m<sup>2</sup>, B:325 m<sup>2</sup> y al final el lote C: 350 m<sup>2</sup> en la estación empírica El Mantaro, para eso se tomaron muestras de suelos contaminados, se usó también el procedimiento analítico instrumental Espectrometría de Masa con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP- Masas). Como resultados se obtuvieron los siguientes datos: Lote A: 111.5 ppm de plomo y 48.3 ppm de arsénico. Lote B: 54.5 ppm de plomo y 32.5 ppm de arsénico. Lote C: 44.2 ppm de plomo y 26.0 ppm de arsénico. Llegando a la conclusión que el porcentaje de Fitoextracción de los tres lotes de terreno indica que en el primer año de instalación de *Helianthus annuus L.* se nota un porcentaje de 50%, ello nos indica que se tiene que seguir cultivando *Helianthus annuus L.* por un periodo de tiempo más largo para subir el porcentaje de remoción del contaminante.

Hoyos y Guerrero (2014). En su estudio denominado “Bioacumulación de plomo y cadmio en *Brassica oleracea subsp. capitata (L.) Metzg.* Y *Raphanus sativus L.*” Se propuso determinar la concentración de plomo y cadmio por bioacumulación en cada especie, regadas con aguas a diferentes concentraciones de cada metal , en el campo del Centro de Producción de Cultivo y Crianza de Animales Menores (CEPCAM) de la Universidad Nacional de Trujillo. Como metodología usó un diseño empírico donde se laboró con 20 plantas de cada una; a lo largo de 14 días, trasplantados aleatoriamente, en forma personal en pozas con suelo homogenizado franco arenoso independiente de metales como el Plomo y Cadmio, con un procedimiento in situ, con 4 repeticiones a lo largo de 60 días.

Obteniéndose como resultado que la parte aérea de *B. oleracea subsp. capitata* (L.) Metzg., presentó la mayor concentración de plomo y cadmio de 127.75 y 180 mg/kg peso seco respectivamente, en tratamientos con soluciones de 300 mg/L de cada metal. Nos indica que esta acumulación en distinto grado, depende de la especie vegetal, de las características y concentración de los metales en el suelo.

Reátegui. (2018). En su tesis “Efecto de la dosificación de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Shahuindo- Cajamarca”. El objetivo fue evaluar el efecto de la dosificación de esta especie en la absorción de metales pesados en los suelos contaminados. Como método se aplicó un diseño experimental unifactorial, en el cual se evaluó 4 tratamientos con 3 repeticiones, haciendo uso de macetas experimentales con capacidad de 1kg. Para la dosificación de cada maceta fue diferente el suelo contaminado, se aplicó en cantidades de 50, 100, 150, y 200 gr. de *Pleurotus ostreatus*. Como resultado se obtuvo que el mejor tratamiento para la absorción de metales pesados es en el tratamiento A3: 150 gr. para metales como Arsénico (As) con 78.04% de efecto positivo en la absorción, para el Cadmio (Cd) con 77.23% en la repetición 2, Cobre (Cu) con 40.07% en la repetición 2, Plomo (Pb) con 68.97% en la repetición 3, Estroncio (Sr) con 69.20% en la repetición 3, Níquel (Ni) con 66% en la repetición 1. En conclusión, el porcentaje promedio de absorción es preeminente al 50% en los metales pesados. Sin embargo, para todos los metales no se logró una absorción definitiva en el caso de los metales Ag, Fe, Hg, Mo, y Se.

Jara-Peña, Gómez, Montoya, Chanco, Mauro y Cano. (2014). En la publicación de su estudio “Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas



de suelos contaminados con metales pesados” realizado en condiciones de invernadero en el distrito de Lachaqui, provincia de Canta. Tiene el objetivo de informar los resultados de un experimento que evalúa la capacidad de fitorremediación de cinco plantas andinas: *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus*, en suelos contaminados con plomo, zinc y cadmio. Como metodología usaron veinte tratamientos con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies alto andinas, y 4 sustratos con 30%, 60%, 100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM. El trabajo fue realizado en condiciones de invernadero en el distrito de Lachaqui, provincia de Canta, región Lima. Se obtuvo que la mayor eficiencia de acumulación de plomo y zinc fue obtenida en las raíces de *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de 100% de relave de mina., y en las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de cadmio, con una concentración de 287.3 mg kg<sup>-1</sup> MS con el tratamiento de 100% de relave de mina. Se concluye que con las especies mencionadas en el estudio se obtiene una considerable eficiencia en remoción del contaminante.

### **1.3. Base teórica**

#### **1.3.1. Fitorremediación**

La fitorremediación es una eco tecnología basada en plantas que tienen la capacidad de remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes orgánicos e inorgánicos en suelos, lodos y sedimentos, tanto in situ como ex situ (Delgadillo et.al, 2011).

Comparándose con las tecnologías tradicionales, la fitorremediación tiene muchas ventajas, así como también presenta algunas desventajas, como se observa en la Tabla 1 (Ghosh y Singh, 2005).

**Tabla 1**

*Ventajas y desventajas de la fitorremediación*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Es una tecnología respetuosa con el medio ambiente.</li> <li>▪ Es efectiva en la reducción del contaminante tanto orgánico como inorgánico.</li> <li>▪ Es menos destructivo que las técnicas tradicionales para remediación.</li> <li>▪ Es de bajo costo.</li> <li>▪ Al poder realizarse in situ no necesita transportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la dispersión de contaminantes a través del aire o del agua.</li> <li>▪ Evita la excavación y el tráfico pesado.</li> <li>▪ Es fácil de aplicar y estéticamente agradable</li> <li>▪ A comparación de las tecnologías tradicionales,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.</li> <li>▪ Es ligada a las condiciones climáticas del lugar donde se va aplicar.</li> <li>▪ El proceso es relativamente lento, puede tomar varias temporadas de cultivo para limpiar un sitio.</li> <li>▪ Es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.</li> <li>▪ Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizosfera de la planta.</li> <li>▪ En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.</li> <li>▪ Para su aplicación se necesitan áreas relativamente grandes</li> <li>▪ La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un</li> </ul>

---

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
esta no requiere consumo excesivo de energía	mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
<ul style="list-style-type: none"><li>▪ Permite el reciclado de recursos, como el agua, metales y biomasa.</li><li>▪ Mejora las propiedades físicas y químicas suelo, debido a la formación de una cubierta vegetal.</li></ul>	

---

Fuente: Adaptado de Ghosh & Singh (2005).

### 1.3.2. Mecanismos de fitorremediación

Los mecanismos de fitorremediación comprende la fitoextracción, fitoestabilización, rizofiltración, fitovolatilización, fitodegradación y fitoinmovilización, y cada una de ellas tiene un mecanismo de acción contra el contaminante, ya sea, orgánico e inorgánico como se puede observar en la Tabla 2 (Ghosh y Singh, 2005). A continuación, se detallará cada una de ellas (Ver Anexo 1):

- ✓ Fitoextracción: Llamada también fitoacumulación, consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. Estas posteriormente se cortan y se incineran o son acumuladas para reciclar los metales. La fitoacumulación se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables (Kumar *et al*, 1995).

- ✓ Fitoestabilización: Esta estrategia utiliza plantas que desarrollan un denso sistema radicular para reducir la disponibilidad por medio de mecanismos de secuestación, lignificación o humidificación, este proceso reduce la movilidad del contaminante y evita la migración al agua o el aire y reduce la biodisponibilidad para la entrada a la cadena alimenticia. (Bernal, 2014).
- ✓ Rizofiltración: En este método las plantas se cultivan de manera hidropónica. 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. (Dushenkov *et al*, 1995).
- ✓ Fitovolatilización: Se produce cuando las especies vegetales en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera (Prasad y Freitas, 2003).
- ✓ Fitodegradación: Las plantas y los microorganismos asociados a ellas degradan los contaminantes orgánicos en productos inofensivos, o bien, mineralizarlos hasta CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. En este proceso los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas producen enzimas como la dehalogenasa y la oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación (Singh y Jain, 2003).
- ✓ 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 (Carpena y Bernal, 2007).

**Tabla 2**
*Mecanismos de la fitorremediación*

<b>Proceso</b>	<b>Mecanismo</b>	<b>Contaminantes</b>
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoimmobilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar los contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

Fuente: Adaptado de Ghosh & Singh (2005).

### 1.3.3. Capacidad fitorremediadora de las plantas

La capacidad fitorremediadora se mide a partir de sus tasas de crecimiento y de acumulación, para obtener un valor de extracción (en gramos o kilogramos de metal por hectárea y año), además deben presentar un alto rango de tolerancia a condiciones tóxicas. (Zhi-xin et al., 2007).

Las especies vegetales poseen tres estrategias básicas para crecer sobre los suelos contaminados (Raskin et.al, 1994). (Ver Anexo 2)

- La primera se presenta en plantas exclusoras de metales, las cuales evitan la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de estos sobre un amplio rango de concentración de metales en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces (Raskin et.al, 1994).
- La segunda se encuentra en las plantas llamadas indicadoras, que acumulan los metales en sus tejidos aéreos y generalmente muestran el nivel de metal en el suelo. (Ghosh & Singh, 2005).
- La última estrategia es la de las plantas acumuladoras o hiperacumuladoras, capaces de absorber altos niveles de contaminantes y concentrarlos en raíces, tallos y hojas (Raskin et.al, 1994).

Las especies de plantas adecuadas para fitorremediar el suelo contaminado deben cumplir con ciertas características, deben ser tolerantes y acumuladoras de altas concentraciones de metales, tener una rápida tasa de crecimiento y alta productividad, que sean especies locales, representativas de la comunidad natural y que sean fácilmente cosechables. (López, Vong, Ortega, & Olguín, 2004).

#### **1.3.4. Contaminación del suelo**

Aquel suelo cuyas características químicas han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias químicas contaminantes depositadas por la actividad humana, en concentraciones altas que afectan la función del uso actual o previsto del sitio y de sus alrededores, representando un riesgo a la salud humana o al ambiente (MINAM,2015).

Las presencias de estos contaminantes por su origen pueden ser geogénicos y antropogénicos. Los antropogénicos están fundamentalmente relacionados con diferentes tipos de actividades que se realiza, principalmente por la minería y la agricultura (Covarrubias y Cabriales, 2017).

### **1.3.5. Metales pesados**

“Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm<sup>3</sup> cuando están en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20” (Vardanyan y Ingole, 2006). Los metales pesados con mayor efecto tóxico a la salud son Hg, Cd, Pb, As, Cu, Zn, Sn y Cr (Jara,2018).

### **1.3.6. Movilización de los metales pesados en el suelo**

Las incorporaciones de los metales pesados existentes en el suelo pueden seguir las siguientes vías (García & Dorronsoro, 2005):

- a) Quedar retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, u ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo.
- b) Asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos.
- c) Pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas.
- d) Pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas.

### **1.3.7. Transporte de contaminantes inorgánicos**

El transporte en el que los metales pesados se incorporan y acumulan en las especies vegetales están descritos en las siguientes fases (Navarro-Aviñó, 2007):

- Fase I. Abarca el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula, ya sea por vía apoplástica o simplástica. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico. (Navarro-Aviño, 2007).
- Fase II. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas. Estas tienen una marcada afinidad por las formas iónicas de Zn, Cd, Hg y Cu.
- Fase III. Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.

### **1.3.8. Estándares de calidad ambiental para suelo**

Los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo constituyen los indicadores que miden el nivel de concentración de parámetros químicos presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente (MINAM,2015).

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 servicios (SINIA,2017).



Para el control y mantenimiento de la calidad del suelo se han promulgado: , Los Estándares de Calidad Ambiental para suelo(Ver anexo 3) y disposiciones complementarias, D.S. N° 002-2013- MINAM y D.S. N° 002-2014-MINAM. , Guía para Muestreo de Suelos y Guía para la elaboración de los Planes de Descontaminación de Suelos, R.M. N° 085-2014-MINAM. y el Protocolo de muestreo por emergencia ambiental, R.M. N° 125-2014-MINAM.

#### **1.4. Formulación del problema**

¿Cuáles son las especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados?

#### **1.5. Objetivos**

##### 1.5.1. Objetivo general

Comparar las especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados.

##### 1.5.2. Objetivos específicos

Identificar y caracterizar a las principales especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados.

Determinar la eficiencia de los mecanismos de fitorremediación que usan las especies vegetales para tratar suelos contaminados con metales pesados.

Analizar la cantidad de absorción de metales pesados de acuerdo a las especies vegetales identificadas.

## 1.6. Hipótesis

La presente investigación corresponde a un estudio descriptivo. Por tal motivo no requiere de hipótesis. Los estudios descriptivos (simples o mixtos) tienen como objetivo genérico acumular datos para describir fenómenos aún poco conocidos, pero no pretenden explicarlos o verificar las posibles causas subyacentes. (Isern y Soler ,1998).

## 1.7. Justificación

Esta tesis se realizó con la finalidad de comparar las especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados. Según los autores Ackoff (1953) y Miller (1977) se requieren de ciertos criterios para evaluar la utilidad de un estudio propuesto, estos se definirán a continuación: evaluar la utilidad de un estudio propuesto, estos se definirán a continuación:

- Conveniencia

El presente trabajo servirá para crear un hito para las futuras investigaciones afines a esta. Debido que, existe la creciente preocupación en las últimas décadas por el problema de la contaminación con metales pesados en el suelo que afecta su calidad, el rendimiento de los cultivos y además pueden afectar la salud humana.

Ante la necesidad de la búsqueda de soluciones para la eliminación de los contaminantes del suelo, surge esta investigación que servirá como revisión literaria para quienes busquen implementar esta tecnología verde, denominada fitorremediación que usa la capacidad que tienen algunas plantas para tratar el suelo contaminado con metales pesados.

- Relevancia

La importancia de la presente investigación es efectiva, ya que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos. A comparación de las tecnologías tradicionales que son de alto costo y de limitada eficacia. Además, constituye una variación de las técnicas de biorremediación, pero se concreta en el uso de especies vegetales dirigidas a liberar, contener, o transformar en compuestos inocuos a los contaminantes del suelo.

- Implicancias prácticas

La información expuesta a lo largo de este estudio tendrá un uso esencial, ya que servirá como una guía en el cual se obtendrá la comparación de ciertas especies vegetales con capacidad fitorremediadora para tratar suelos contaminados con metales pesados , que se derivarán de los resultados que obtendremos en la presente investigación, ya que, estos resultados pueden servir de base para otros investigadores que deseen desarrollar con mayor profundidad el tema de estudio y aplicarlo en el desarrollo de cierres de mina.

- Valor teórico

En esta investigación se pretende realizar un aporte teórico y actualizado, donde se va a recopilar y resumir la información conseguida en la base de información de acceso abierto, con la finalidad de comparar las principales especies vegetales con capacidad fitorremediadora para tratar suelos contaminados, para que sirva de apoyo a futuros trabajos de investigación.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Diseño de la investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva. En el que se emplea un diseño de investigación no experimental, porque se centra en analizar el nivel y la relación de diversos estudios y técnicas de nuestro tema de investigación.

### 2.2. Población

La población del presente trabajo de investigación es de 100 artículos. Que fueron revisados exhaustivamente con las palabras claves especies vegetales y fitorremediación en distintas bases de datos. En el cual los distintos artículos científicos , revistas y tesis contienen diversos métodos de fitorremediación aplicados en distintos medios como agua, suelo y aire. Asimismo estas especies vegetales empleadas tienen la función de absorber metales pesados e hidrocarburos. Estos artículos seleccionados fueron realizados en diferentes países, por el cual se tiene estudios en ingles, español y portugues , además, tienen un tiempo no mayor de 20 años.

### 2.3. Muestra

La muestra del presente trabajo esta definida por la totalidad de 35 artículos científicos primarios, los cuales cumplen con los criterios establecidos en la presente tesis.

Para la revisión se tomaron en cuenta 35 artículos con metodología de técnicas de fitorremediación de forma aleatoria, que fueron registradas en diversas revistas científicas, mediante la selección de palabras claves como “Fitorremediación”, “técnicas de fitorremediación”, “Suelo contaminado”, “Remediación del suelo”, “Metales pesados”, “Especies vegetativas”, “Contaminación por metales”.

Adicional a ellos se clasificó los estudios por la variedad de contaminantes, concentración del contaminante, especie utilizada y resultados de cada estudio en repositorios nacionales e internacionales de los cuales se incluyeron los más actuales , los que tienen una antigüedad no mayor a 10 años, cuyos idiomas eran el inglés y español. Los artículos elegidos se encontraron en diferentes bases de fuentes confiables, las cuales son las: Scielo, Science Direct, Repositorios de universidades, Springer Nature, National Library of medicine, Redalyc y Dialnet; a través de los buscadores Google académico y ResearchGate.

## **2.4. Técnicas y materiales**

Se clasifican los estudios por la variedad de contaminantes, concentración del contaminante, capacidad de absorción, especie vegetal utilizada y resultados de cada estudio.

### **2.4.1. Técnica**

La técnica empleada en nuestro proyecto de investigación es el análisis documental porque es un conjunto de operaciones encaminadas a representar un documento y su contenido bajo una forma diferente de su forma original, con la finalidad de posibilitar su recuperación posterior e identificarlo (Castillo, 2005).

### **2.4.2. Materiales**

Como materiales se consideran las fichas de registro (Anexo7); esta estrategia de recolección de información nos permite sintetizar y captar las ideas y los propósitos más importantes de cada artículo de investigación. Sirve, además, para un trabajo posterior, al escribir un ensayo u otro documento en el que necesitemos respaldarnos de las ideas de otro autor. Parte esencial de la ficha de registro es obtener la mayor cantidad de comprensión respecto a un tema en específico.

También tenemos las tablas en Excel de índole comparativo y descriptivo separados por año de publicación, fuente de búsqueda, tipo de investigación, autores, palabras claves, idioma, descarte o inclusión del documento, título y un breve resumen de lo más resaltante de los artículo. Asimismo, se usará gráficos estadísticos que faciliten la comprensión de los resultados de la investigación.

#### **2.4.3. Unidad de análisis**

Nuestra unidad de análisis son los propios documentos (libros, revistas, periódicos, memorias, anuarios, registros, códigos, constituciones, etc.) en la cual también podemos incluir a la investigación bibliográfica y toda la tipología de revisiones existentes (revisiones narrativas, revisión de evidencias, meta-análisis, metasíntesis). (Silva, 2011)

#### **2.4.4. Validez y confiabilidad**

La validez y confiabilidad reflejan la manera en que el instrumento se ajusta a las necesidades de la investigación (Hurtado, 2012). En nuestro caso no es necesario una validación porque los documentos, artículos científicos y tesis, que hemos seleccionado ya están validados por jueces o expertos correspondientes en el tema, según sus criterios y procedimientos de validez. Además, los estudios recopilados provienen de fuentes académicas veraces con un alto grado de investigación científica.

### **2.5. Procedimiento de recolección de datos**

Como primer paso se tiene la búsqueda exhaustiva usando las palabras claves en los buscadores Google Académico y ResearchGate de las bases de datos de alto grado de confiabilidad, para luego realizar la lectura de los estudios, los que están en idioma diferente a nuestra lengua natal serán traducidos para una comprensión completa del contenido.

Como segundo paso, mediante una reunión por google meet se integrará la información obtenida, complementando y resolviendo las diferencias de mutuo acuerdo.

Para el análisis de calidad de artículos, lo primero que se realiza es la revisión del contenido de cada uno de ellos, verificando el título y el resumen general. Además, de ello cerciorarse si son textos completos, que contengan referencias bibliográficas para respaldar dicha investigación y que cumplan con los criterios de inclusión y exclusión establecidos en este estudio, a continuación, se detallará en la tabla 3.

**Tabla 3**

*Criterios de inclusión y exclusión*

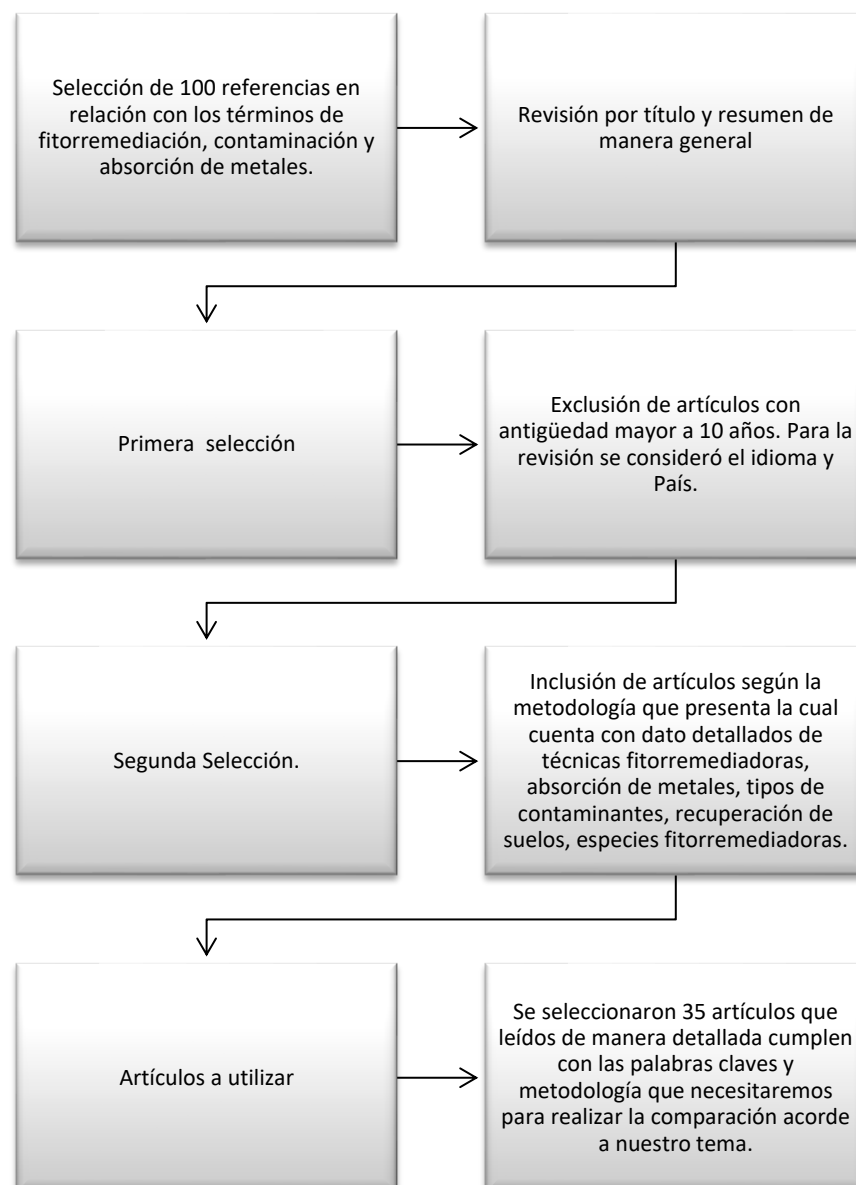
<b>Criterio</b>	<b>Inclusión</b>	<b>Exclusión</b>
Relación con el tema	Uso de palabras claves relacionadas con el tema	Otro
Idioma	Español / English	Otro
Calidad científica(fuentes confiables conocidas)	Redalyc, Scielo, Dialnet, Springer Nature, National Library of medicine, Repositorios universitarios y Science Direct	Otro
Antigüedad	No mayor a 10 años	Tiempo mayor a 10 años

Una vez determinada la calidad de los artículos científicos, se procesarán y organizarán los datos en fichas de registro y tablas identificando variables en relación con el objeto de estudio a través del programa Excel.

A continuación se presenta la fig.1 en el cual se muestra la forma cómo se procedió al momento de elegir los estudios de esta revisión sistemática.

**Figura 1**

*Procedimiento de selección de artículos*





## **2.6. Análisis de datos**

Los artículos seleccionados serán importados en el programa de Excel y estructurados en una ficha de registro generando un cuadro con todas sus características, los cuales serán título, año, país, idioma, palabras claves, tipos de metodología de fitorremediación y resultados más relevantes de cada uno de los documentos revisados, para así poder procesar la información de manera más ordenada, que posteriormente se utilizarán para elaborar las inferencias estadísticas, mediante gráficas, cuadros y finalmente redactar las discusiones y conclusiones.

## **2.7. Aspectos éticos**

El presente trabajo de investigación desarrollado con responsabilidad e interés por exponer técnicas de fitorremediación con especies vegetales amigables con el ambiente y rentables para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados; no atenta contra ningún aspecto ético del ser humano, se respetaron los valores éticos y morales, además, se cumplió los principios de autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia para revisar los trabajos previos de otros autores. Este trabajo contiene aportes de fuentes confiables, debido a que surgió como el resultado de la recopilación de datos obtenidos de diferentes autores sobre las metodologías de fitorremediación con especies vegetales usadas para la restauración de suelos contaminados por metales pesados.

Así mismo, se extrajo información complementaria que es apoyada por citas bibliográficas siguiendo las indicaciones de las normas APA séptima edición para avalar la calidad del presente estudio.

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

**Objetivo específico 1: Identificar y caracterizar a las principales especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados.**

En esta investigación se recolectó 35 diferentes fuentes de literatura científica. De las cuales se identificaron 56 especies. A continuación, en la tabla 4, será detallada.

**Tabla 4**

*Identificación de especies vegetales*

N°	Especies vegetales	Referencia
1	<i>Cosmos bipinnatus</i>	Nungaray (2014)
2	<i>Dahlia</i>	
3	<i>Helianthus annuus L.</i>	Peña y Beltran (2017)
4	<i>Vachellia campechiana</i>	Santoyo (2020)
5	<i>Crotalaria pumila</i>	
6	<i>Beta vulgaris L.</i>	Martell
7	<i>Lolium perenne L.</i>	(2014)
8	<i>Pasto vetiver</i>	Ghadiri y Hejazi (2018).
9	<i>Festuca alta</i>	
10	<i>Artemisia capillaris</i>	Lu et al. (2021)
11	<i>Taraxacum mongolicum</i>	
12	<i>Medicago sativa</i>	
13	<i>Plantago asiatica L.</i>	

N°	Especies vegetales	Referencia
14	<i>Mentha arvensis</i>	Manikandan, et al. (2014)
15	<i>Coincya monensis</i>	Fernández et al. (2017)
16	<i>Ricinus communis L.</i>	Rendina et al. (2014)
17	<i>Juncus arcticus</i>	Bazán y Rojas (2018)
18	<i>Urtica dioica</i>	
19	<i>Sphagneticola trilobata</i>	Pernía et al. (2019)
20	<i>Cucumis sativus</i>	Cifuentes y Novillo (2016)
21	<i>Gynerium sagittatum</i>	Ortega et.al (2011)
22	<i>Lupinus ballianus</i>	Jara-Peña et.al (2014)
23	<i>Urtica urens L.</i>	
24	<i>Fuertesimalva echinata</i>	
25	<i>Solanum nitidum</i>	
26	<i>Brassica rapa L.</i>	
27	<i>Lavandula vera L.</i>	Angelova et.al (2016)
28	<i>Cistus L.</i>	Almagro et.al (2015)
29	<i>Brassica oleracea</i> subsp. <i>Capitata (L.)</i> Metzg.	Hoyos y Guerrero (2014)
30	<i>Raphanus sativus L</i>	
31	<i>Chromolaena odorata</i> (L.)	Omoregie et al. (2019)
32	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Feng et.al (2018)

N°	Especies vegetales	Referencia
33	<i>Glycine max</i>	Syam et.al (2016)
34	<i>Sarcotheca celebica</i>	
35	<i>Melastoma malabathricum</i>	
36	<i>Lupinus albus L.</i>	Fumagalli (2014)
37	<i>Atriplex lentiformis</i>	Eissa y Roshdy (2018)
38	<i>Zea mays Sesbania</i>	Suthar et.al (2014)
39	<i>Medicago sativa L.</i>	Zhang et.al (2019)
40	<i>Brassica juncea L</i>	
41	<i>Jatropha curcas</i>	Chang et.al (2014)
42	<i>Brassica Napus L.</i>	Angelova et.al (2017)
43	<i>Heliconia Psittacorum.</i>	Madera et al ( 2013)
44	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	Ramírez et.al (2019)
45	<i>Pelargonium zonale</i>	Obeso et.al (2017)
46	<i>Calamagrostis recta (Kunth) Trin. Ex Steud</i>	Corpus (2018)
47	<i>Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf</i>	
48	<i>Festuca glyceriantha Pilg</i>	
49	<i>Acacia Saligna</i>	Pizarro et.al (2016)
50	<i>Fuertesimalva echinata</i>	Prieto y Fernández (2020)
51	<i>Urtica Urens</i>	

N°	Especies vegetales	Referencia
52	<i>Stipa Ichu</i>	
53	<i>Jatropha curcas L.</i>	Gonzáles (2020)
54	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Beltrán et.al (2019)
55	<i>Acacia macracantha</i>	Chuptaya y Molina
56	<i>Schinus molle</i>	(2021)

Se determinó las características de cada una de las especies vegetales que tienen la capacidad de captar los metales pesados, en donde se encontró 19 familias botánicas entre nativas e introducidas. Las cuales se observarán en la tabla 5.

**Tabla 5***Caracterización de las especies identificadas*

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Origen</b>	<b>Tipo de planta</b>
Asterales	Asteraceae	<i>Cosmos bipinnatus</i>	60-200 cm	México	Herbácea
Asterales	Asteraceae	<i>Dahlia</i>	30-120 cm	México	Herbácea
Asterales	Asteraceae	<i>Helianthus annuus L.</i>	Hasta 3 m	Centro américa y Norte América	Herbácea
Fabales	Fabaceae	<i>Vachellia campechiana</i>	Hasta 5 m	México	Arbusto
Fabales	Fabaceae	<i>Crotalaria pumila</i>	30-50 cm	Centro américa	Herbácea
Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Beta vulgaris L.</i>	0.6-1 m	México y Europa	Herbácea
Poales	Poaceae	<i>Lolium perenne L.</i>	Hasta 1 m	Europa y Norte de África	Herbácea

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Origen</b>	<b>Tipo de planta</b>
Poales	Poaceae	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (Pasto vetiver)	Hasta 1,5m	India	Herbácea
Poales	Poaceae	<i>Festuca arundinacea</i> (Festuca alta)	Hasta 2m	Europa y Norte de África	Herbácea
Asterales	Asteraceae	<i>Artemisia capillaris</i>	Hasta 2m	Asia	Herbácea
Asterales	Asteraceae	<i>Taraxacum mongolicum</i>	Hasta 40cm	Europa	Herbácea
Fabales	Fabaceae	<i>Medicago sativa</i>	30-60 cm	Asia	Herbácea
Lamiales	Plantaginaceae	<i>Plantago asiatica</i> L	20-60 cm	Asia	Herbácea

Orden	Familia	Especie	Tamaño	Origen	Tipo de planta
Lamiales	Lamiaceae	<i>Mentha arvensis</i>	10–60 cm	Europa y Asia Central	Herbácea
Brassicales	Brassicaceae	<i>Coincya monensis</i>	Hasta 1m	Europa	Herbácea
Malpighiales	Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis L.</i>	Hasta 6m	África trópic al	Arbusto
Poales	Juncaceae	<i>Juncus arcticus</i>	0.30 a 1.25 m	América	Herbácea
Rosales	Urticaceae	<i>Urtica dioica</i>	50 y 150 cm	Europa	Herbácea
Asterales	Asteraceae	<i>Sphagneticola trilobata</i>	15-30cm	Islas del Océano Pacífico	Herbácea
Cucurbitales	Cucurbitaceae	<i>Cucumis sativus</i>	Hasta 2 m	India	Herbácea



Orden	Familia	Especie	Tamaño	Origen	Tipo de planta
Poales	Poaceae	<i>Gynerium sagittatum</i>	4-5 m	América	Herbácea
Fabales	Fabaceae	<i>Lupinus ballianus</i>	0.5-2 m	América	Arbusto
Rosales	Urticaceae	<i>Urtica Urens</i>	15-50 cm	Europa	Herbácea
Malvales	Malvaceae	<i>Fuertesimalva echinata</i>	8 cm	México y Sudamérica	Herbácea
Solanales	Solanaceae	<i>Solanum nitidum</i> Ruiz & Pav	1-4 m	América del sur	Arbusto
Brassicales	Brassicaceae	<i>Brassica rapa L</i>	30-130 cm	Asia central	Herbácea
Lamiales	Lamiaceae	<i>Lavandula vera</i> L.	Hasta 1 m	Mediterráneo	Herbácea
Malvales	Cistaceae	<i>Cistus L.</i>	Hasta 2,5 m	Europa	Arbusto

Orden	Familia	Especie	Tamaño	Origen	Tipo de planta
Brassicales	Brassicaceae	<i>Brassica oleracea</i> subsp. <i>Capitata</i> (L.) Metzg.	40-60 cm	Europa	Herbácea
Brassicales	Brassicaceae	<i>Raphanus sativus</i> L	20-100 cm	Eurasia	Herbácea
Asterales	Asteraceae	<i>Chromolaena odorata</i> (L.)	Hasta 2.5 m	América tropical	Arbusto
Caryophyllales	Aizoaceae	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Hasta 30cm	América, Asia y África	Herbácea
Fabales	Fabaceae	<i>Glycine max</i>	20cm-1m	China	Leguminosas
Fabales	Fabaceae	<i>Sarcotheca celebica</i>	17 cm	China	Leguminosas

Orden	Familia	Especie	Tamaño	Origen	Tipo de planta
Fabales	Fabaceae	<i>Melastoma malabathricum</i>	0,5-2m	China	Leguminosas
Fabales	Fabaceae	<i>Lupinus albus L.</i>	0,60-1,50 m	Europa, Asia y África.	Leguminosas
Caryophyllales	Amaranthaceae	<i>Atriplex lentiformis</i>	0.15 a 2 m	América del Norte	Árborea
Poales	Poaceae	<i>Zea mays</i> <i>Sesbania</i>	60-80 cm	Mesoamérica	Herbácea
Fabales	Fabaceae	<i>Medicago sativa L.</i>	30 - 60 cm	Persia	Herbácea
Fabales	Fabaceae	<i>Brassica juncea L</i>	30 - 130cm	Suecia	Herbácea
Malpighiales	Euphorbiaceae	<i>Jatropha curcas</i>	1-5m	Mesoamérica	Árborea

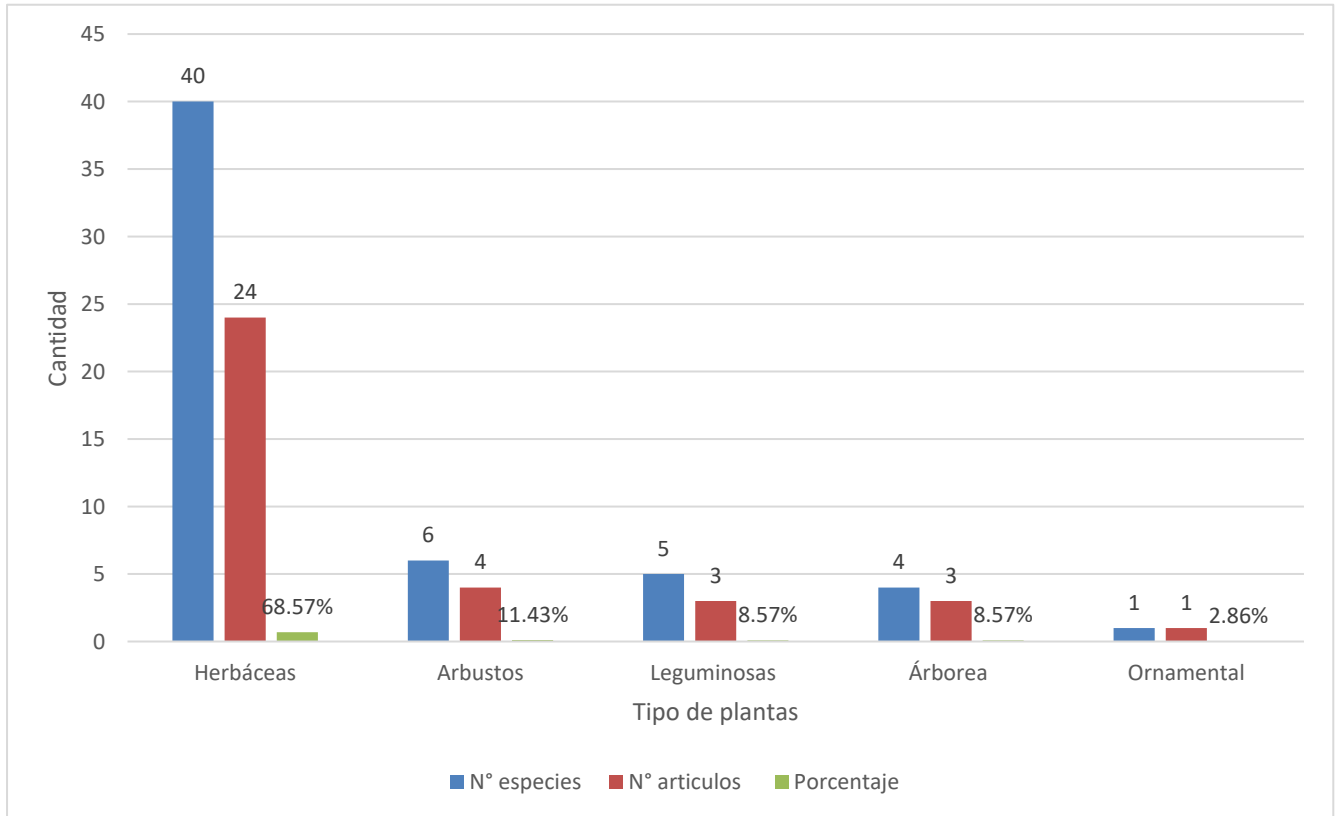
Orden	Familia	Especie	Tamaño	Origen	Tipo de planta
Brassicales	Brassicaceae	<i>Brassica Napus</i> <i>L.</i>	30-150 cm	Mexico	Herbácea
Zingiberales	Heliconiaceae	<i>Heliconia</i> <i>Psittacorum.</i>	Hasta 3m	Centroamerica y Sudamerica	Ornamental
Asterales	Asteraceae	<i>Ambrosia</i> <i>ambrosioides</i>	1-2m	México y Arizona	Herbácea
Geraniales	Geraniaceae	<i>Pelargonium</i> <i>zonale</i>	30 - 40cm	Sudáfrica	Herbácea
Poales	Poaceae	<i>Calamagrostis</i> <i>recta (Kunth)</i> <i>Trin. Ex Steud</i>	4 mm		Herbácea

<b>Orden</b>	<b>Familia</b>	<b>Especie</b>	<b>Tamaño</b>	<b>Origen</b>	<b>Tipo de planta</b>
Poales	Poaceae	<i>Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf</i>	7m	Cordillera de los Andes, norte de Argentina, de Bolivia, Perú	Herbácea
Poales	Poaceae	<i>Festuca glyceriantha Pilg</i>	4mm		Herbácea
Fabales	Leguminosae	<i>Acacia Saligna</i>	4-5 m	Sureste de Australia	Leguminosas
Malvales	Malvaceae	<i>Fuertesimalva echinata</i>	8cm; 15	México y Sudamérica	Herbácea
Rosales	Urticaceae	<i>Urtica Urens</i>	50cm	Europa	Herbácea
Cyperales	Poaceae	<i>Stipa Ichu</i>	30 a 60 cm	Guatemala, México	Herbácea

Orden	Familia	Especie	Tamaño	Origen	Tipo de planta
Malpighiales	Euphorbiaceae	<i>Jatropha curcas L.</i>	3-5m	Mesoamerica	Herbácea
Alistamales	Araceae	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	60-100cm	Sudáfrica	Herbácea
Fabáceas	Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i>	9.5 m	México	Árborea
Fabáceas	Fabaceae	<i>Schinus molle</i>	15 m	México	Árborea

**Figura 2**

*Cantidad de especies por tipo de planta identificadas en los artículos de investigación*



En la Figura 2 se puede observar que las plantas herbáceas son las más utilizadas para estudios de fitorremediación, ello se debe a la relación con la utilidad del cultivo, ya que estas plantas al no ser de consumo directo de la población, no existe competencia directa con otras actividades y son una buena opción para aplicaciones tecnológicas en la recuperación de suelos.

**Objetivo específico 2: Determinar la eficiencia de los mecanismos de fitorremediación que usan las especies vegetales para tratar suelos contaminados con metales pesados.**

Los mecanismos más empleados de acuerdo a la información comparativa presentada por los autores de cada una de las investigaciones respecto a sus resultados en su proceso experimental se detallarán en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Mecanismos de fitorremediación de las especies vegetales identificadas*

<b>Especies vegetales</b>	<b>Contaminante tratado</b>	<b>Factor de traslocación</b>	<b>Mecanismo de fitorremediación</b>
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Cd, Pb y Zn	>1	Fitoextracción
<i>Dahlia</i>	Cd, Pb y Zn	< 1	Fitoestabilización
<i>Helianthus annuus L</i>	As,Cd,Cu, Fe, Mn, Pb y Zn	>1	Fitoextracción
<i>Vachellia campechiana</i>	Pb,Cr, Cu	≥1	Fitoextracción
<i>Crotalaria pumila</i>	Cu	>1	
<i>Beta vulgaris L.</i>	Pb, Cr, Cd, Ni, Cu y Zn	< 1	Fitoestabilización
<i>Lolium perenne L.</i>			
<i>Pasto vetiver</i>	<i>Cd, Cu y Zn</i>	>1	Fitoextracción
<i>Festuca alta</i>		< 1	Fitoestabilización
<i>Artemisia capillaris</i>	Pb	< 1	Fitoestabilización
<i>Plantago asiatica L</i>			



Especies vegetales	Contaminante tratado	Factor de traslocación	Mecanismo de fitorremediación
<i>Taraxacum mongolicum</i>			
<i>Medicago sativa</i>			
<i>Mentha arvensis</i>	Hg	< 1	Fitoestabilización
<i>Coincya monensis</i>	Zn	< 1	Fitoestabilización
<i>Ricinus communis L.</i>	Pb	>1	Fitoextracción
<i>Juncus arcticus</i>	Pb, As y Cd	>1	Fitoextracción
<i>Urtica dioica</i>		>1	Fitoextracción
<i>Sphagneticola trilobata</i>	Cd	< 1	Fitoestabilización
<i>Cucumis sativus</i>	Cr	< 1	Fitoestabilización
<i>Gynerium sagittatum</i>	Hg	>1	Fitoextracción
<i>Lupinus ballianus</i>	Pb , Zn y Cd	>1	Fitovolatilización y Fitoextracción
<i>Urtica urens L.</i>			
<i>Fuertesimalva echinata</i>			
<i>Solanum nitidum Ruiz &amp; Pav.</i>			
<i>Brassica rapa</i>			
<i>Lavandula vera L.</i>	Pb, Cd y Zn	>1	Fitoextracción

Especies vegetales	Contaminante tratado	Factor de traslocación	Mecanismo de fitorremediación
<i>Cistus L.</i> ( <i>C. monspeliensis</i> , <i>C. laurifolius</i> , <i>C. ladanifer</i> , <i>C. psilosepalus</i> y <i>C. salviifolius</i> )	Fe, Cu, Mn, Zn Cd, Ni, Pb y As	< 1	Fitoestabilización
<i>Brassica oleracea</i> subsp. <i>Capitata</i> (L.) Metzg.	Pb y Cd	>1	Fitoextracción
<i>Raphanus sativus</i> L.		< 1	Fitoestabilización
<i>Chromolaena odorata</i> (L.)	Mn, Cu, Cd y Zn	>1	Fitoextracción
<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Cd, Cu	>1	Fitoextracción
<i>Glycine max</i>	Ni	>1	Fitoextracción
<i>Sarcotheca celebica</i>	Ni	>1	Fitoextracción
<i>Melastoma malabathricum</i>	Ni	>1	Fitoextracción
<i>Lupinus albus</i> L.	Cd, Ni, Zn, Cu	>1	Fitoextracción
<i>Atriplex lentiformis</i>	Cd	>1	Fitoextracción
<i>Zea mays</i> <i>Sesbania</i>	Pb, Cd	>1	Fitoextracción
<i>Medicago sativa</i> L.	Cd	<1	Fitoestabilización
<i>Brassica juncea</i> L.	Cd	<1	Fitoestabilización

<b>Especies vegetales</b>	<b>Contaminante tratado</b>	<b>Factor de traslocación</b>	<b>Mecanismo de fitorremediación</b>
<i>Jatropha curcas</i>	Hg, Cu	<1	Fitoestimulación
<i>Brassica Napus L.</i>	Pb, Cd, Zn	<1	Fitoestabilización
<i>Heliconia Psittacorum.</i>	Cd (II), Cr (VI), Pb (II) y Hg(II)	>1	Fitoextracción
<i>Ambrosia ambrosioides</i>	Cd, Cu, Pb	>1	Fitoextracción
<i>Pelargonium zonale</i>	As, Cd, Cu	>1	Fitoextracción
<i>Calamagrostis recta (Kunth) Trin. Ex Steud</i>	Cd, Cu	<1	Fitoestabilización
<i>Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf</i>	Ni, Pb	<1	Fitoestabilización
<i>Festuca glyceriantha Pilg</i>	Zn	<1	Fitoestabilización
<i>Acacia Saligna</i>	Cr	<1	Fitoestabilización
<i>Fuertesimalva echinata</i>	Pb	>1	Fitoextracción
<i>Urtica Urens</i>	Cd	>1	Fitoextracción
<i>Stipa Ichu</i>	Cd	>1	Fitoextracción
<i>Jatropa curcas L.</i>	Hg, Cu	<1	Fitoestimulación

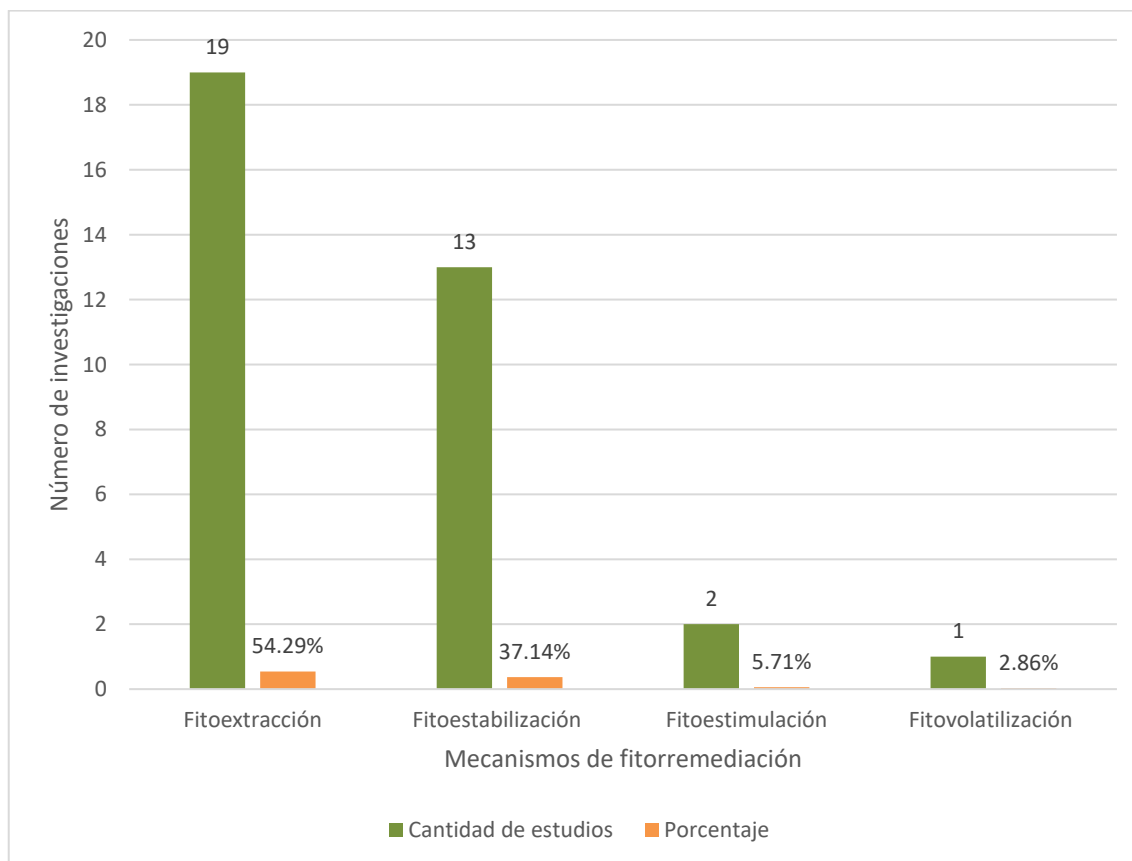
<b>Especies vegetales</b>	<b>Contaminante tratado</b>	<b>Factor de traslocación</b>	<b>Mecanismo de fitorremediación</b>
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Cr	<1	Fitoestabilización
<i>Acacia macracantha</i>	Sr, Tl, Hg	>1	Fitoextracción
<i>Schinus molle</i>	Sr, Tl, Hg	>1	Fitoextracción

Nota: El Factor de Translocación (FT) > 1 indica gran capacidad de transportar metales de la raíz a la parte aérea, característico de una planta hiperacumuladora. Cuando el FT < 1 sugiere que el metal es retenido principalmente en las raíces y puede usarse para fitoestabilización.

En la Tabla 6 se observa los diferentes mecanismos de fitorremediación utilizados en los estudios para la remediación de suelos contaminados por metales pesados, donde la fitoextracción resulta ser la tecnología más reportada en los últimos años. Al tener un Factor de translocación >1 favorece que los contaminantes sean absorbidos por la raíz y se movilicen hacia diferentes partes cultivables de la planta, lo cual facilita la eliminación de los metales pesados.

**Figura 3**

*Mecanismos de Fitorremediación más empleados en los estudios consultados de tratamiento de suelos con metales pesados*



Esta tendencia denota que la fitoextracción resulta ser muy efectiva, por la gran capacidad que presentan algunas plantas para acumular metales en la biomasa cosechable y ser acumuladoras de elevadas concentraciones de metales.

La estrategia de esta técnica es la de ir removiendo el material vegetativo de las plantas como ramas, hojas que contendrán el contaminante de esta manera se puede retirar progresivamente el metal del suelo (Ríos et al. ,2019).

**Objetivo específico 3: Analizar la cantidad de absorción de metales pesados de acuerdo a las especies vegetales identificadas.**

**Tabla 7**

*Cantidad de absorción de metales pesados en relación con la especie utilizada*

<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
<i>Cosmos bipinnatus</i>	Cd	57.63 mg/kg	Ex situ
	Pb	737.50 mg/kg	
	Zn	70.43 mg/kg	
<i>Dahlia</i>	Cd	75.83 mg/Kg	
	Pb	778.33 mg/Kg	
	Zn	134.91 mg/Kg	
<i>Helianthus annuus L.</i>	Sb	2,840 mg/Kg	In situ
	As	11,16 mg/Kg	
	Cd	2,176 mg/Kg	
	Cu	22,28 mg/Kg	
	Cr	2,508 mg/Kg	
	Fe	3370 mg/Kg	
	Mn	162,0 mg/Kg	
	Pb	28,33 mg/Kg	
Zn	276,9 mg/Kg		
<i>Vachellia campechiana</i>	Cr	0.83 mg/kg	Ex situ
	Cu	0.37 mg/kg	
	Pb	4.23 mg/kg	

<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
<i>Crotalaria pumila</i>	Cu	0.46 mg/kg	
<i>Beta vulgaris L.</i>	Pb	681.66 mg/Kg	Ex situ
	Cr	350.16 mg/Kg	
	Cu	90.75 mg/Kg	
	Ni	48.75 mg/Kg	
	Cd	46 mg/Kg	
	Zn	34.78 mg/Kg	
<i>Lolium perenne L.</i>	Pb	467.5 mg/Kg	
	Cr	257.125 mg/Kg	
	Cu	40.6 mg/Kg	
	Ni	55.75 mg/Kg	
	Cd	64.5 mg/Kg	
	Zn	65.05 mg/Kg	
<i>Pasto vetiver</i>	<i>Cd</i>	215 mg/Kg	Ex situ
	<i>Cu</i>	47 mg/Kg	
	<i>Zn</i>	166 mg/Kg	
<i>Festuca alta</i>	<i>Cd</i>	63,5 mg/Kg	
	<i>Cu</i>	20.4 mg/Kg	
	<i>Zn</i>	19.6 mg/Kg	
<i>Artemisia capillaris</i>	Pb	1768 mg/kg	Ex situ

<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
<i>Taraxacum mongolicum</i>		2284 mg/kg	
<i>Medicago sativa</i>		876 mg/kg	
<i>Plantago asiatica L.</i>		383 mg/kg	
<i>Mentha arvensis</i>	Hg	1816.54 mg/kg	Ex situ
<i>Coincya monensis</i>	Zn	3391.31 mg/kg	Ex situ
<i>Ricinus communis L.</i>	Pb	1220 mg/kg	Ex situ
<i>Juncus arcticus</i>	Pb	140.95 mg/kg	Ex situ
	As	430.33 mg/kg	
	Cd	11.03 mg/kg	
<i>Urtica dioica</i>	Pb	97.16 mg/kg	
	As	278.32 mg/kg	
	Cd	4.6 mg/kg	
<i>Sphagneticola trilobata</i>	Cd	1306.16 mg/kg	Ex situ



<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
<i>Cucumis sativus</i>	Cr	87,19 mg/kg	Ex situ
<i>Gynerium sagittatum</i>	Hg	55.98mg/kg	
<i>Lupinus ballianus</i>	Pb , Zn y Cd	Pb: 992.8 mg/kg Zn: 763.6 mg/kg Cd: 287.3 mg/kg	Ex situ
<i>Urtica urens L.</i>		Pb:854.5 mg/kg Zn:452.8 mg/kg Cd:8.9 mg/kg	
<i>Fuertesimalva echinata</i>		Pb: 2015.1 mg/kg Zn: 1024.2 mg/kg Cd: 11 mg/kg	
<i>Solanum nitidum</i>		Pb:576 mg/kg Zn:431.4 mg/kg Cd:8.7 mg/kg	

Especie empleada	Metal	Cantidad de absorción	In situ/ Ex situ
<i>Brassica rapa</i> L.		Pb: 758.8 mg/kg Zn: 550 mg/kg Cd:4.9 mg/kg	
<i>Lavandula vera</i> L.	Pb Cd Zn	1566.9 mg/kg 160.9 mg/kg 1755.9 mg/kg	
<i>Cistus L.</i> ( <i>C. monspeliensis</i> )	Fe, Cu, Mn, Zn Cd, Ni, Pb y As	Fe:5457 mg/kg Cu: 26 mg/kg Mn:283 mg/kg Zn:3108 mg/kg Cd:26 mg/kg Ni: 3,3 mg/kg Pb: 525 mg/kg As: 39 mg/kg	Ex situ
<i>C. psilosepalus</i>		Fe:6535 mg/kg Cu:37 mg/kg Mn:312 mg/kg Zn: 2508 mg/kg Cd:53 mg/kg Ni:2,7 mg/kg Pb:767 mg/kg As: 39 mg/kg	

<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
<i>C. laurifolius,</i>		Fe: 4288 mg/kg Cu:22 mg/kg Mn:308 mg/kg Zn: 2657 mg/kg Cd:30 mg/kg Ni:2,5 mg/kg Pb:459mg/kg As: 26 mg/kg	
<i>C. salviifolius)</i>		Fe: 2299 mg/kg Cu:13 mg/kg Mn:194 mg/kg Zn: 2081 mg/kg Cd:29 mg/Kg Ni:1.8 mg/Kg Pb:260 mg/Kg As: 15 mg/Kg	
<i>Brassica</i>	Pb	127.75 mg/Kg	Ex situ
<i>oleracea</i> subsp. <i>Capitata (L.) Metzg.</i>	Cd	180 mg/Kg	
<i>Raphanus</i>	Pb	112 mg/Kg	
<i>sativus L</i>	Cd	125.5 mg/Kg	
<i>Chromolaena</i>	Mn	11.78 mg/Kg	Ex situ
<i>odorata (L.)</i>	Cu	0.67 mg/Kg	
	Cd	5.23 mg/Kg	
	Zn	6.54 mg/Kg	
<i>Sesuvium</i>	Cd	20mg/Kg	Ex situ
<i>portulacastrum</i>	Cu	5mg/Kg	
<i>Glycine max</i>	Ni	8.48mg/Kg	Ex situ

<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
<i>Sarcotheca celebica</i>	Ni	8.95mg/Kg	Ex situ
<i>Melastoma malabathricum</i>	Ni	0.82mg/Kg	Ex situ
<i>Lupinus albus</i> <i>L.</i>	Cd	1.7mg/Kg	Ex situ
	Ni	53.6mg/Kg	
	Zn	459.6mg/Kg	
	Cu	176.21mg/Kg	
<i>Atriplex lentiformis</i>	Cd	400mg/Kg	In situ
<i>Zea mays</i> <i>Sesbania</i>	Pb	5.2mg/Kg	In situ
	Cd		
<i>Medicago sativa</i> L.	Cd	7.4mg/Kg	Ex situ
		308.74mg/Kg	
<i>Brassica juncea</i> L	Cd	356.46mg/Kg	Ex situ
<i>Jatropha curcas</i>	Hg	665mg/Kg	In situ
	Cu		
<i>Brassica Napus</i> <i>L.</i>	Pb Cd Zn	400mg/Kg	Ex situ
		59mg/Kg	
		144mg/Kg	
<i>Heliconia Psittacorum.</i>	Cd (II) Cr (VI) Pb (II) Hg(II)	302mg/Kg	In situ
		130mg/Kg	
		2.5mg/Kg	

<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
		0.59mg/Kg	
		78.4mg/Kg	
<i>Ambrosia</i>	Cd	15.827mg/Kg	Ex situ
<i>ambrosioides</i>	Cu	13.03mg/Kg	
	Pb	1.97mg/Kg	
<i>Pelargonium</i>	As	39.5mg/Kg	In situ
<i>zonale</i>	Cd	21.4mg/Kg	
	Cu	0.011mg/Kg	
<i>Calamagrostis</i>			In situ
<i>recta (Kunth) Trin. Ex</i>	Cd	46.3mg/Kg	
<i>Steud</i>	Cu	43.5mg/Kg	
<i>Cortaderia</i>	Ni	51mg/Kg	In situ
<i>jubata (Lemoine) Stapf</i>	Pb	28mg/Kg	
<i>Festuca</i>	Zn	29.4mg/Kg	In situ
<i>glyceriantha Pilg</i>			
<i>Acacia Saligna</i>	Cr	34.8mg/Kg	Ex situ
<i>Fuertesimalva</i>	Pb	2015.1mg/Kg	Ex situ
<i>echinata</i>			
<i>Urtica Urens</i>	Cu	75.47 mg/Kg	Ex situ
<i>Stipa Ichu</i>	Zn	131 mg/Kg	Ex situ

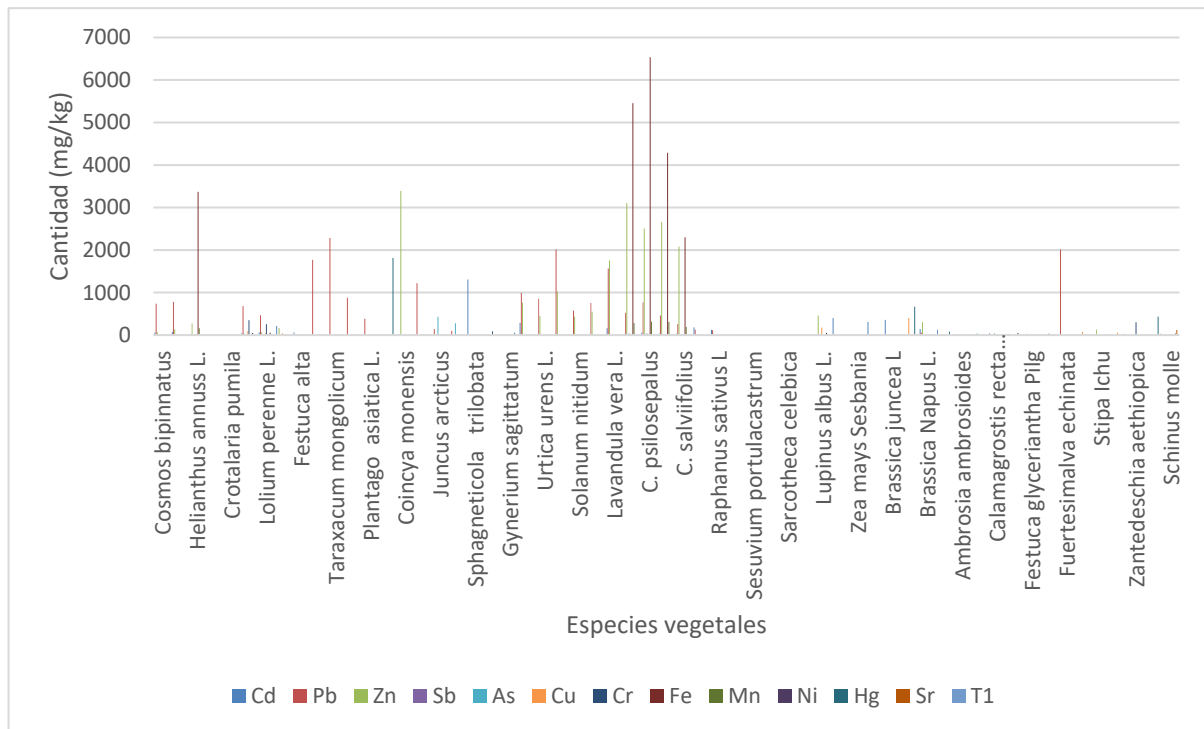
<b>Especie empleada</b>	<b>Metal</b>	<b>Cantidad de absorción</b>	<b>In situ/ Ex situ</b>
<i>Jatropha curcas</i> <i>L.</i>	Hg	27.3mg/Kg	In situ
	Cu	58mg/Kg	
<i>Zantedeschia</i> <i>aethiopica</i>	Cr	300mg/Kg	In situ
<i>Acacia</i> <i>macracantha</i>	Sr	7.5mg/Kg	Ex situ
	Tl	30,24mg/Kg	
	Hg	435.13mg/Kg	
<i>Schinus molle</i>	Sr	122mg/Kg	Ex situ
	Tl	1.87mg/Kg	
	Hg	38.53mg/Kg	

Nota: El termino In situ hace referencia a la evaluación de las especies en su lugar de origen. Mientras que Ex situ indica la evaluación de las especies vegetales a escala laboratorio

En la tabla 7 se visualiza las concentraciones de los metales por cada planta estudiada, donde se detectó que la mayor acumulación se da en la raíz , posiblemente estas especies fueron seleccionadas en los trabajos de investigación por tener una alta biomasa, por su capacidad de acumular grandes concentraciones de contaminantes y por su tolerancia a estas. Sin embargo, se reportan que en la mayoría de los artículos revisados son ex situ, esto implicaría que las condiciones climáticas pueden ser un factor importante para lograr el éxito en la eliminación de los metales.

**Figura 4**

*Principales especies vegetales identificadas según la cantidad de absorción de metales pesados (mg/kg)*



El plomo, zinc y el cadmio son los metales pesados más estudiados en los artículos seleccionados y los que presentan mayor cantidad (mg/kg) de absorción de metales pesados en la planta. Entre las especies que resaltan encontramos a las siguientes: *Sphagneticola trilobata* obtuvo la mayor concentración de Cd (1306.16 mg/kg) en las diferentes estructuras de la planta, *Coicya monensis* acumuló 3391.31 mg/kg de Zn en la raíz y *Taraxacum mongolicum* tuvo una absorción de 2284 mg/kg de Pb. El interés de los investigadores por indagar con mayor frecuencia estos elementos para removerlos de los suelos contaminados posiblemente está relacionado con el gran nivel de toxicidad que estos representan para el ser humano (Kumar, Smita y Flores, 2017).

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

En este apartado se consideran dos aspectos diferentes. Por un lado, los resultados obtenidos del análisis bibliográfico mencionados en el capítulo de metodología y por el otro los diferentes estudios relacionados a nuestra investigación.

De acuerdo a los resultados, se desarrolla el contenido de 35 artículos analizados sobre recuperación de suelos con diferentes técnicas de fitorremediación. Se hace especial énfasis en la cantidad de especies vegetales que tienen la capacidad de fitorremediar suelos contaminados por metales pesados donde se obtiene 56 especies, que fueron estudiados entre los años 2011 al año 2022. Esta apreciación tiene relación con la investigación realizada por el autor Cunningham (1995) titulado: “Fitorremediación de suelos contaminados” en donde explica que algunas zonas contaminadas con metales son tratadas con otras técnicas, como la lixiviación ácida, separación física del contaminante o procesos electroquímicos que tienen costes muy elevados. Por ello, se busca utilizar técnicas de remediación biológicas por medio de especies que son menos invasivas y costosas, por ende, la elección de una estrategia de remediación dependerá de la naturaleza de los contaminantes. Por lo tanto, la presente investigación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de suelos contaminados a comparación de las técnicas tradicionales que son de alto costo y de limitada eficiencia, ya que constituye diversas técnicas de remediación, pero se concreta en el uso de especies vegetales, donde las condiciones del suelo y la cubierta vegetal se manipulan para disminuir el peligro ambiental; y descontaminación, donde las plantas y su microflora se utilizan para eliminar el contaminante del suelo.



Por otro lado se caracteriza las especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, de acuerdo a los resultados cada una de ellas tienen la capacidad de captar diferentes metales pesados, se observa que las plantas herbáceas representan un 68.57%, siendo las plantas más utilizadas para estudios de fitorremediación, dicha tendencia se relaciona con la utilidad del cultivo, ya que estas plantas al no ser de consumo directo de la población, no existe competencia directa con otras actividades como la alimentación y son una buena opción para aplicaciones tecnológicas para recuperación de suelos. Esta apreciación tiene semejanza con la investigación realizada por Peña y Beltrán (2017) titulada: “Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus L.* en la estación experimental el Mantaro” tiene como resultados que hay mayor tendencia del empleo de plantas herbáceas con un total de 21 investigaciones, las cuales se desarrollaron en distintas partes del mundo. Donde las técnicas que se emplearon fueron la fitoextracción, fitoestabilización y fitovolatilización; trabajando tanto de forma Ex situ e In situ para remediar suelos contaminados con metales pesados. Dentro de las especies más eficientes en el proceso de fitorremediación aplicando la técnica de fitoextracción Ex situ se tiene a *Pteris vittata* (Helecho) en la remoción de arsénico (35%-45 días), de igual manera, la especie *Helianthus annuus L.* tratando el mismo contaminante y empleando la misma técnica logro (54,46% de remoción - 2 meses) trabajando In situ, encontrándose que la captación de metales la realiza a nivel de raíz. Por lo tanto, se considera que las plantas Herbáceas pueden inmovilizar los metales pesados en los suelos a través de adsorción por la raíz, precipitación, o reducción del contaminante quiere decir que hace el metal menos tóxico, no que lo elimina completamente solo que lo limita.

Por otro lado, se determina los mecanismos de fitorremediación que usan las especies vegetales para tratar suelos contaminados con metales pesados. En base a los resultados en la figura 3 se presenta la distribución del número de investigaciones por tipo de técnica de fitorremediación, dentro de las cuales se encuentran: Fitoextracción con 54.29% de 19 estudios, Fitoestabilización con 37.14% de 13 estudios, Fitoestimulación con 5.71% de 2 estudios y Fitovolatilización con 2.86% de 1 estudio. Siendo notable el empleo de la técnica de Fitoextracción para tratar problemas de contaminación de suelos, esta tendencia se explica debido a que resulta ser muy efectiva ,ya que, algunas plantas presentan gran capacidad de absorber los metales pesados por las raíces y transportarlas a las partes aéreas , al acumularse y concentrarse en la biomasa vegetal, debe ser cosechada para que el metal sea eliminado del sistema. Otra característica de esta técnica es que las especies acumuladoras se caracterizan por ser resistentes a elevadas concentraciones de metales. La estrategia de esta técnica es la de ir removiendo el material vegetativo de las plantas como ramas, hojas que contendrán el contaminante de esta manera se puede retirar progresivamente el metal del suelo (Ríos et al. ,2019). Sin embargo, estas pueden presentar tasas pausadas de crecimiento, así como baja producción de hojas, tallos y raíces por lo que el tiempo que dure la descontaminación del suelo puede ser prolongado. Por ello, algunos autores plantean la combinación de dicha técnica con la reparación de suelos con residuos ganaderos, biochares y hidrochares para impulsar los resultados, maximizando la reducción de los metales presentes en suelos (Salazar, 2016; Cifuentes, 2016). Esta percepción tiene una relación lejana con la investigación realizada por el autor Delgadillo (2011) en su investigación titulada: “Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación” donde determina que otra de las técnicas más empleadas es la fitoestabilización, la cual se basa en

la capacidad de las plantas para retener elementos en el sistema radicular, y que no se realice el transporte de estos elementos desde la raíz hacia tejidos aéreos de la planta, lo cual podría suponer un riesgo de ingestión y la acumulación de estos contaminantes a lo largo de la cadena trófica. Por lo general para esta técnica se emplean especies arbóreas y se usan en procesos de reforestación donde la capacidad que tienen algunas plantas para concentrar y retener los metales en las raíces, permite que estos queden atrapados y confinados, a su vez se obtiene una mejora en el paisaje, y se puede recuperar zonas afectadas para fines recreativos. Se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial. En tanto, se recomienda la adición previa de enmiendas para inmovilizar los elementos traza del suelo, añadiendo aquellas enmiendas que modifiquen el pH de manera que se favorezca la precipitación/inmovilización de los contaminantes. En este punto si bien es cierto, cada mecanismo es diferente, pero tienen relación para cumplir su objetivo ya que la fitoextracción trasloca contaminantes en distintas partes de la planta lo que favorece su extracción y eliminación de las zonas afectadas y por otro lado la fitoestabilización ayuda a los procesos de fitoextracción inmovilizando metales pesados que se encuentran en el suelo, evitando la migración de estos al ecosistema y reduciendo la probabilidad de que estos metales entren en la cadena alimentaria y que puedan ser extraídos por los vegetales fitoextractores.

De acuerdo al análisis de la cantidad de absorción de metales pesados por las especies vegetales identificadas se obtuvo como resultado que el plomo, el zinc y el cadmio son los metales pesados más estudiados en los artículos seleccionados y los que presentan mayor cantidad de absorción. El interés de los investigadores por indagar con mayor frecuencia estos elementos para removerlos de los suelos contaminados posiblemente está relacionado

con el gran nivel de toxicidad que estos representan para el ser humano (Kumar, Smita y Flores, 2017). Además, se observa que dos especies con mayor acumulación de metales en su estructura más resaltantes en los artículos estudiados con relación al plomo son las siguientes: *Taraxacum mongolicum* que logró absorber un 2284 mg/kg y *Fuertesimalva echinata* con 2015.1 mg/kg. Con relación al Cadmio las especies vegetales denominadas *Sphagneticola trilobata* y *Atriplex lentiformis* acumularon 1306.16 mg/kg y 400 mg/kg respectivamente.. Esta apreciación tiene relación con la investigación realizada por el autor Jara (2014) en su investigación titulada: “Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas en suelos contaminados con metales pesados” donde obtuvo información de especies exitosas en la acumulación de plomo y cadmio a nivel de raíz, trabajando Ex situ, durante 12 meses, mediante la técnica de fitoextracción (*Solanum nitidum* en 68,5%; *Brasica rapa* en 47,9%; *Fuertesimalva echinata* en 59,1%; *Urtica urens* en 50,1% y *Lupinus ballianus* en 67,9%). Por ello se considera que tanto el plomo como el cadmio son metales altamente tóxicos los cuales podemos limitarlos con las diferentes técnicas de fitorremediación empleando las especies vegetales correspondientes que tienen un alto porcentaje de remoción de estos, en el suelo contaminado.

#### **4.1.1 Implicancias**

- **Teórica**

El presente trabajo de investigación aportó en recopilar información actualizada, encontrada en las bases de datos de acceso abierto para comparar las especies vegetales con capacidad fitorremediadora usadas en las diferentes técnicas de fitorremediación; que resultan efectivas para emplearlas en diversos tipos de suelos contaminados por metales pesados.

Asimismo, dar a conocer las ventajas que presenta la fitorremediación por ser una técnica económica y amigable con el medio ambiente (Liang et al, 2017).

- **Metodológica**

El presente trabajo reveló que en los estudios seleccionados el método más empleado fue el experimental a escala laboratorio, trabajados ex situ, donde las especies se utilizan en proyectos de fitorremediación debido a la capacidad de bioacumulación y translocación hacia el tejido foliar de las plantas. Lo que abre la posibilidad de caracterizar especies que habiten en ambientes contaminados por estos elementos y seleccionar las especies con las características macro y micro-morfológicas que no se vean afectados por las condiciones climatológicas.

En cuanto a los procedimientos en las diferentes investigaciones estudiadas se encuentra que las especies vegetales actúan con mayor eficiencia en el mecanismo de fitoextracción; que emplean diferentes especies para tratar de remediar grandes extensiones de suelo afectado por accidentes ambientales en proyectos de recuperación de suelos a largo plazo.

- **Prácticas**

Según los resultados la información obtenida de este estudio será indispensable, ya que servirá como una guía en el cual se obtendrá la comparación de ciertas especies vegetales con capacidad fitorremediadora para tratar suelos contaminados con metales pesados, ya que otros investigadores que deseen desarrollar con mayor profundidad el tema de estudio se basarán en la presente investigación para su aplicación.

#### 4.1.2 Limitaciones

En nuestra investigación se encontró más información en otros Países, donde el tipo de suelos y condiciones climáticas son muy diferentes a las que podemos analizar en el Perú.

Un gran porcentaje de estudios revisados se hicieron Ex situ, eso quiere decir que se realizaron a escala de laboratorio, la cual puede ocasionar una variación de porcentaje al realizarlo en el mismo sitio contaminado, debido a las condiciones climáticas.

Se tuvo dificultad en la comparación de la capacidad de absorción en las especies vegetales ya que, con la necesidad en recopilar y resumir la información conseguida en la base de información de acceso abierto, se encontró diferentes metodologías de fitorremediación existentes usadas para tratar suelos contaminados por metales pesados.

La flora de zonas tropicales o andinas han sido poco estudiadas por la gran diversidad y abundancia de depósitos minerales metálicos de diferentes regiones; existen enormes posibilidades de descubrir nuevas plantas o especies tolerantes a metales pesados.

De acuerdo a los diferentes trabajos de investigación nos limita el excesivo tiempo requerido para la recuperación del suelo. Ya que se estima que la descontaminación satisfactoria de suelos moderadamente contaminados requiere una eliminación de 200-1.000 kg de metal por hectárea y por año en un período de veinte años (Cunningham., 1995).

Posiblemente exista una disminución de artículos científicos y/o publicaciones en el último año debido a la coyuntura por la pandemia del coronavirus (COVID-19).

## 4.2 Conclusiones

### Conclusión general

En la presente investigación se realizó la comparación de especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, donde se concluyó que la absorción de contaminantes por las plantas es un mecanismo natural que estas poseen y ciertas especies resultan ser más hiperacumuladoras que otras, la elección de ellas dependerá del tiempo que se plantea invertir en el tratamiento del sitio, como es el caso de especies arbóreas, se debe de considerar periodos de fitorremediación más largos, debido a que el desarrollo vegetativo de estos es lento en comparación de una planta herbácea u hortaliza. También, se debe considerar el metal que se desea extraer, de la concentración del contaminante en el suelo, la disponibilidad de la especie en el medio, donde las especies vegetales nativas de la zona a tratar serían las más adecuadas por tener características adaptativas propias del lugar. Se consideró que, la fitorremediación es una buena opción para recobrar suelos contaminados porque los vegetales juegan un rol muy importante al absorber estos metales pesados teniendo en cuenta componentes como el pH y la enmienda de materia orgánica (MO).

### Conclusión específica 1:

En la presente investigación se identificó a las principales especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, donde se determinó que representa una elección sostenible y de bajo precio para la rehabilitación de suelos contaminados a comparación de las técnicas clásicas que son de elevado precio y de reducida eficiencia, debido a que constituye distintas técnicas de remediación, esto se concreta en la utilización de 56 especies vegetales según lo estudiado,

donde las condiciones del suelo y la cubierta vegetal se manipulan para reducir el riesgo ambiental; y descontaminación, donde las plantas y su microflora se usan para borrar el contaminante del suelo.

En esta tesis se caracterizó a las especies vegetales con capacidad fitorremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados, donde se determinó que las especies herbáceas, se muestran como la mejor elección para los procesos de fitoextracción por exponer propiedades como: incremento veloz, alta biomasa, raíces profundas y densas, retener enormes concentraciones de metales pesados en las partes aéreas de la planta, alta tolerancia a los efectos tóxicos de los metales pesados, y la función de poder adecuarse a distintas condiciones del medio ambiente de suelos contaminados, además ser resistente a patógenos y plagas, y no ser plantas destinadas a consumo humano.

### **Conclusión específica 2:**

En esta tesis se determinó los mecanismos de fitorremediación que usan las especies vegetales para tratar suelos contaminados con metales pesados dentro de los procesos de Fitorremediación se encontró 2 técnicas más resaltantes fitoextracción, pues trasloca contaminantes en diversas partes de la planta lo cual beneficia la sustracción y supresión de las regiones afectadas, por otro lado la técnica de fitoestabilización ayuda a los procesos de fitoextracción inmovilizando metales pesados presentes en el suelo, evitando su migración al ecosistema y disminuyendo la posibilidad de que dichos metales entren en la cadena alimentaria y que logren ser extraídos por los vegetales fitoextractores.



### Conclusión específica 3:

En la presente investigación se analizó la cantidad de absorción de metales pesados, donde se obtuvo que la máxima absorción de Pb fue registrada por la especie *Taraxacum mongolicum*, perteneciente a la familia Asteraceae, con un valor de 2284 mg/kg. Perteneciente a la misma familia, la especie que absorbió mayor cantidad de Cd fue *Sphagneticola trilobata* con un valor de 1306.16 mg/kg. Mientras que *Coincya monensis*, perteneciente a la familia Brassicaceae, concentró un total de 3391.31 mg/kg de zinc. Probablemente se debe a las condiciones de pH, materia orgánica, nitrógeno, conductividad eléctrica y otros factores a los que estuvieron expuestos. Asimismo, el concentrar grandes cantidades de metales resulta ser una característica de las plantas hiperacumuladoras, el cual las convierte en una buena opción para la fitoextracción. Asimismo, la extracción de los metales del suelo por parte de las plantas no genera ningún daño para la zona a tratar a diferencia de otras técnicas ya existentes y con costos elevados, que alteran la estructura del suelo; por el contrario, el sistema radicular de las plantas cubre el suelo químicamente y lo estabiliza frente a la erosión y la presencia de vegetación es estéticamente placentera. Sin embargo, se necesita un sistema radicular bien desarrollado que explore y limpie extensas áreas de suelo y que presenten una tasa de crecimiento elevada.

## REFERENCIAS

- Ackoff, R. (1953). *The design of social research*. Chicago: Universidad de Chicago.
- AMERICAN PSYCHOLOGICAL ASSOCIATION. (1983) *Publication manual of the American Psychological Association*. Washington, D.C.: American Psychological Association. Tercera edición.
- Almagro, L., Segura-Reinaldos, A. M., Pedreño, M. A., & Bernal, M. P. (2015). Tolerancia y acumulación de metales pesados y As en diferentes especies de *Cistus L.* *In Anales de Biología* (37) , 143-153.<http://dx.doi.org/10.6018/analesbio.37.16>
- Andina (2021). Áncash: identifican vegetales altoandinos capaces de descontaminar agua y suelos en nevados. Recuperado de <https://andina.pe/agencia/noticia-ancashidentifican-vegetales-altoandinos-capaces-descontaminar-agua-y-suelos-nevados-843512.aspx>
- Angelova, V. R., Grekov, D. F., Kisyov, V. K., & Ivanov, K. I. (2015). Potential of lavender (*Lavandula vera L.*) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering*, 9(5), 522-529.
- Angelova, V. R., Ivanova, R. I., Todorov, J. M. y Ivanov, K. I. (2017). Potential of rapeseed (*Brassica napus L.*) for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 18(2), 468-478.
- Barandiaran, A., & Cederstav, A. (2002). *La Oroya Cannot Wait*. Lima: Sociedad Peruana de Derecho Ambiental. Recuperado de [https://aida-americas.org/sites/default/files/featured\\_pubs/la\\_oroya\\_no\\_puede\\_esperar.pdf](https://aida-americas.org/sites/default/files/featured_pubs/la_oroya_no_puede_esperar.pdf)

- Bazán Galarreta, T. P., & Rojas Sánchez, D. (2018). Remoción de metales pesados con *juncus arcticus* y *urtica dioica* en un relave minero, Distrito Huamachuco-La Libertad. Recuperado de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33249>
- Becerra, A., Daga, C, Murialdo, R., Faggioli, V., Menoyo, E. y Salazar, J. (2021). Algas y Oyanobacteria presentes en la rizosfera de plantas acumuladoras de plomo. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 56(1), 3-16. <https://dx.doi.org/https://doi.org/110.31055/1851.2372.v56.n1.29317>
- Beltran, A., Erazo, C., Catagña, F. y Echeverria, M. (2019). Potencial de *Zantedeschia aethiopica* L. para la rehabilitación de suelos contaminados con cromo hexavalente en zonas alto andinas de Ecuador. *Acta Agronómica*, 68(2), 92-98.
- Bernal, F. (2014). Phyto-remediation in soils restoration: a general vision. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(2), 245-258.
- Carpena, R. O. y Bernal, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista Ecosistemas*, 16(2).
- Castillo, L (2005) Tema 5 Análisis documental. Recuperado de <https://www.uv.es/macas/T5.pdf>
- Chang, F. C., Ko, C. H., Tsai, M. J., Wang, Y. N., & Chung, C. Y. (2014). Phytoremediation of heavy metal contaminated soil by *Jatropha curcas*. *Ecotoxicology*, 23(10), 1969-1978.

- Chávez, L. (2014). Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2435/T01-C517-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=En%20el%20Per%C3%BA%2C%20la%20contaminaci%C3%B3n,el%20pa%C3%ADs%20desde%20tiempos%20ancestrales.&text=En%20esta%20ciudad%2C%20desde%201922,%3A%20cobre%2C%20zinc%20y%20plomo>
- Cifuentes Morales, P., & Novillo Logroño, F. (2017). Uso de plantas de pepinillo (*Cucumis sativus*) para fitorremediar suelos contaminados con cromo. *Química Central*, 5(1), 69–76. <https://doi.org/10.29166/quimica.v5i1.1220>
- 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. Universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Recuperado de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3339>
- Covarrubias, S. y Peña Cabriales, J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, (33), 7-21. <http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01>
- Cunningham, S.D., Berti, W.R. y Huang, J.W. (1995). Phytoremediation of contaminated soils. *Trends Biotechnol.* (13), 393- 397.

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J.

R. y Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612

Dushenkov, V., Kumar, P. N., Motto, H., y Raskin, I. (1995). Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environmental science & technology*, 29(5), 1239-1245.

Eissa, M. A., y Roshdy, N. M. K. (2018). Nitrogen fertilization: effect on Cd-phytoextraction by the halophytic plant quail bush [*Atriplex lentiformis* (Torr.) S. Wats]. *South African journal of botany*, 115, 126-131.

Feng J, Lin Y, Yang Y, Shen Q, Huang J, Wang S, Zhu X, Li Z.(2018). Tolerance and bioaccumulation of Cd and Cu in *Sesuvium portulacastrum*. *Ecotoxicol Environ Saf.*;147:306-312. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.08.056. Epub 2017 Sep 14. PMID: 28858703.

Fernández, S., Poschenrieder, C., Marcenò, C., Gallego, J. R., Jiménez-Gámez, D., Bueno, A., & Afif, E. (2017). Phytoremediation capability of native plant species living on Pb-Zn and Hg-As mining wastes in the Cantabrian range, north of Spain. *Journal of Geochemical Exploration*, 174, 10-20.<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.05.015>

Fumagalli, P., Comolli, R., Ferre, C., Ghiani, A., Gentili, R., y Citterio, S. (2014). The rotation of white lupin (*Lupinus albus* L.) with metal-accumulating plant crops: A strategy to increase the benefits of soil phytoremediation. *Journal of environmental management*, (145), 35-42.

- García, I., y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por Metales Pesados, En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Gascó, G. (2020). ¿Cómo utilizar plantas y estiércol para extraer minerales de los suelos contaminados? iresiduo. Recuperado de <https://iresiduo.com/blogs/gabriel-gasco-guerrero/como-utilizar-plantas-y-estiercol-extraer-minerales-suelos-contaminados>
- Ghadiri, S., Farpoor, M., & Hejazi Mehrizi, M. (2018). Phytoremediation of soils polluted by heavy metals using Vetiver grass and Tall Fescue. *Desert*, 23(1), 123-132. doi: 10.22059/jdesert.2018.66367
- Ghosh, M., y Singh, S. (2005). A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by-products. *Applied Ecology and Environmental Research*, 1- 18.
- González, L. (2020). Fitorremediación a escala piloto de suelos contaminados con mercurio y cobre usando *Jatropha curcas L.* en zona minera el Alacrán. [Tesis de maestría, Universidad de Cordova]. Repositorio institucional- Universidad de Cordova.
- Guerrero Padilla, A. M., & Hoyos Cerna, M. (2015). Bioacumulación de plomo y cadmio en Brassica oleracea en SUBSP. CAPITATA (L.) METZG. Y Raphanus. Recuperado de <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4344>
- Harvey P., Campanela B., Castro P., Harms H., Lichtfouse E., Schäffner A., Smrcek S., y Werck D. (2002). Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* (9), 29-47.
- Hurtado, J. (2012). Metodología de la investigación: guía para una comprensión holística de la ciencia (4a. ed.). Bogotá-Caracas: Ciea-Sypal y Quirón.

- Isern, M. T. I., & Soler, J. C. (1998). El uso de hipótesis en la investigación científica. *Atención primaria: Publicación oficial de la Sociedad Española de Familia y Comunitaria*, 21(3), 172-178.
- Jara, J. (2018). Desarrollo de una metodología de recuperación de suelos altamente contaminados con metales pesados utilizando remediación fisicoquímica y fitorremediación. [Tesis doctoral. Universidad de Andrés Bello]. Recuperado de [http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/7954/a122072\\_Jara\\_J\\_Desarrollo%20de%20una%20metodologia%20de%20recuperacion%20de\\_2018\\_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unab.cl/xmlui/bitstream/handle/ria/7954/a122072_Jara_J_Desarrollo%20de%20una%20metodologia%20de%20recuperacion%20de_2018_Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y) .
- Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145-154. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817> los jales de Huautla, Morelos. Recuperado de <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/1270> "
- Kumar, B., Smita, K., & Flores, L. C. (2017). Plant mediated detoxification of mercury and lead. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S2335-S2342.
- Kumar, P. N., Dushenkov, V., Motto, H., y Raskin, I. (1995). Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental science & technology*, 29(5), 1232-1238.
- Liang, L., Liu, W., Sun, Y., Huo, X., Li, S., & Zhou, Q. (2017). Phytoremediation of heavy metal contaminated saline soils using halophytes: current progress and future perspectives. *Environmental Reviews*, 25(3), 269-281.

- López, R., Vong, Y., Borges, R., y Olguín, E. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 69-83.
- Lu, N., Li, G., Sun, Y., Wei, Y., He, L., & Li, Y. (2021). Phytoremediation potential of four native plants in soils contaminated with Lead in a mining area. *Land*, 10(11), 1129. <https://doi.org/10.3390/land10111129>
- Madera-Parra C.A, Peña-Varón M.R, Peña S E.J y Lens J.P.N (2013). Phytoremediation of landfill leachate with *Colocasia esculenta*, *Gynerum sagittatum* and *Heliconia psittacorum* in constructed wetlands. *International journal of Phytoremediation*. DOI: 10.1080/15226514.2013.828014
- Madera-Parra C.A, Peña-Varón M.R, Peña S E.J y Lens J.P.N (2013). Phytoremediation of landfill leachate with *Colocasia esculenta*, *Gynerum sagittatum* and *Heliconia psittacorum* in constructed wetlands. *International journal of Phytoremediation*. DOI: 10.1080/15226514.2013.828014
- Manikandan, R., Sahi, S. V., & Venkatachalam, P. (2015). Impact assessment of mercury accumulation and biochemical and molecular response of *Mentha arvensis*: a potential hyperaccumulator plant. *The Scientific World Journal* ;2015:715217. doi: 10.1155/2015/715217
- Martell Mendoza, N. (2014). Acumulación de metales pesados en *Beta Vulgaris* L. y *Lolium Perenne* L. de suelos de Cuemanco. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/445663>



- Miller, D. (1977). Handbook of research design and social measurement. Nueva York:  
Longman. *Sage* (3).
- MINAM. (2015). Estándares de calidad ambiental para suelo. Recuperado de Recuperado  
de [https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-  
content/uploads/sites/22/2015/02/PPT-ECA-Suelos.pdf](https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2015/02/PPT-ECA-Suelos.pdf)
- Navarro-Aviñó, J. P., Alonso, I. A., y López-Moya, J. R. (2007). Aspectos bioquímicos y  
genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en  
plantas. *Ecosistemas*, 16(2).
- Nungaray Arteaga, N. (2014). "Fitorremediación del suelo de la mina La Blanca, Hidalgo,  
con plantas de la especie cosmos bipinnatus y el género dahlia". (Tesis de  
Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de  
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/257610>
- Obeso, A., Castillo, A., Gurreonero, J., & Vejarano, R. (2017). Fitorremediación de suelos  
contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio (*Pelargonium  
zonale*).
- Omoregie, G., Ikhajiagbe, B., & Anoliefo, G. (2019). Phytoremediation Potential of Four  
Heavy Metals in Soil by *Chromolaena odorata* (L.) King & Robinson at the  
Phytotoxicity Screening Benchmarks. *Tanzania Journal of Science*, 45(3), 372-381.
- Ortega-Ortega, R. E., Beltrán-Herrera, J. D., & Marrugo-Negrete, J. L. (2011).  
Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (*Gynerium sagittatum*)(Aubl)  
Beauv. in vitro. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(1), 33-41.

- Padilla J., Ramirez E., Barra R. y Barreto J. (2009). Niveles de concentración de metales pesados en especies vegetales emergentes en el pasivo minero ambiental de Ticapampa, Catac, Huaraz, Perú. *Aporte Santiaguino*. 21-25.
- Peña Rivera, F. de M., & Beltrán Lázaro, E. . (2017). Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando *Helianthus annuus* L. en la Estación Experimental El Mantaro. *Prospectiva universitaria*, 9(1), 31–45.  
<https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2012.9.34>
- Pernía, B., Calabokis, M., Noris, K., Bubis, J., Guerra, M., & Castrillo, M. (2020). Effects of cadmium in plants of *Sphagneticola trilobata* (L.) Pruski. *Bioagro*, 31(2), 133-142. Recuperado de <https://revistas.uclave.org/index.php/bioagro/article/view/2641>
- Pizarro, R., Flores, J. P., Tapia, J., Valdés-Pineda, R., González, D., Morales, C. & León, L. (2016). Especies forestales para la recuperación de suelos contaminados con cobre debido a actividades mineras. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 22(1), 29-43.
- Prasad, M.& Freitas,H. (2003). Metal hyperaccumulation in plants-Biodiversity prospecting forphytoremediation technology. *Electron. J. Biotechnol.*, (6), 110-146.
- Prieto Mostacero, K. A., y Fernandez Lamberto, L. H. (2020). Capacidad Fitorremediadora de plantas metalofitas (*Fuertesimalva echinata*, *Urtica Urens* y *Stipa Ichu*) en suelos contaminados por Pb, Cu y Zn. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión].  
[https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3177/Keren\\_Trabajo\\_Bachiller\\_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3177/Keren_Trabajo_Bachiller_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

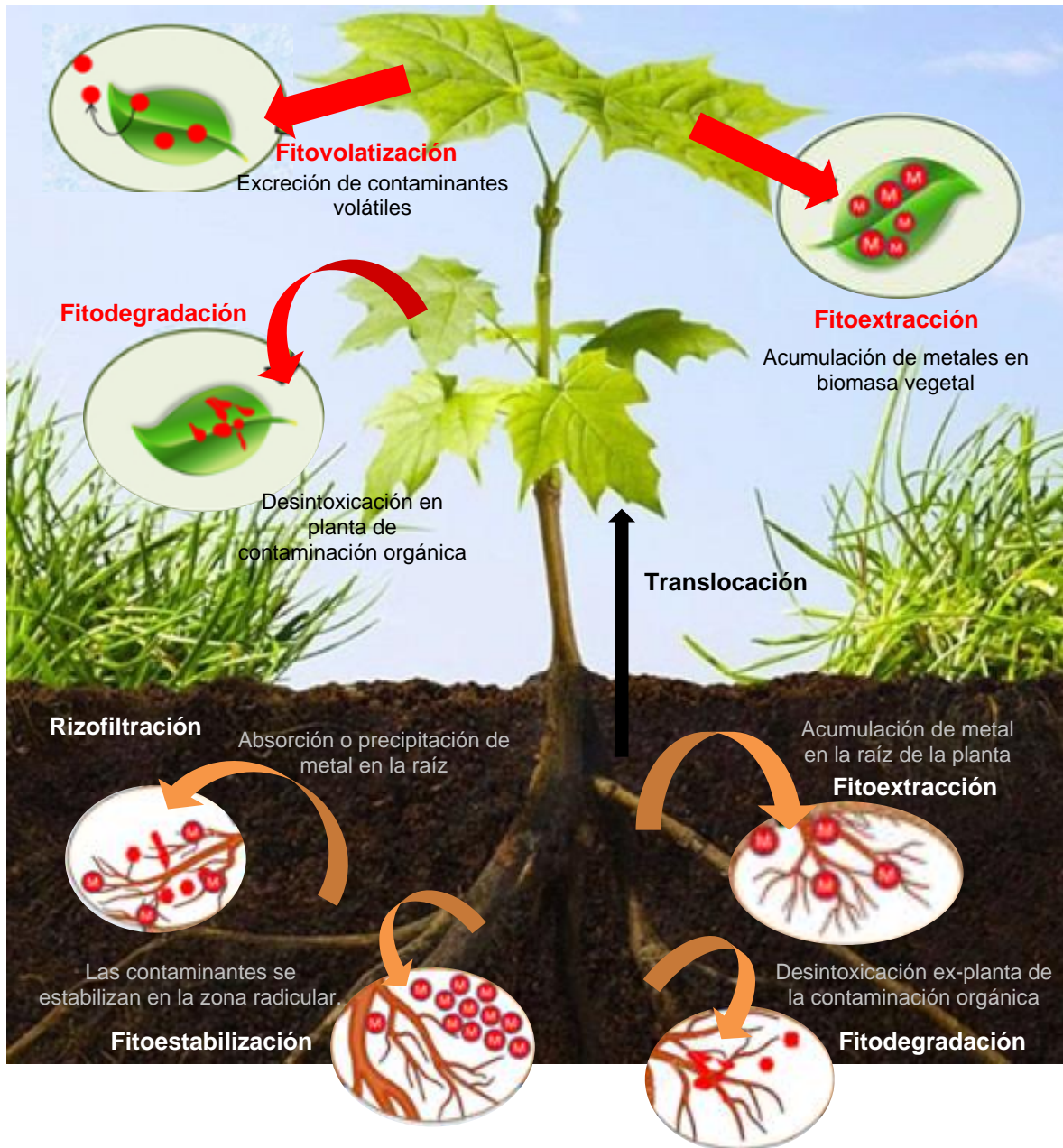
- Ramírez, R., García, M., Álvarez, V., González, G., y Hernández, V. (2019). Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(7), 1529-1540.
- Raskin, I., Kumar, P. N., Dushenkov, S., y Salt, D. E. (1994). Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in biotechnology*, 5(3), 285-290.
- Reátegui de la Cruz, K. (2018). Efecto de la dosificación de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Shahuindo Cajamarca. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo].  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/49837> .
- Rendina, A. E., Miniño, H., Bursztyn, A., de los Ríos, A., Barros, M. J., Wassner, D., & de Iorio, A. R. F. (2014). Uso de ligandos orgánicos en la fitoextracción de Plomo por Ricino (*Ricinus communis* L.). *AUGMDOMUS*, 6, 66-80. Recuperado de <https://revistas.unlp.edu.ar/domus/article/view/677>
- Ríos Medrano, M., Lacava, J., Curotto, I., Fucks, L., & Gargarello, R. (2019). Acumulación de Plomo en especias: potencial para procesos de fitorremediación de suelos urbanos contaminados en Argentina. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/335639107 ACUMULACION DE PLOMO EN ESPECIAS POTENCIAL PARA PROCESOS DE FITORREMIACION DE SUELOS URBANOS CONTAMINADOS EN ARGENTINAACUMULACION DE PLOMO EN ESPECIAS POTENCIAL PARA PROCESOS DE FITORREMIACION DE](https://www.researchgate.net/publication/335639107_ACUMULACION_DE_PLOMO_EN_ESPECIAS_POTENCIAL_PARA_PROCESOS_DE_FITORREMIACION_DE_SUELOS_URBANOS_CONTAMINADOS_EN_ARGENTINAACUMULACION_DE_PLOMO_EN_ESPECIAS_POTENCIAL_PARA_PROCESOS_DE_FITORREMIACION_DE)

- Salazar-Matarrita, A., Cubero-Campos, M., & Durán-Jiménez, B. (2020). Movilidad de metales del suelo al pasto en la región norte de costa rica. *Agronomía Costarricense*, 44(1), 123-132.
- Santoyo Martinez, M. (2020) .Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de Huautla, Morelos. Recuperado de <http://riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/1270>
- sativus L. *SCIENDO*, 16(2). Recuperado a partir de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/SCIENDO/article/view/849>"
- Silva, A. (2011). Determinando la población y la muestra. Recuperado de <http://tesisdeinvestig.blogspot.com/2011/05/definir-la-unidad-de-analisis-y-la.html>
- Singh, O. V., y Jain, R. K. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied microbiology and biotechnology*, 63(2), 128-135.
- SINIA. (2017). Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-suelo-0>
- Suthar, V., Memon, K. S., y Mahmood-ul-Hassan, M. (2014). EDTA-enhanced phytoremediation of contaminated calcareous soils: heavy metal bioavailability, extractability, and uptake by maize and sesbania. *Environmental monitoring and assessment*, 186(6), 3957-3968.

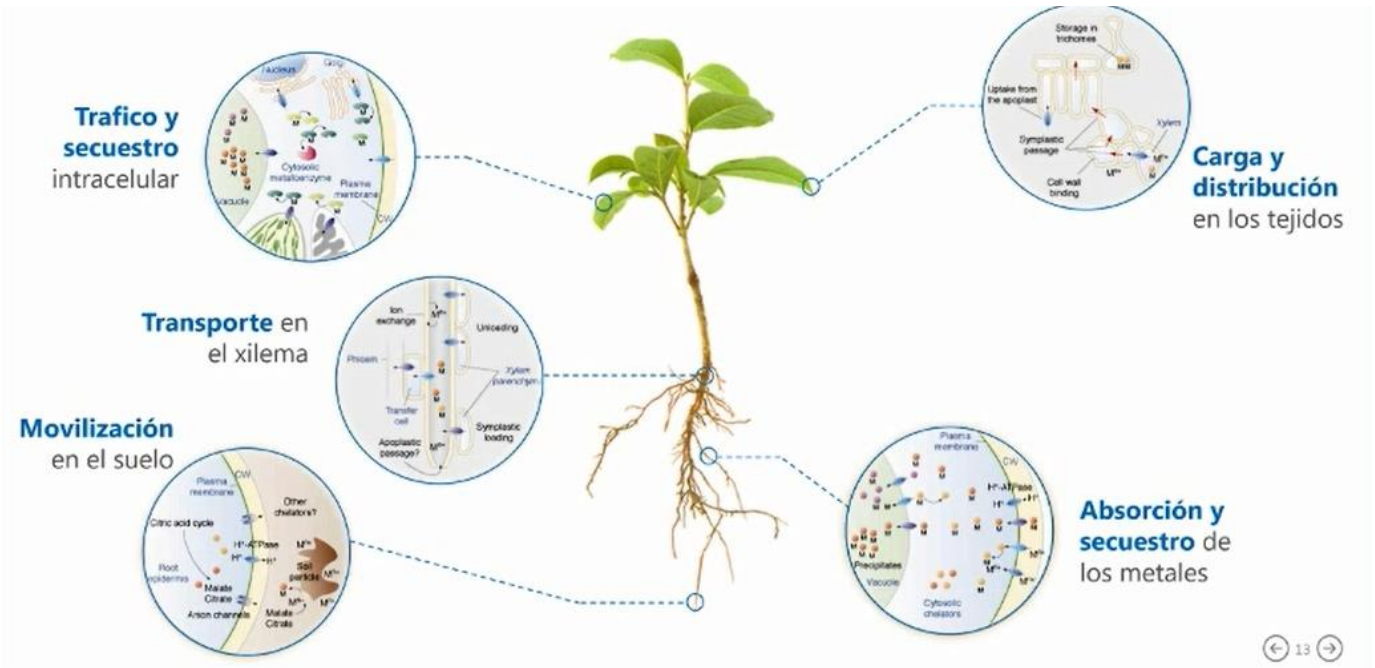
- Syam, N., Wardiyati, T., Maghfoer, M. D., Handayanto, E., Ibrahim, B., y Muchdar, A. (2016). Effect of accumulator plants on growth and nickel accumulation of soybean on metal-contaminated soil. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, (9), 13-19.
- Vardanyan, L. G., y Ingole, B. S. (2006). Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. *Environment international*, 32(2), 208-218.
- Zhang, C., Chen, Y., Xu, W., Chi, S., Li, T., Li, Y. y Feng, D. (2019). Resistance of alfalfa and Indian mustard to Cd and the correlation of plant Cd uptake and soil Cd form. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 13804-13811.
- Zhi-xin, N, Li-na, S., Tie-heng, S., Yu-shuang, L.& Hong, W. (2007). Evaluation of phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *Journal of environmental sciences*, (19), 961-967.

## ANEXOS

### ANEXO N° 1. Mecanismos de la fitorremediación



ANEXO N° 2. Estrategia de las plantas acumuladoras de metales



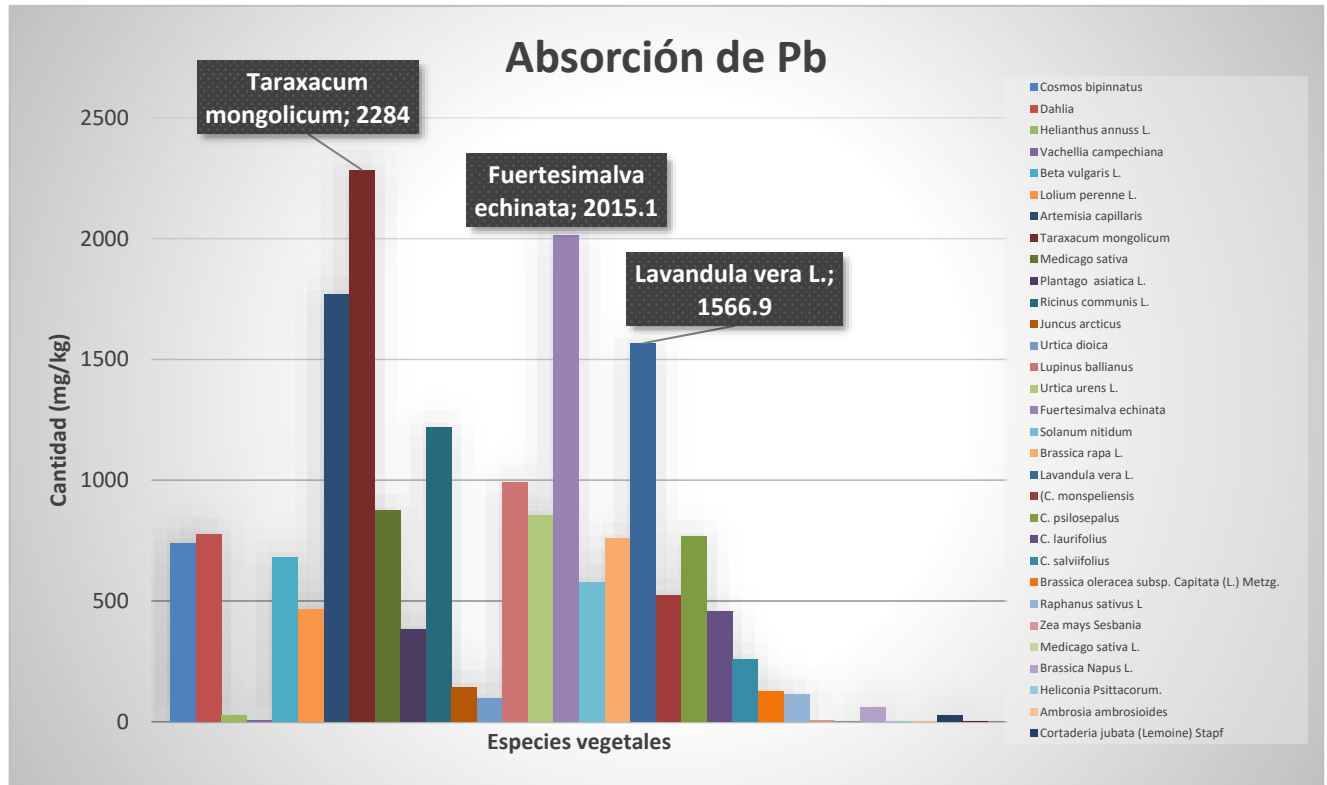
### ANEXO N° 3. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

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
Tetradoroetileno	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 D7237 y/o ISO 17690:2015

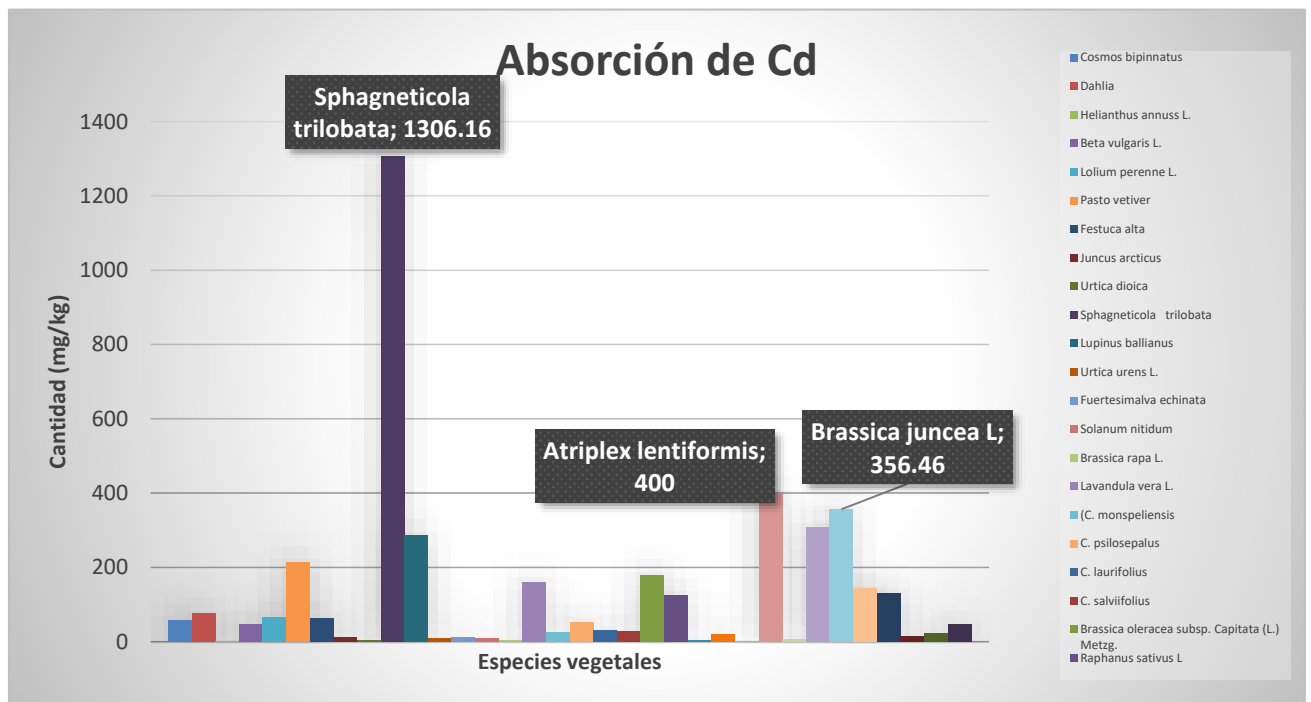
Fuente: Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM



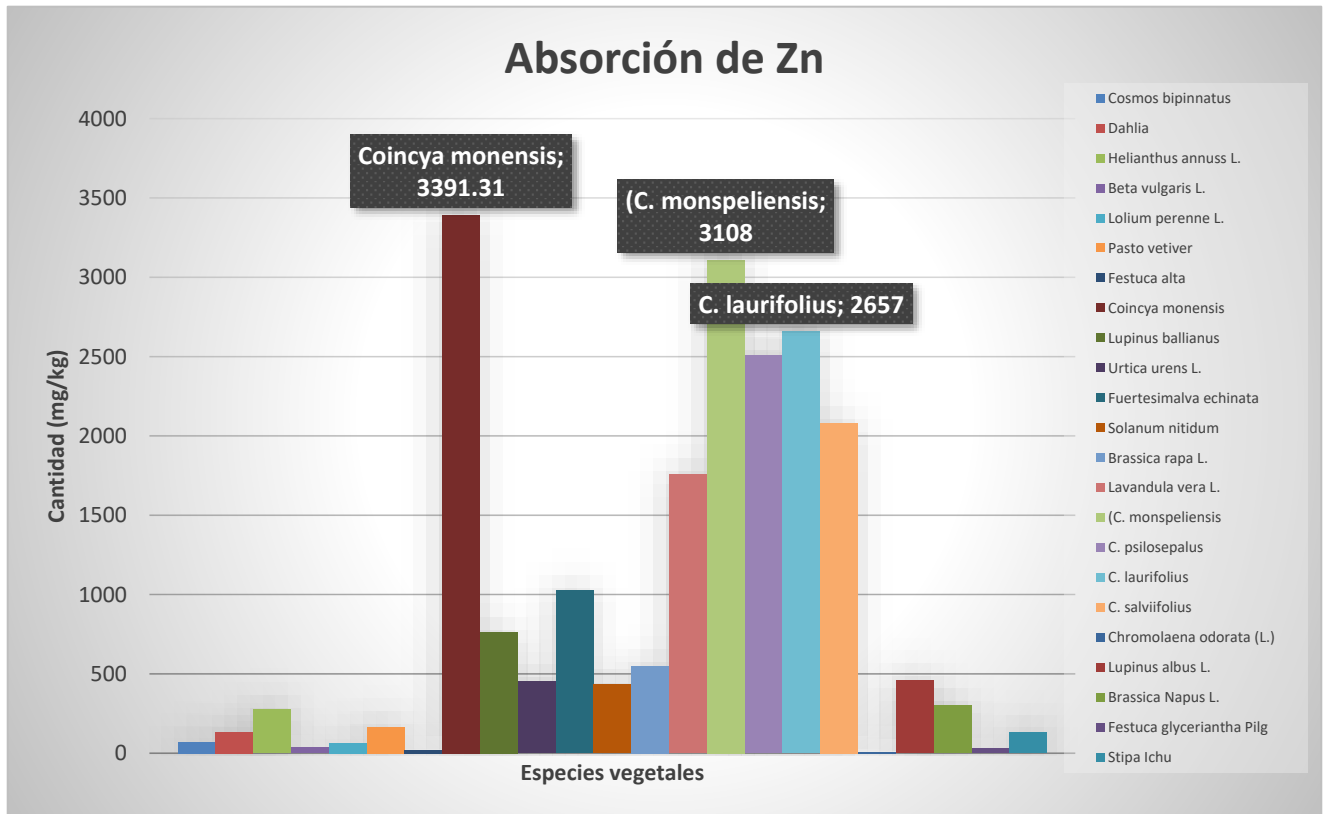
ANEXO N° 4. Comparación de las principales especies revisadas en los artículos según el porcentaje de absorción de plomo



ANEXO N° 5. Comparación de las principales especies revisadas en los artículos según el porcentaje de absorción de cadmio



ANEXO N° 6. Comparación de las principales especies revisadas en los artículos según el porcentaje de absorción de Zinc



ANEXO N° 7. Ficha de registro

N°	AUTOR	AÑO	PAÍS	IDIOMA	BASE DE DATOS	PALABRA CLAVE	TITULO	ESPECIES VEGETALES IDENTIFICADAS	TIPO DE PLANTA	TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN	METAL	CANTIDAD DE ABSORCIÓN
1	Nungaray	2014	México	Español	Repositorio institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México	Fitorremediación	Fitorremediación del suelo de la mina La Blanca, Hidalgo, con plantas de la especie <i>Cosmos bipinnatus</i> y el género <i>Dahlia</i> .	<i>Cosmos bipinnatus/ Dahlia</i>	Herbácea	Fitoextracción/ Fitoestabilización	Cd Pb Zn	Cosmos bipinnatus Cd:57.63 mg/kg Pb:737.50 mg/kg Zn:70.43 mg/kg y Dahlia Cd:75.83 mg/kg Pb:778.33 mg/kg Zn:134.91 mg/kg
2	Peña y Beltran	2017	Perú	Español	Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Centro del Perú.	Metales pesados	Aplicación de la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados utilizando <i>Helianthus annuus L.</i> en la estación experimental EL MANTARO	<i>Helianthus annuus L.</i>	Herbácea	Fitoextracción	Sb As Cd Cu Cr Fe Mn Pb Zn	2,840 mg/Kg 11,16 mg/Kg 2,176 mg/Kg 22,28 mg/Kg 2,508 mg/Kg 3370 mg/Kg 162,0 mg/Kg 28,33 mg/Kg 276,9 mg/Kg
3	Santoyo	2020	México	Español	Repositorio institucional de la Universidad Autónoma del estado de Morelos	Especies vegetales	Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de Huautla, Morelos	<i>Vachellia campechiana/ Crotalaria pumila</i>	Arbusto/ Herbácea	Fitoextracción	Cr Cu Pb	Vachellia campechiana Cr: 0.83 mg/kg Cu: 0.37 mg/kg Pb: 4.23 mg/kg Crotalaria pumila Cu:0.46 mg/kg
4	Martell	2014	México	Español	Repositorio institucional de la Universidad Nacional Autónoma de México	Especies vegetales	Acumulación de metales pesados en <i>Beta vulgaris L.</i> y <i>Lolium perenne L.</i> de suelos de Cuernavaca	<i>Beta vulgaris L. / Lolium perenne L.</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Pb Cr Cu Ni Cd Zn	Beta vulgaris L. Pb:681.66 mg/Kg Cr:350.16 mg/Kg Cu:90.75 mg/Kg Ni:48.75 mg/Kg Cd:46 mg/Kg Zn:34.78 mg/Kg Lolium perenne L. Pb:467.5 mg/Kg Cr:257.125 mg/Kg Cu:40.6 mg/Kg Ni: 55.75 mg/Kg Cd: 64.5 mg/Kg Zn:65.05 mg/Kg
5	Ghadiri y Hejazi	2018	Irán	Inglés	Science Direct	Fitorremediación	Phytoremediation of soils polluted by heavy metals using <i>Vetiver grass</i> and <i>Tall Fescue</i>	<i>Pasto vetiver/ Festuca alta</i>	Herbácea	Fitoextracción/Fitoestabilización	Cd Cu Zn	Pasto vetiver Cd:215 mg/Kg Cu:47 mg/Kg Zn: 166 mg/Kg Festuca alta Cd: 63,5 mg/Kg Cu:20.4 mg/Kg Zn:19.6 mg/Kg

N°	AUTOR	AÑO	PAÍS	IDIOMA	BASE DE DATOS	PALABRA CLAVE	TITULO	ESPECIES VEGETALES IDENTIFICADAS	TIPO DE PLANTA	TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN	METAL	CANTIDAD DE ABSORCIÓN
6	Lu et.al	2021	China	Inglés	Science Direct	Especies vegetales	Phytoremediation Potential of Four Native Plants in Soils Contaminated with Lead in a Mining Area	<i>Artemisia capillaris/ Taraxacum mongolicum/ Medicago sativa/ Plantago asiatica L.</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Pb	<i>Artemisia capillaris</i> 1768 mg/kg <i>Taraxacum mongolicum</i> 2284 mg/kg <i>Medicago sativa</i> 876 mg/kg <i>Plantago asiatica L.</i> 383 mg/kg
7	Manikandan, Sahi y Venkatachalam	2014	India	Inglés	National Library of medicine	Especies vegetales	Impact Assessment of Mercury Accumulation and Biochemical and Molecular Response of <i>Mentha arvensis</i> : A Potential Hyperaccumulator Plant	<i>Mentha arvensis</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Hg	1816.54 mg/kg
8	Fernandez et.al	2017	España	Inglés	Science Direct	Fitorremediación	Phytoremediation capability of native plant species living on Pb-Zn and Hg-As mining wastes in the Cantabrian range, north of Spain	<i>Coincya monensis</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Zn	3391.31 mg/kg
9	Rendina et.al	2014	Argentina	Español	Repositorio institucional de la Universidad Nacional de la Plata	Fitorremediación	Uso de ligandos orgánicos en la fitoextracción de Plomo por Ricino ( <i>Ricinus communis L.</i> )	<i>Ricinus communis L.</i>	Arbusto	Fitoextracción	Pb	1220 mg/kg
10	Bazan y Rojas	2018	Perú	Español	Repositorio institucional de la Universidad Cesar Vallejo	Metales pesados	Remoción de metales pesados con <i>Juncus arcticus</i> y <i>Urtica dioica</i> en un relave minero, distrito Huamachuco - La Libertad	<i>Juncus arcticus/ Urtica dioica</i>	Herbácea	Fitoextracción	Pb As Cd	<i>Juncus arcticus</i> Pb:140.95 mg/kg As:430.33 mg/kg Cd:11.03 mg/kg <i>Urtica dioica</i> Pb:97.16 mg/kg As:278.32 mg/kg Cd:4.6 mg/kg

N°	AUTOR	AÑO	PAÍS	IDIOMA	BASE DE DATOS	PALABRA CLAVE	TITULO	ESPECIES VEGETALES IDENTIFICADAS	TIPO DE PLANTA	TÉCNICA DE FITORREMIEDIACIÓN	METAL	CANTIDAD DE ABSORCIÓN
11	Pernía et.al	2019	Venezuela	Inglés	Repositorio de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado	Especies vegetales	FFECTS OF CADMIUM IN PLANTS OF <i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski	<i>Sphagneticola trilobata</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Cd	1306.16 mg/kg
12	Cifuentes y Novillo	2016	Ecuador	Español	Repositorio de la Universidad central del Ecuador	Contaminación del suelo	Uso de plantas de pepinillo ( <i>Cucumis sativus</i> ) para fitorremediar suelos contaminados con cromo	<i>Cucumis sativus</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Cr	87,19 mg/kg
13	Ortega et.al	2011	Colombia	Español	Redalyc	Especies vegetales	Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha ( <i>Gynerium sagittatum</i> ) (Aubl) Beauv. in vitro	<i>Gynerium sagittatum</i>	Herbácea	Fitoextracción	Hg	55.98mg/kg
14	Jara-Peña et.al	2014	Perú	Español	SciELO	Contaminación del suelo	Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados	<i>Lupinus ballianus/ Urtica urens L./ Fuertesimalva echinata/ Solanum nitidum/ Brassica rapa L.</i>	Arbusto/Herbácea/ Herbácea/arbusto/ Herbácea	Fitovolatilización y Fitoextracción		Lupinus ballianus Pb: 992.8 mg/kg Zn: 763.6 mg/kg Cd: 287.3 mg/kg Urtica urens L. Pb:854.5 mg/kg Zn:452.8 mg/kg Cd:8.9 mg/kg Fuertesimalva echinata Pb: 2015.1 mg/kg Zn: 1024.2 mg/kg Cd: 11 mg/kg Solanum nitidum Pb:576 mg/kg Zn:431.4 mg/kg Cd:8.7 mg/kg Brassica rapa L.Pb: 758.8 mg/kg Zn: 550 mg/kg Cd:4.9 mg/kg
15	Angelova et.al	2016	Bulgaria	Inglés	ResearchGate	Fitorremediación	Potential of Lavender ( <i>Lavandula vera L.</i> ) for Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals	<i>Lavandula vera L.</i>	Herbácea	Fitoextracción	Pb Cd Zn	1566.9 mg/kg 160.9 mg/kg 1755.9 mg/kg

N°	AUTOR	AÑO	PAÍS	IDIOMA	BASE DE DATOS	PALABRA CLAVE	TITULO	ESPECIES VEGETALES IDENTIFICADAS	TIPO DE PLANTA	TÉCNICA DE FITORREMIEDIACIÓN	METAL	CANTIDAD DE ABSORCIÓN
16	Almagro et.al	2015	España	Español	Dialnet	Metales pesados	Tolerancia y acumulación de metales pesados y As en diferentes especies de Cistus L.	<i>Cistus L.</i>	Arbusto	Fitoestabilización	Fe, Cu, Mn, Zn Cd, Ni, Pb y As	C. monspeliensis Fe:5.457 mg/kg Cu: 26 mg/kg Mn:283 mg/kg Zn:3.108 mg/kg Cd:26 mg/kg Ni: 3,3 mg/kg Pb: 525 mg/kg As: 39 mg/kg C. psilosepalus Fe:6.535 mg/kg Cu:37 mg/kg Mn:312 mg/kg Zn: 2.508 mg/kg Cd:53 mg/kg Ni:2.7 mg/kg Pb:767 mg/kg As: 39 mg/kg C. laurifolius Fe: 4.288 mg/kg Cu:22 mg/kg Mn:308 mg/kg Zn: 2.657 mg/kg Cd:30 mg/kg Ni:2.5 mg/kg Pb:459mg/kg As: 26 mg/kg C. salviifolius Fe: 2.299 mg/kg Cu:13 mg/kg Mn:194 mg/kg Zn: 2.081 mg/kg Cd:29 mg/kg Ni:1.8 mg/kg Pb:260 mg/kg As: 15 mg/kg
17	Hoyos y Guerrero	2014	Perú	Español	Repositorio de la Universidad nacional de Trujillo	Especies vegetales	Bioacumulación de polomo Y Cadmio en <i>Brassica oleracea</i> SUBSP. CAPITATA (L.) METZG. Y <i>Raphanus sativus L</i>	<i>Brassica oleracea subsp. Capitata (L.) Metzg./ Raphanus sativus L</i>	Herbácea	Fitoextracción/ fitoestabilización	Pb Cd	<i>Brassica oleracea subsp. Capitata (L.) Metzg.</i> Pb: 127.75 mg/Kg Cd:180 mg/Kg <i>Raphanus sativus L</i> Pb:112 mg/Kg Cd:125.5 mg/Kg
18	Omoregie, Ikhajigbe y Anoliefo	2019	Nigeria	Inglés	ResearchGate	Fitorremediación	Phytoremediation Potential of Four Heavy Metals in Soil by <i>Chromolaena odorata</i> (L.) King & Robinson at the Phytotoxicity Screening Benchmarks	<i>Chromolaena odorata (L.)</i>	Arbusto	Fitoextracción	Mn Cu Cd	11.78 mg/Kg 0.67 mg/Kg 5.23 mg/Kg
19	Feng et.al	2018	China	Inglés	National Library of medicine	Bioacumulación, salinidad	Tolerancia y bioacumulación de Cd y Cu en <i>Sesuvium portulacastrum</i>	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Herbácea	Fitoextracción	Cd, Cu	20 mg L <sup>-1</sup> y 5 mg L <sup>-1</sup>
20	Syam et.al	2016	Indonesia	Inglés	Scienci Direct	Absorción de metales	Effect of accumulator Plants on Growth and Nickel Accumulation of Soybean on Metal - Contaminated Soil	<i>Glycine max, Sarcotheca celebica, Melastoma malabathricum</i>	Leguminosas	Fitoextracción	Ni	8.48mg/kg, 8.95mg/kg, 0.82mg/kg
21	Fumagalli	2014	Italia	Inglés	Journal Of Environmental Management	Acumulación de metales	The rotation of white lupin ( <i>Lupinus albus L.</i> ) with metal-accumulating plant crops: A strategy to increase the benefits of soil	<i>Lupinus albus L.</i>	Leguminosas	Fitoextracción	Cd, Ni, Zn, Cu	1,7mg/kg; 53,6mg/kg; 459,5mg/kg; 176,21mg/kg
22	Eissa y Roshdy	2018	Egypto	Inglés	Scienci Direct	Fitorremediación	Nitrogen fertilization: effect on Cd-phytoextraction by the halophytic plant quail bush ( <i>Atriplex lentiformis</i> )	<i>Atriplex lentiformis</i>	Árborea	Fitoextracción	Cd	400mg/kg

N°	AUTOR	AÑO	PAÍS	IDIOMA	BASE DE DATOS	PALABRA CLAVE	TITULO	ESPECIES VEGETALES IDENTIFICADAS	TIPO DE PLANTA	TÉCNICA DE FITORREMEDIACIÓN	METAL	CANTIDAD DE ABSORCIÓN
23	Suthar et.al	2014	Asia	Inglés	Springer	Fitorremediación	Fitorremediación mejorada con EDTA de suelos calcáreos contaminados: biodisponibilidad, extractabilidad y absorción de metales pesados por maíz y sesbania	<i>Zea mays Sesbania</i>	Herbácea	Fitoextracción	Pb, Cd	5,2mg/kg ; 7.4mg/Kg
24	Zhang et.al	2019	India	Inglés	Pubmed	Absorción de metales	Resistencia de la alfalfa y la mostaza india al Cd y la correlación de la absorción de Cd de la planta y la forma de Cd del suelo	<i>Medicago sativa L., Brassica juncea L.</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Cd	308.74mg/kg, 356.46mg/kg
25	Chang et.al	2014	Tiwan	Inglés	National Library of medicine	Fitorremediación	Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados por <i>Jatropha curcas</i>	<i>Jatropha curcas</i>	Árborea	Fitoestimulación	Hg, Cu	665mg/kg ; 400mg/jg
26	Angelova et.al	2017	Bulgaria	Inglés	Revista de Proteccion Ambiental y Ecologica	Fitorremediación	Potencial de la colza ( <i>Brassica napus L.</i> ) para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados.	<i>Brassica Napus L.</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Pb, Cd, Zn	59mg/kg ; 144mg/kg; 302mg/kg
27	Madera et al	2013	Colombia	Inglés	Revista internacional de Fitorremediacion	Fitorremediación	Fitorremediación de lixiviados de vertederos con Colocasia esculenta, <i>Gynerum sagittatum</i> y <i>Heliconia psittacorum</i> en humedales artificiales	<i>Heliconia Psittacorum.</i>	Ornamental	Fitoextracción	Cd (II), Cr (VI), Pb (II) y Hg(II)	130L/Kg -1 ; 2,5 L/Kg-1 ; 0.59L/Kg-1 ; 78.4L/Kg-1
28	Ramírez et.al	2019	Mexico	Español	SciELO	Suelos contaminados	Potencial fitorremediador de la chicura ( <i>Ambrosia ambrosioides</i> ) en suelos contaminados por metales pesados	<i>Ambrosia ambrosioides</i>	Herbácea	Fitoextracción	Cd, Cu, Pb	15,827mg/kg 13, 03mg/kg; 1,97mg/kg
29	Obeso et.al	2017	Peru	Español	Repositorio Universidad Privada del Norte	Fitorremediación	Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio ( <i>Pelargonium zonale</i> )	<i>Pelargonium zonale</i>	Herbácea	Fitoextracción	As, Cd, Cu	39.5mg7kg ; 21.4mg/kg ; 0.011mg/kg



N°	AUTOR	AÑO	PAÍS	IDIOMA	BASE DE DATOS	PALABRA CLAVE	TITULO	ESPECIES VEGETALES IDENTIFICADAS	TIPO DE PLANTA	TÉCNICA DE FITORREMIEDIACIÓN	METAL	CANTIDAD DE ABSORCIÓN
30	Corpus	2018	Peru	Español	Repositorio institucional - Universidad Santiago Antunez de Moyolo	Suelos contaminados	Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminado con etales pesados provenientes de la plnata concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero	<i>Calamagrostis recta (Kunth)</i> , <i>Festuca glyceriantha Pilg</i> , <i>ortaderia jubata (Lemoine) Stapf</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Cd, Cu, Ni, Pb, Zn	46.3mg/Kg ; 43.5mg/kg, 51mg/kg ; 28mg/kg, 29.4mg/kg
31	Pizarro et.al	2016	Chile	Español	SciELO	Recuperacion de suelos	Especies forestales para la recuperación de suelos contaminados con cobre debido a actividades mineras	<i>Acacia Saligna</i>	Leguminosas	Fitoestabilización	Cr	34.8mg/kg
32	Prieto y Fernández	2020	Peru	Español	Repositorio inntitucional . Universidad Peruana Unión	Fitorremediación	Capacidad Fitorremediadora de plantas metalofitas ( <i>Fuertesimalva echinata</i> , <i>urtica Urens</i> y <i>Stipa Ichu</i> ) en suelos contaminados po Pb, Cu y Zn	<i>Fuertesimalva echinata</i> , <i>Urtica Urens</i> , <i>Stipa Ichu</i>	Herbácea	Fitoextracción	Pb, Cd, Zn	2846.0mg/kg, 3780mg/kg, 210.5mg/kg
33	Gonzáles	2020	Colombia	Español	Repositorio internacional de la Universidad de Cordova	Fitorremediación	Fitorremediación a escala piloto de suelos contaminados con mercurio y cobre usando <i>jatropha curcas l</i> en zona minera el Alacrán	<i>Jatropha curcas L.</i>	Herbácea	Fitoestimulación	Hg, Cu	27.3mg/kg ; 58mg/kg
34	Beltrán et.al	2019	Ecuador	Español	Repositorio Institucional - unieversidad nacional de colombia	Suelos contaminados	Potencial de <i>Zantedeschia aethiopica L.</i> para la rehabilitación de suelos contaminados con cromo hexavalente en zonas alto andinas de Ecuador	<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Herbácea	Fitoestabilización	Cr	300mg/kg
35	Chuptaya y Molina	2021	Peru	Español	Repositorio de tesis, universidad peruana union	Fitorremediación	Potencial de fitorremediacion de <i>Schinus molle</i> y <i>Acacia macracantha</i> , en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima	<i>Acacia macracantha</i> , <i>Schinus molle</i>	Árborea	Fitoextracción	Sr,Tl, Hg	7,5mg/Kg; 30.24mg/Kg, 435.13mg/Kg, 122mg/Kg; 1,87mg/Kg; 38,53mg/Kg