



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Fitorremediación Mediante Plantas Hiperacumuladoras Para el  
Tratamiento de Contaminación Ambiental: Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTORES:**

Mamani Ventura, Deyvi Elmer (ORCID: 0000-0003-2264-9735)  
Sologuren Torres, Natalia Milagros (ORCID: 0000-0003-4049-8176)

**ASESOR:**

Mgtr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORCID: 0000-0002-0750-2877)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

## **DEDICATORIA**

El presente informe de investigación se lo dedicamos a nuestros padres, que siempre estuvieron apoyándonos moralmente y económicamente para llegar a ser profesionales.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradecemos a Dios por darnos la fuerza a pasar cada noche de desvelo para hacer esta meta posible. A nuestros padres que nos enseñan día a día a ser mejores, por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA .....	i
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	12
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	12
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	12
3.3 Escenario de estudio .....	14
3.4 Participantes .....	14
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	14
3.6 Procedimientos .....	15
3.7 Rigor científico .....	16
3.8 Método de análisis de información .....	17
3.9 Aspectos éticos.....	17
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	18
V. CONCLUSIONES .....	28
VI. RECOMENDACIONES.....	29
REFERENCIAS .....	30
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Lista indicativa de especies de hiperacumuladores de metales (loid) ..7	
Tabla N° 2: Antecedentes de las plantas hiperacumuladoras y el contaminante objetivo.....9	9
Tabla N° 3: Categorización apriorística..... 13	13
Tabla N° 4: Criterios para la inclusión de artículos al estudio ..... 15	15
Tabla N° 5: Métodos de aplicación..... 18	18
Tabla N° 6: Concentración de metales pesados .....21	21
Tabla N° 7: Tolerancia a la toxicidad.....24	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Respuesta típica de las plantas frente a la presencia de metales pesados en el suelo .....	8
---	---

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo determinar de qué manera las plantas hiperacumuladoras generan la disminución de la contaminación ambiental, analizar las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras, definir las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados y determinar los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental.

Para lo cual se obtuvo que las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras son la digestión por vía seca y la técnica termoquímica, debido a que presentan mayor eficiencia. Las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados en un 85% son en las raíces de las plantas y los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental son la característica a la adsorción y tolerancia de la toxicidad de metales pesados o iones metálicos. De acuerdo a lo expuesto y las conclusiones obtenidas se recomienda de manera práctica, realizar estudios prácticos en los cuales se investigue las bases genéticas de la hiperacumulación y el grado de tolerancia a los metales, estudiar los efectos ecológicos de la hiperacumulación para investigar si el fenómeno de las plantas hiperacumuladoras se utiliza para remediar tierras contaminadas con metales o para extraer metales a gran escala y realizar mayores investigaciones empleando microbiotas asociadas a las plantas de especies de hiperacumuladoras comunes y analizar las perspectivas futuras de la explotación del microbioma para mejorar la absorción de metales por las plantas.

**Palabras Clave:** Fitorremediación, plantas hiperacumuladoras, contaminación ambiental, técnicas de aplicación.

## ABSTRACT

The purpose of this research work is to determine how hyperaccumulator plants generate the reduction of environmental pollution, to analyze the separation techniques of heavy metals adsorbed by hyperaccumulator plants, to define the parts of hyperaccumulator plants in which the highest percentage of heavy metals are concentrated, and to determine the main components of hyperaccumulator plants in the treatment of environmental pollution.

For which it was obtained that the separation techniques of heavy metals adsorbed by hyperaccumulator plants are dry digestion and the thermochemical technique, due to their higher efficiency. The parts of the hyperaccumulator plants in which the highest percentage of heavy metals are concentrated in 85% are in the roots of the plants and the main components of the hyperaccumulator plants in the treatment of environmental pollution are the characteristic to the adsorption and tolerance of the toxicity of heavy metals or metallic ions. Based on the above and the conclusions obtained, it is recommended to carry out practical studies to investigate the genetic basis of hyperaccumulation and the degree of tolerance to metals, to study the ecological effects of hyperaccumulation to investigate whether the phenomenon of hyperaccumulator plants is used to remediate land contaminated with metals or to extract metals on a large scale, to carry out further research using microbiota associated with plants of common hyperaccumulator species and to analyze the future prospects of exploiting the microbiome to improve metal adsorption by plants.

**Keywords:** Phytoremediation, hyperaccumulator plants, environmental contamination, application techniques.



## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental no es un fenómeno nuevo, pero sigue siendo el mayor problema del mundo que enfrenta la humanidad y la principal causa ambiental de morbilidad y mortalidad; donde, las actividades del hombre a través de la urbanización, la industrialización, la minería y la exploración están a la vanguardia de la contaminación ambiental global (Landrigan et al., 2017, p.1). Tanto las naciones desarrolladas como las en desarrollo comparten esta carga juntas, aunque la concienciación y las leyes más estrictas en los países desarrollados han contribuido en mayor medida a proteger su medio ambiente el impacto aún se siente debido a sus graves consecuencias a largo plazo (Ukaogo et al., 2020, p.2).

La degradación ambiental por contaminantes es una seria preocupación en el mundo en desarrollo, donde, la contaminación del medio ambiente supone un grave peligro en la actualidad por lo que pone en peligro la base misma de la existencia humana en el planeta (Motuzova et al., 2014, p.2).

Uno de los problemas de la contaminación ambiental es la generación de metales pesados, quienes se han acumulado en muchas cadenas alimenticias, aguas subterráneas y diversos cuerpos de agua, lo que causa graves problemas para el medio ambiente, la flora y la fauna; también se ha descubierto que los metales pesados tienen efectos potencialmente mortales en los seres humanos (Bhayani et al., 2020, p.3).

Por ello, es necesario dilucidar el conocimiento profundo de las intervenciones biotecnológicas con la perspectiva de mejorar el potencial de fitorremediación; donde las plantas despliegan múltiples mecanismos fisiológicos, bioquímicos y moleculares para contrarrestar los efectos nocivos de los contaminantes ambientales (Chen et al., 2015, p.1).

La fitorremediación es una solución tecnológica rentable, respetuosa con el medio ambiente, no intrusiva y asequible que se utiliza para extraer o eliminar metales inactivos y contaminantes metálicos del suelo y el agua contaminados; emplea plantas para la restauración ambiental y aprovecha la capacidad de absorción

natural de los sistemas de raíces de las plantas, junto con la capacidad de translocación, bioacumulación o desintoxicación para limpiar los entornos circundantes (Jan et al., 2016, p.3).

En la fitorremediación, la fitoextracción mediante plantas hiperacumuladoras se ha propuesto como una tecnología prometedora, respetuosa con el medio ambiente y de bajo costo para disminuir el contenido de metales pesados de suelos contaminados y ha surgido como una alternativa a los métodos basados en la ingeniería (Bolan et al., 2013, p.1).

Debido a ello se pretende investigar más afondo sobre el potencial del uso de la fitorremediación empleando especies vegetales como las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental; debido a ello y en base a la realidad problemática se realiza el presente trabajo de investigación.

Sobre la base de realidad problemática se planteó el problema general y problemas específicos de la investigación. El problema principal de la investigación: **¿De qué manera las plantas hiperacumuladoras generan la disminución de la contaminación ambiental?**, mientras que los problemas específicos son: **¿Cuáles son las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras?**, **¿Cuáles son las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados?**, **¿Cuáles son los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental?**.

Del mismo modo, se determina como objetivo principal de la investigación: **Determinar de qué manera las plantas hiperacumuladoras generan la disminución de la contaminación ambiental**, Así mismo los objetivos específicos propuestos fueron: **Analizar las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras**, **Definir las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados**, **Determinar los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental**.

Actualmente se requiere de tecnologías amigables con el medio ambiente que sean eficientes y ayuden a la eliminación o disminución de la contaminación ambiental, en tal sentido existen tecnologías capaces de disminuir esta problemática, como es

el caso de la fitorremediación empleando plantas hiperacumuladoras debido a la capacidad de los microorganismos que lo habitan los cuales son responsables de ayudar a las plantas a tolerar altas toxicidades de los contaminantes. En tal sentido, el presente estudio se justifica debido a que pretende realizar una recolección y comparación de diversos estudios actualizados a nivel mundial que traten sobre la Fitorremediación mediante plantas hiperacumuladoras para el tratamiento de contaminación ambiental, contribuyendo teóricamente de esta manera a futuros investigadores con un estudio actualizado.

## II. MARCO TEÓRICO

La contaminación ambiental es una preocupación mundial crucial, debido a que muchos contaminantes, como los compuestos farmacéuticos, los metales pesados y los colorantes industriales presentes en muestras ambientales, presentan efectos peligrosos para los seres humanos, los animales y las plantas (Buyuktiryaki et al., 2019, p.1).

La contaminación ambiental está indisolublemente ligado a la rápida industrialización y urbanización, obstaculizando la sostenibilidad del medio ambiente y los servicios de los ecosistemas (Rai P., 2016, p.15). En la era moderna de rápida industrialización, no es posible evitar los productos químicos y metales tóxicos en el medio ambiente, especialmente la contaminación por metales pesados se ha convertido en una grave amenaza para el medio ambiente y la seguridad alimentaria debido al rápido crecimiento de las industrias, la agricultura y la alteración del ecosistema natural por el enorme aumento de la población mundial (Sarwar et al., 2010, p.1).

La contaminación del medio ambiente supone un grave peligro en la actualidad por lo que pone en peligro la base misma de la existencia humana en el planeta, siendo evidente el peligro real de la contaminación ambiental (Motuzova et al., 2014, p.2). Varios contaminantes emergentes en el medio ambiente, como contaminantes orgánicos persistentes, contaminantes de nanomateriales, microplásticos, contaminantes radiactivos y metales pesados, presentan efectos nocivos en el cuerpo humano, los animales y las plantas (Radojevic et al., 1999, p.1).

Por ejemplo, los metales pesados se vienen acumulando en muchas cadenas alimenticias, aguas subterráneas y diversos cuerpos de agua, lo que causa graves problemas para el medio ambiente, la flora y la fauna; también se ha descubierto que los metales pesados tienen efectos potencialmente mortales en los seres humanos (Bhayani et al., 2020, p.3).

También, estos contaminantes representan uno de los mayores riesgos para la supervivencia de la humanidad, ya que, en muchos países, la contaminación

ambiental ha provocado una escasez de agua apta para beber y para las actividades agrícolas, creando problemas tanto para la salud pública como para la economía (Belessi V. y Petridis D., 2014, p.2).

En países emergentes como china se enfrentan a graves problemas de contaminación ambiental (Xiong J. y Xu D., 2021, p.1). Londres, una ciudad capital del Reino Unido, es una de las ciudades metropolitanas más pobladas y congestionadas, se enfrenta a los principales desafíos de la atención médica por la contaminación ambiental (Meo et al., 2021, p.3).

La contaminación y la destrucción del medio ambiente a escala mundial han llamado la atención sobre la necesidad vital de tecnologías y procesos químicos nuevos, seguros y limpios, el desafío más importante al que se enfrentan los científicos químicos en el siglo XXI (Rus A., 2016, p.2). Ante ello, el interés al desarrollo de la fitorremediación empleando una nueva tecnología que emplee plantas para limpiar el suelo y el agua contaminada con metales pesados crece cada vez más (Raskin et al., 1994, p.1).

La tecnología de fitorremediación puede representar una opción de bajo costo para la rehabilitación de áreas contaminadas industrialmente, donde varias asociaciones e interacciones entre las plantas, su flora microbiana de la rizosfera y los contaminantes hacen que los mecanismos de fitorremediación sean prácticos para una variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Latan E., 2021, p.1).

Para lo cual las plantas hiperacumuladoras han sido ampliamente utilizados en la fitorremediación de tierras de cultivo contaminadas con metales pesados (Wu et al., 2020, p.2). Entre ellas se encuentran las plantas como Berro alpino (*T. caerulescens* L.), son eficaz en la hiperacumulación de  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$  y  $Ni^{2+}$ , mostaza india (*B. juncea*), arbusto endémico serpentino (*Alyssum* sp.), y *Astragalus racemosus* son los hiperacumuladores naturales más conocidos (Chatterjee et al., 2013, p.4).

Existen plantas hiperacumuladoras de diferentes metales pesados o iones metálicos; las plantas hiperacumuladoras de selenio (Se) se utilizan en ingeniería genética y son una técnica útil para mejorar el potencial de fitorremediación de las

especies objetivo y tienen estas plantas hiperacumuladoras el potencial de reducir los efectos tóxicos causados por los metales pesados (Martínez J. y Casallas M., 2018, p.2).

También están las plantas hiperacumuladoras de níquel, que contienen > 1000 mg de Ni kg<sup>-1</sup> de peso seco (DW) (0,1%) en los brotes. Se trata de una concentración de metales pesados excepcionalmente alta, ya que la toxicidad del Ni en la mayoría de las plantas se produce en concentraciones superiores a 10–50 mg kg<sup>-1</sup> DW (Marschner, 1995, p.1). Las plantas excluyentes almacenan Ni en las vacuolas de la pared celular de la raíz, lo que mantiene el Ni secuestrado lejos de los tejidos de los brotes fotosintéticamente activos (He et al., 2012, p.1).

En la tabla N°1 se puede observar la clasificación de diversas especies de plantas hiperacumuladoras de metales pesados o metaloides.

Tabla N° 1: Lista indicativa de especies de hiperacumuladores de metales (loid)

<b>Especies de plantas</b>	<b>Familia</b>
<i>Azolla pinnata</i>	Azollaceae
<i>Bidens pilosa</i>	Asteraceae
<i>Alyssum bertolonii</i> , <i>Alyssum murale</i>	Brassicaceae
<i>Arabidopsis thaliana</i>	Brassicaceae
<i>Arabidopsis halleri</i>	Brassicaceae
<i>Brassica juncea</i>	Brassicaceae
<i>Brassica oleracea</i>	Brassicaceae
<i>Cardaminopsis halleri</i>	Brassicaceae
<i>Rorippa globosa</i>	Brassicaceae
<i>Thlaspi caerulescens</i>	Brassicaceae
<i>Sedum alfredii</i>	Crasuláceas
<i>Euphorbia cheiradenia</i>	Euphorbiaceae
<i>Clerodendrum infortunatum</i> , <i>Haumaniastrum katangense</i>	Lamiaceae
<i>Astragalus racemosus</i> , <i>Astragalus bisulcatus</i>	Fabaceae
<i>Pteris vittata</i>	Pteridáceas
<i>Solanum nigrum</i> , <i>S. photeinocarpum</i>	Solanáceas
<i>Viola baoshanensis</i>	Violaceae
<i>Mimulus guttatus</i>	Phrymaceae
<i>Sonchus asper</i>	Asteraceae
<i>Helianthus annuus</i>	Asteraceae
<i>Fagopyrum esculentum</i>	Poligonáceas

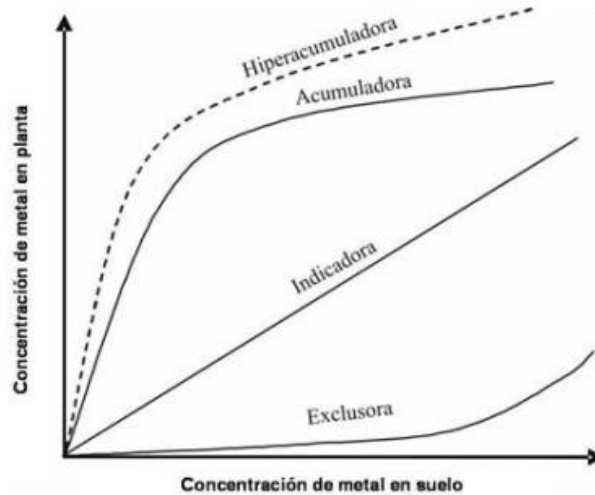
Fuente: Extraído y modificado de Pandey V. y Bajpai O., (2019, p.4)

Así también, las denominadas plantas metalófitas, que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos degradados por actividades mineras; estas especies pueden restringir la absorción los metales o translocarlos hacia las hojas o absorberlo y acumularlo activamente en su biomasa aérea, otras plantas modifican las condiciones de la rizósfera produciendo exudados radiculares o la alterando el pH; donde los grados de acumulación metálica van desde trazas hasta más del 1% de la materia seca de la planta (DiJara et al., 2014, p.3).

Las plantas acumuladoras presentan diferentes grados de acumulación de los metales pesados, presentando niveles de las concentraciones de acumulación

metálica que pueden llegar hasta los niveles más elevados, sin presentar ninguna señal de toxicidad (Kidd et al., 2007, p.2), como se puede observar en el figura N°1.

Figura N° 1: Respuesta típica de las plantas frente a la presencia de metales pesados en el suelo



Fuente: Kidd et al., (2007, p.2)

Los hiperacumuladores acumulan de 100 a 1000 veces más metales pesados en sus brotes que los no acumuladores y las especies de plantas que acumulan hipermetales en general acumulan más de 100  $\mu\text{M}$  de Cd, mientras que las plantas normales acumulan sólo alrededor de 0,5 a 5  $\mu\text{M}$  de Cd; los hiperacumuladores tienen ciertos caracteres que los distinguen de otros no acumuladores, como una mayor tasa de absorción de metales pesados, una translocación más rápida de raíz a brote y una mayor capacidad para desintoxicar y secuestrar metales pesados en las hojas (Keeran et al., 2019, p.1)

El sistema de raíces profundas y la mayor superficie de las raíces son caracteres adaptativos de las plantas hiperacumuladoras; donde se ha demostrado que los atributos PGP (promotores del crecimiento de las plantas) también pueden ayudar a las plantas a expandir el sistema de raíces y a eliminar elementos micro / macro metálicos incluso en suelos con insuficiencia mineral (Saravanakumar et al., 2008, p.1). Por ejemplo, los microbios que promueven el crecimiento de las plantas



alteran sus estructuras radiculares para permitir la absorción competente de nutrientes del suelo (Kudoyarova et al., 2019, p.1).

La colonización de microorganismos endofíticos, como los hongos micorrízicos, en las raíces influye en la eficiencia de absorción de nutrientes del hierro, zinc, fósforo y cobre (Saxena et al., 2015, p.2). Y es demostrado mediante estudios anteriores, quienes afirman que la inoculación con endófitos productores de sideróforos o solubilizantes de zinc mejoró significativamente la longitud de la raíz, el área superficial, el volumen de la raíz, el diámetro de la raíz y el número promedio de puntas de las raíces, lo que facilitó directamente la fortificación con Fe y Zn en los granos de trigo, además de la morfología de la raíz, también se modificaron las características anatómicas de la raíz (Singh et al., 2020, p.4).

En base a todo ello se realizó una muestra de los 10 antecedentes más relevantes mostrados en la Tabla N°2.

*Tabla N° 2: Antecedentes de las plantas hiperacumuladoras y el contaminante objetivo*

<b>Contam.</b>	<b>Medio a tratar</b>	<b>Planta hiperacumuladora</b>	<b>Resultados</b>	<b>Referencia</b>
Cd Zn	Suelo contaminado	<i>Sedum alfredii</i>	Los mecanismos de interacción entre diferentes cepas bacterianas y plantas facilitó el desarrollo de la raíz de la planta no hospedadora y promovió el crecimiento de la planta.	Wang et al., 2019
Hg	Suelos ácidos de la selva ecuatoriana	<i>Erato polymnioides</i>	Erato polymnioides mostró un alto potencial como hiperacumulador de Hg.	Chamba et al., 2017
Cd	Suelos contaminados	<i>Bidens pilosa</i> L.	Las diferencias en la acumulación de Cd pueden ser más útiles para la detección de un nuevo ecotipo de	Dai et al., 2021

			hiperacumulador con alto potencial de remediación.	
Cd	Suelos contaminados con Cd.	<i>Sedum alfredii</i>	La fitorremediación de Cd mejorada se puede lograr mediante la inoculación de las bacterias promotoras del crecimiento de las plantas.	Wu et al., 2020
Ni	Suelos contaminados mixtos	<i>Alyssum lesbiacum</i>	<i>Alyssum lesbiacum</i> podría ser eficaz en la fitoextracción de níquel de suelos contaminados con HAP marginal	Singer et al., 2007
Cd B (Benzeno) P (pireno)	Suelos co-contaminados	<i>Sedum alfredii</i>	El B [a] P-16 y la biodegradación favorecida por las plantas desempeñaron un papel predominante en la eliminación de B [a] P.	Tao et al., 2020
Cd Zn	Suelos contaminados	<i>S. plumbizincicola</i>	El hiperacumulador redujo en gran medida la movilidad en el suelo de los metales hiperacumulados	Li et al., 2018
Ni	Suelos ultramáficos	<i>Alyssum bertolonii</i>	Se proponen los límites económicos de la fitominería y, a los precios mundiales actuales, la técnica solo sería factible para Ni y Co con plantas de al menos la misma biomasa que <i>Alyssum</i> .	Robinson et al., 1997
Cd As	Suelos contaminados	<i>Solanum nigrum L.</i>	El Cd y el As biodisponibles se redujeron en los suelos de la rizosfera, y la reducción más significativa (16,29% para Cd y 8,19% para As) se mostró en el tratamiento de 500 mg kg <sup>-1</sup> MWCNT.	Chen et al., 2021
Ni Cd Pb Zn	Baja biodisponibilidad de los metales pesados en el suelo	<i>Sedum alfredii</i> <i>Hance</i>	la aplicación de EDTA redujo la biomasa de brotes y raíces en un 50% y un 43%, respectivamente. La respiración del suelo y la	Guo et al., 2020

			absorción de Cd, Pb, Zn se redujeron, mientras que la tasa fotosintética, los contenidos de glutatión y fitoquelatina aumentaron con la aplicación de EDTA.	
--	--	--	---	--

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es de tipo cualitativa; de acuerdo con Berk et al., (2015, p.1) los estudios de investigación cualitativa normalmente buscan responder preguntas sobre el "qué", "cómo" y "por qué" de los fenómenos; esto contrasta con las preguntas de "cuántos" o "cuánto" que se buscan responder mediante la investigación cuantitativa; debido a que la presente investigación busca explorar y comprender los fenómenos de la realidad problemática.

El tipo de investigación empleada es de tipo aplicada; la investigación aplicada utiliza la teoría o las técnicas geográficas existentes para comprender y resolver problemas empíricos específicos, brinda la oportunidad de utilizar esas teorías y métodos en el campo de pruebas definitivos del mundo real, además de permitir a los investigadores contribuir a la resolución de problemas del mundo real (Pacione M., 2009, p.1). y es este diseño el que se emplea ya que se va a aplicar los conocimientos obtenidos de otros estudios, directamente en los objetivos planteados.

Y es narrativa de tónica, ya que, nos permite contar al mundo las experiencias vividas, captando el conocimiento obtenido por un sujeto o un grupo de sujetos, mediante la práctica de su experiencia vivida en un tiempo y espacio en concreto (Landín et al., 2019, p.4). Y se aplicada debido a que la presente investigación se centrará en la Fitorremediación mediante plantas hiperacumuladoras para el tratamiento de la contaminación ambiental.

#### 3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización

Las categorías planteadas son de acuerdo a los objetivos específicos y problemas específicos de los cuales se obtuvieron 3 categorías que son planteadas para exponerlas en los resultados, teniendo como línea las subcategorías.

Tabla N° 3: Categorización apriorística

Objetivo Específico	Problemas Específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Analizar las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras	¿Cuáles son las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras?	Método de separación  (Lu et al., 2020, p.1)	Digestión por vía seca  Gasificación  (Cui et al., 2020, p.1)	Valdivia et al., 2018, p.1), (Radojevi c et al., 1999, p.1), (Bhayani et al., 2020, p.3), Petridis D., 2014, p.2).
Definir las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados	¿Cuáles son las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados?	Concentración de metales pesados  (Marrero et al., 2012, p.2)	Raíces  Parte aérea  (Huayta P. y Zulma K., 2018, p.18)	Cartaya et al., 2017, p.2), (Ginocchi o R. y Baker A., 2004, p.1), (Raskin et al., 1994, p.1).
Determinar los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental.	¿Cuáles son los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental?	Tolerancia a la toxicidad  (Alonso et al., 2019, p.1)	Porcentaje de remoción  Tiempo de exposición  (Llugany et al., 2007, p.3)	(Vera et al., 2016, p.1), (Pandey V. y Bajpai O., 2019, p.4), (DiJara et al., 2014, p.3).

### 3.3 Escenario de estudio

El escenario de estudio viene a ser las fuentes relacionadas a la fitorremediación, a las plantas hiperacumuladoras para el tratamiento de la contaminación ambiental, como sus componentes principales y los métodos y técnicas en los que se aplican a nivel mundial; por ello se recalca que las fuentes serán todos los estudios, investigaciones, libros y artículos que abarquen lo anteriormente dicho.

### 3.4 Participantes

En este campo se debe hacer mención que las fuentes son primarias, es decir, serán provenientes de libros, revistas, artículos, etc. No de un contacto directo en el campo, si no de fuentes de internet (Google académico, Scielo, Scencedirect, Scopus) a nivel mundial, para lo cual se emplearon palabras claves como fitorremediación, contaminación ambiental, hiperacumulación, plantas hiperacumuladoras, en diferentes idiomas.

### 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica aplicada es la técnica de análisis documental, mediante la recolección de información de cada estudio utilizando la ficha de análisis de contenido (Ver Anexo N°1).

La técnica de análisis de documentos recopila información del análisis de documentos relacionados con el dominio y se puede utilizar para formar un conjunto básico de requisitos que se refinan aún más mediante otras técnicas (por ejemplo, a través de entrevistas). Cuando la técnica se utiliza en un proyecto de expansión o reemplazo del sistema, el o los documentos de entrada pueden ser los documentos de diseño, las plantillas y los manuales del sistema anterior, que pueden proporcionar información valiosa sobre las necesidades actuales del usuario (Dimitrakopoulos G. y Varlamis I., 2020, p.2).

### 3.6 Procedimientos

De acuerdo a lo presentado en el punto 3.4, donde se habla de los participantes de la presente investigación; se realizará la búsqueda empleando palabras clave en diversos idiomas, a nivel del mundo; para lo cual se empleará el uso de páginas web como Scencedirect, Scielo, las cuales nos permitirán obtener fuentes confiables indizadas que respaldan su confiabilidad; todo ello deberá regirse en base a los criterios; los cuales se presentan con mayor detalle en la Tabla N°4.

*Tabla N° 4: Criterios para la inclusión de artículos al estudio*

<b>Tipo de documento</b>	<b>Tema del documento</b>	<b>Palabras claves</b>	<b>Criterios</b>	
			<b>Exclusión</b>	<b>Inclusión</b>
Artículo científico	Métodos de aplicación de plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental  Partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados  Componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental	Hyperaccumulation  Heavy metals  Environmental pollutants  Hyperaccumulating Plants  Phytoremediation  application of storage plants	Investigaciones mayores a 15 años (2006-2021)  No pertenecer a fuentes indizadas  No contar con DOI  Por duplicidad  Que no sean en idiomas de español, inglés, portugués	Artículos que presenten alta relevancia a la investigación.
<b>Total de artículo incluidos al estudio: 18</b>				

### 3.7 Rigor científico

En este estudio cualitativo se cumple con el rigor científico debido a que se respetaron 4 criterios, garantizando de esta manera la calidad del presente trabajo de investigación:

- **Consistencia o Dependencia:** Este criterio en una investigación cualitativa hace referencia a la seguridad de la información, es decir su estabilidad, debido a que esto es un poco difícil de conseguir ya que los investigadores pasaron por diferentes situaciones, para lo cual el investigador debe ser meticuloso al momento de utilizar la información que recoge (Noreña et al., 2012, p.5).

Este criterio es aplicado en la cita de que realice a cada autor, demostrando la veracidad de los resultados obtenidos.

- **Credibilidad o Valor de verdad:** Es la cercanía que se debe de tener a los resultados reales que hayan tenido los autores de las investigaciones empleados en el estudio; para ello los estudios recogidos deben ser de manera práctica, de esta manera se evitaría realizar conjeturas; para que de esta manera se puedan obtener nuevas teorías. (Noreña et al., 2012, p.5).

Este criterio también conocido como el valor de verdad y es demostrando en el estudio, mediante interpretación realizada de los resultados de diversos artículos incluidos al estudio, acerca de la aplicación de fitorremediación mediante plantas hiperacumuladoras.

- **Transferibilidad o aplicabilidad:** Consiste en trasladar los contextos, resultados, métodos, fenómenos, etc., obtenidos por el o los autores que experimentaron mientras realizaron el estudio. Pudiendo decirse que los resultados provenientes de las investigaciones cualitativas no se pueden generalizar, pero si se pueden transferir a otros contextos y comparar (Noreña et al., 2012, p.6).

Y es aplicado debido a que existen estudios acerca de la contaminación ambiental en la cual se utiliza el método de fitorremediación mediante las plantas hiperacumuladoras, y se transfirieron los resultados de esos estudios a la presente investigación pudiendo así confirmar que el estudio es transferible.



- Confirmabilidad o reflexividad: Es el criterio mediante el cual se asegura la objetividad de la información a utilizar, para lo cual se debe garantizar que no se alteró ningún dato de los resultados obtenidos por los autores originales (Noreña et al., 2012, p.6).

Es demostrado mediante la interpretación de los datos obtenidos, los cuales son analizados y citados en los resultados de manera objetiva sin alterar ningún dato

### 3.8 Método de análisis de información

El método de análisis de la información fue mediante la triangulación, mediante la de análisis documental, la información recolectada fue en base a resolver los problemas y objetivos específicos, para determinar de qué manera las plantas hiperacumuladoras influyen en la disminución de la contaminación ambiental.

Se obtuvieron 3 categorías respecto a los objetivos y problemas específicos; de las cuales se dividieron las sub categorías, siendo entre ellas la identificación de los métodos de aplicación (Técnica termoquímica, fitoextracción asistida, Simbionte), determinar las concentraciones de metales pesados (Raíces, parte aérea) y por último saber cuál es la tolerancia a la toxicidad a la cual se puede exponer las plantas hiperacumuladoras (Porcentaje de remoción, Tiempo de exposición).

### 3.9 Aspectos éticos

Con la finalidad de garantizar la buena calidad del presente estudio que lleva por título: Fitorremediación mediante plantas hiperacumuladoras para el tratamiento de contaminación ambiental, se consideraron aspectos éticos, como la autoría de los investigadores quien fueron aporte y respaldo para el contenido del presente estudio, para ello se realizó la respectiva cita de el/los autor(es) de acuerdo a la norma ISO690, así como el respeto a los lineamientos propuestos por la resolución rectoral 0089-2019 de la Universidad César Vallejo, en la cual se encuentra la guía de productos observables. Confirmando de esta manera que se cumplió con los criterios de ética y se asegura la autenticidad y veracidad del presente estudio.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación se encuentra enfocado en determinar de qué manera las plantas hiperacumuladoras generan en la disminución de la contaminación ambiental; para ello se buscó resolver 3 objetivos específicos; siendo la primera el analizar las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras; donde los resultados son expuestos en la Tabla N°5.

Tabla N° 5: Métodos de aplicación

<b>Autor</b>	<b>Técnica</b>	<b>Método</b>
Cui et al., 2018	Gasificación	La gasificación de <i>Sedum alfredii</i> se realizó a una serie de temperaturas (300-900 ° C) con diferentes agentes gasificantes (N <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y aire)
Cano et al., 2020	Digestión por vía seca	Las raíces y la parte aérea se cortaron para obtener explantes iniciales homogéneos. Se conservaron a 23 ± 2 C y 16 h de fotoperiodo en una cámara climática.
Eissa A., 2017	No indica	No indica
Zhang et al., 2021	Termoquímica (incineración y pirolisis)	Las muestras de plantas frescas se lavaron secaron y pasaron al horno mufla, pasando por el proceso de pirolisis.
Su et al., 2021	Gasificación	Se utilizó la tecnología de gasificación de agua supercrítica (SCWG) para convertir <i>Sedum plumbizincicola</i> en gas hidrógeno (H <sub>2</sub> ) y para inmovilizar HM en biocarbón.
Chen et al., 2021	Digestión por vía seca	experimento de maceta para investigar los efectos de los nanotubos de carbono de paredes múltiples en el crecimiento de las plantas y el comportamiento de los metales pesados en el sistema hiperacumulador mediante la planta <i>S. nigrum</i> .
Zeng et al., 2019	Digestión por vía seca	Las raíces, los tallos (rizomas) y hojas (frondas) de cada planta se separaron y se lavaron a fondo con agua del grifo y se enjuagaron con agua desionizada y después se secaron a 105 °C durante 30 minutos y a 60 °C hasta alcanzar una masa constante. Las muestras secas se pesaron y se molieron con un mortero y se almacenadas para su análisis.

Lu et al., 2020	Digestión por vía seca	Las muestras de plantas se secaron en el horno a 70°C durante 72 h y se molieron hasta obtener un polvo fino. Aproximadamente 0,10 g de la muestra se digirió con 5 mL de HNO <sub>3</sub> ultrapuro en un aparato de digestión por microondas
Zhang et al., 2021	Termoquímica	Se pesaron submuestras de raíces secas, tallos y hojas (0,2 g), se molieron hasta obtener un polvo fino y se digirieron con una solución ácida que contenía 8 ml de HNO <sub>3</sub> y 2 ml de HClO <sub>4</sub> (4: 1, v / v) a 200 ° C. hasta que la solución se hizo clara. Luego, las muestras digeridas se completaron hasta 25 ml con una solución de HNO <sub>3</sub> al 1% y se filtraron a través de una membrana de filtración de 0,45 µm.
González C. y González M., 2006	Termoquímica	Cada muestra de planta representaba una mezcla de muestras de partes aéreas tomadas de 3 a 5 plantas. Las muestras de plantas se limpiaron con un detergente sin fosfatos (Extran 2%), se enjuagaron una vez con agua del agua del grifo, una vez con agua destilada y finalmente dos veces con agua desionizada, y luego secado a 65 2 C durante 48 h.
Bech et al., 2012	Termoquímica	El material vegetal se lavó con agua del grifo y agua destilada. Todas las plantas se dividieron en brotes y raíces y éstas se secaron a 65 °C y luego se digirieron en un horno de microondas utilizando una mezcla de ácido nítrico (65%) y peróxido de hidrógeno (30%) en una proporción de 5:1, respectivamente.
Zhang et al., 2021	Termoquímica	La pirólisis se llevó a cabo en un horno de pirólisis atmosférica a escala de banco.
Hazotte et al., 2020	Digestión por vía seca	Se recogieron al azar muestras sólidas de plantas secas o cenizas (aproximadamente 0,10 g) y se digirieron con 8,5 mL de HNO <sub>3</sub> concentrado y 1,5 mL de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , en un horno de microondas durante 50 min con un punto de ajuste de 200°C. Las soluciones resultantes se diluyeron hasta 50 mL con agua ultrapura antes de su análisis.
Morales A. y Moreira M., 2020	Digestión por vía seca	No indica
Yang et al., 2018	Digestión por vía seca	Se cortaron los brotes y posteriormente se eliminaron varias hojas. Las plantas se cultivaron

			cultivadas hidropónicamente en una solución nutritiva basal para que crecieran nuevas raíces
Munive et al., 2018	Digestión por vía seca	por	El peso fresco de las hojas. Tallos y raíz de la planta hiperacumuladora se lavaron secaron y llevaron a la estufa para obtener la materia seca.
Rámila et al., 2015	Digestión por vía seca	por	Las plantas se separaron inmediatamente en brotes y raíces y almacenadas a 4 °C en bolsas de plástico abiertas hasta su pretratamiento y análisis en el laboratorio mediante la técnica de digestión por vía seca.
Dou et al., 2020	Digestión por vía seca	por	Todas las plantas recolectadas se dividieron en dos partes de raíces y brotes y se enjuagaron con agua del grifo seguida de agua desionizada. La muestra de plantas se secó en el horno hasta obtener un peso constante y posteriormente se pulverizó (a través de un tamiz de 0,3 mm).

Elaboración propia

La digestión por vía seca, se da mediante el proceso de la destrucción de la materia orgánica, mediante el proceso de exposición a altas temperaturas de manera aeróbica, mediante la utilización de un horno mufla; y es la obtención de las cenizas blancas o plomas las que pasan a la adición de diferentes ácidos y es una de las técnicas más empleadas para la obtención de la materia seca de las plantas hiperacumuladoras para determinar la cantidad de contaminantes como metales pesados adsorbidos (Kothari et al., 2014, p.2).

Esto es apoyado por los diversos investigadores que emplearon dicha técnica, descrito en la tabla 5: Cui et al., 2018, Chen et al., 2021, Zeng et al., 2019, Lu et al., 2020, Hazotte et al., 2020, Morales A. y Moreira M., 2020, Yang et al., 2018, Munive et al., 2018, Rámila et al., 2015, Dou et al., 2020.

Al igual que la técnica de digestión por vía seca, se encuentra la técnica termoquímica; la cual también es empleada por una 5 de los 18 investigadores; siendo ello respaldado por: Zhang et al., 2021, Zhang et al., 2021, Gonzáles C. y Gonzáles M., 2006, Bech et al., 2012, Zhang et al., 2021.

Por otra parte, Su et al., (2021, p.1) presenta una oposición a lo anteriormente dicho ya que, señala que la técnica de gasificación es la más recomendada para convertir *Sedum plumbizincicola* en gas hidrógeno (H<sub>2</sub>) y para inmovilizar metales pesados en biocarbón, ya que, los metales pesados del suelo se convirtieron químicamente en formas estables mediante la complejación con componentes inorgánicos en biocarbón.

Siendo la afirmación de Su et al., (2021, p.1) respaldada por Cui et al., 2018, Su et al., 2021; quienes también elijen a la técnica de gasificación en la tabla 5, como la más eficaz.

También, las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran el mayor porcentaje de metales pesados es esencial determinar para saber cómo las plantas hiperacumuladoras afectan en la disminución de la contaminación ambiental; y los resultados se muestran en la tabla 6:

Tabla N° 6: Concentración de metales pesados

<b>Especie hiperac.</b>	<b>Parte hiperac.</b>	<b>Extracción de metales pesados de las plantas</b>	<b>Autor</b>
<i>Sedum alfredii</i>	Hojas	Los biocarros derivados de N <sub>2</sub> y CO <sub>2</sub> mostraron una capacidad de sorción considerable de Pb (134,2-198,8 mg/g) y Cd (38,1-186,8 mg/g).	Cui et al., 2018
<i>Arundo donax L.</i>	brotos y raíces	Cadmio (0,5 mM) Cromo (0,2 mM) Cobre (2 mM), Níquel (0,5 mM) Plomo (1 mM)	Cano et al., 2020
<i>Atriplex lentiformis</i>	brotos y raíces	No indica	Eissa A., 2017
<i>Sedum plumbizincicola</i>	Hojas	La pirólisis convirtió un máximo de 80,0% de Cd y 70,3% de Zn en <i>S. plumbizincicola</i> en fracciones oxidables y residuales, en comparación con la incineración que logró sólo una reducción de ~42%. Las recuperaciones de Cd y Zn en los residuos sólidos derivados de la ceniza disminuyeron de 84% a < 50% y de 85% a 71%	Zhang et al., 2021

<i>Sedum plumbizincicola</i>	No indica	El aumento de temperatura obtuvo una alta eficiencia de inmovilización de más del 99,2%.	Su et al., 2021
<i>Solanum nigrum</i> L	Raíces y hojas	La aplicación de MWCNT aumentó la longitud de los brotes y la biomasa seca de la planta en un 5,56% ± 25,13% y un 5,23% ± 27,97%	Chen et al., 2021
- <i>Arundo donax</i> L. - <i>Broussonetia papyrifera</i>	Raíces	La disminución del contenido de Zn fue notable para las raíces y los rizomas, que se redujeron significativamente en un 25,17% y 45,74%.	Zeng et al., 2019
<i>Sphagneticola calendulacea</i>	Partes aéreas de la planta	La simbiosis contribuyó a la conversión de Cd de formas químicas altamente tóxicas (extraídas con etanol al 80% y agua desionizada)	Lu et al., 2020
<i>Erigeron annuus</i> plántulas <i>E. annuus</i>	Raíces	0, 25 y 200 µmol/L de Cd	Zhang et al., 2021
<i>Sedum plumbizincicola</i>	Raíces	No indica	González C. y González M., 2006
- <i>Bidens triplinervia</i> - <i>Seneciosp</i>	Raíces	Se detectaron concentraciones inusualmente elevadas de estos metales en las raíces de <i>Bidens triplinervia</i> L. (por ejemplo, hasta 5180 mg Pb/kg y 9900 mg Zn/kg) mientras que <i>Senecio sp.</i> acumuló más metales pesados en brotes (por ejemplo, hasta 4250 mg Pb/kg y 3870 mg Zn/kg).	Bech et al., 2012
<i>Bidens pilosa</i> L.	Raíz, tallo y hoja	Peso seco de las hojas, tallo y raíz: 0,2g/kg	Zhang et al., 2021
- <i>Odontarrhena chalcidica</i> , - <i>Leptoplax emarginata</i> - <i>Berkheya coddii</i>	No indica	No indica	Hazotte et al., 2020
<i>Erato polymnioides</i>	Raíces, brotes y hojas	No indica	Morales A. y Moreira M., 2020
<i>Sedum alfredii</i>	Raíces y brotes	Concentración de Zn: 25,95 mg/kg Cd: 35,93 mg/kg	Yang et al., 2018

<i>Zea mays L.</i>	Hojas, tallos y raíz	La mayor acumulación de Pb y Cd se da en la raíz.	Munive et al., 2018
<i>Puccinellia frigida</i>	Brotes y raíz	Peso seco de boro de los brotes: 4900 mg / kg	Rámila et al., 2015
<i>Solanum nigrum L.</i>	Brotes y raíces	Las concentraciones de Cd de brotes y raíces fueron muy altas para diferentes compuestos de Cd en suelos incluso con compuestos de Cd bajos.	Dou et al., 2020

Elaboración propia

De acuerdo con lo expuesto en la tabla 6, un 85% de los investigadores presentaron mayor acumulación de la adsorción de los contaminantes en las raíces de las plantas; siendo esto comprobado mediante las diversas técnicas (ver tabla 5) a las cuales se les fue sometidas para la obtención de su peso seco; como se muestra, y es corroborado por los investigadores: Cano et al., 2020, Eissa A., 2017, Chen et al., 2021, Zeng et al., 2019, Zhang et al., 2021, Gonzáles C. y Gonzáles M., 2006, Bech et al., 2012, Zhang et al., 2021, Morales A. y Moreira M., 2020, Yang et al., 2018, Munive et al., 2018, Rámila et al., 2015, Dou et al., 2020.

Esto es también respaldado por investigadores como Cano et al., (2020, p.1) quien señala que los resultados mostraron en su estudio que los metales pesados se acumulaban principalmente en órganos subterráneos, como las raíces de las plantas hiperacumuladoras y en menor cantidad en las partes aéreas. Así también lo confirma Ge et al., (2020, p.1) en su investigación, señalando que las raíces son de alta tolerancia al Ni y muestran una fitotoxicidad inducida por Ni mucho menos pronunciada y el Ni y O<sub>2</sub> inducido se acumularon en la parte apoplásica de las células de la raíz de la planta *Sedum alfredii*.

Por otro lado, estas afirmaciones son refutadas por Cui et al., 2018 en la tabla 6, quien indica que el *Sedum alfredii* presentó mayor adsorción de los contaminantes Pb y Cd en sus hojas, presentando una capacidad de sorción del 134,2-198,8 mg/g y 38,1-186,8 mg/g, respectivamente.

De igual manera, los siguientes investigadores afirman que la mayor adsorción se dio en los brotes y hojas de las plantas hiperacumuladoras: Cui et al., 2018, Zhang

et al., 2021, Lu et al., 2020, Zhang et al., 2021, Morales A. y Moreira M., 2020, Munive et al., 2018.

De manera análoga, Ge et al. (2021, p.2) afirma que los resultados mostraron que el ecotipo hiperacumulante exhibió alta tolerancia al Mn y acumuló alrededor de 10,000 y 12,000 mg kg<sup>-1</sup> Mn en raíces y brotes, respectivamente, sin presentar toxicidad por debajo de 5000 mg kg<sup>-1</sup>. De manera similar Jara et al., (2014, p.3) mostró que *Solanum nitidum*, presentó los mayores valores de acumulación de plomo, zinc y cadmio en la raíz con el tratamiento de 100% de relave de mina; acumulando 576 mg de plomo por kg de materia seca (MS), 431.4 mg de zinc kg<sup>-1</sup> MS (Fig. 1) y 8.7 mg de cadmio kg<sup>-1</sup> MS.

La importancia de determinar los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental, es de suma importancia para determinar de qué manera las plantas hiperacumuladoras generan una disminución de la contaminación ambiental; por ello se expuso en la tabla 7, unas de las características o componentes principales que presentan estas plantas hiperacumuladoras.

Tabla N° 7: Tolerancia a la toxicidad

Planta Hip.	Porcentaje de remoción /Eficiencia de remoción	Tiempo de exposición	Autor
<i>Sedum alfredii</i>	Mn: 94,6% Zn: 52,4% Pb: 14,2%	No indica	Cui et al., 2018
<i>Arundo donax L.</i>	Cr: 75% Ni: 75% Cu: 62% Cd: 45%	30 días	Cano et al., 2020
<i>Atriplex lentiformis</i>	<i>Atriplex lentiformis</i> más vinanza: 8,34% del Cd total del suelo	100 días	Eissa A., 2017
<i>Sedum plumbizincicola</i>	Cd: 33,57 mg/kg (84%) Zn: 2539.11 mg/kg(85%)	No indica	Zhang et al., 2021
<i>Sedum plumbizincicola</i>	Zn, Mn, Cd, Pb, C: 99,2%	No indica	Su et al., 2021
<i>Solanum nigrum L</i>	Cd: 18,29% As: 32,47%	60 días	Chen et al., 2021
- <i>Arundo donax L.</i>	Zn: 45,74%	270 días	Zeng et al., 2019
	Zn: 36,56%		



<i>-Broussonetia papyrifera</i>			
<i>Sphagneticola calendulacea</i>	Cd: más de 100mg/Cd Kg. en las partes aéreas de la planta Cd en las raíces: 74,07, 105,88 y 194,20 mg/kg	72 horas	Lu et al., 2020
<i>Erigeron annuus</i> <i>plántulas E. annuus</i>	No indica	15 días	Zhang et al., 2021
<i>Sedum plumbizincicola</i>	Acumulación de Zn mediate la planta <i>Polygonum aviculare</i> : 9236 mg/kg <i>Jatropha dioica</i> de Zn: 6249 mg/kg	7 semanas y 75 horas	Gonzáles C. y Gonzáles M., 2006
<i>-Bidens triplinervia</i> <i>- Seneciosp</i>	Adsorción de <i>Bidens triplinervia</i> L.: en un 80% <i>Senecio sp.</i> : acumuló más metales pesados en los brotes en un 90%.	No indica	Bech et al., 2012
<i>Bidens pilosa</i> L.	Adsorción de <i>B.pilosa</i> no plantada: 15,40% <i>B.pilosa</i> plantada: 21,17%	No indica	Zhang et al., 2021
<i>-Odontarrhena chalcidica,</i> <i>-Leptoplax emarginata</i> <i>-Berkheya coddii</i>	A 500°C el Ni desaparece al 100%	16 h de día/8 h de noche	Hazotte et al., 2020
<i>Erato polymnioides</i>	Porcentaje de adsorción del 80%	60 días	Morales A. y Moreira M., 2020
<i>Sedum alfredii</i>	Zn: 4 50 µM Cd: 10 µM	3 h, 24 h, 72 h y 8 d	Yang et al., 2018
<i>Zea mays</i> L.	El promedio de la adsorción de los tratamientos: raíces (80 %) hojas (15 %) tallos (5%)	No indica	Munive et al., 2018
<i>Puccinellia frigida</i>	Adsorción de K: 800 mg/Kg P: 40 mg/kg	No indica	Rámila et al., 2015
<i>Solanum nigrum</i> L.	Los brotes de <i>S. nigrum</i> : 0,73 g en Cd.	No indica	Dou et al., 2020

Elaboración propia

Una de las cualidades o características de las plantas hiperacumuladoras es su tolerancia de la toxicidad de metales pesados o iones metálicos; como lo muestran los siguientes investigadores, quienes demostraron la alta capacidad para adsorber estos contaminantes en sus hojas, raíces, etc.: Cui et al., 2018, Cano et al., 2020, Zhang et al., 2021, Su et al., 2021, Lu et al., 2020, Gonzáles C. y Gonzáles M., 2006, Bech et al., 2012, Hazotte et al., 2020, Morales A. y Moreira M., 2020, Yang et al., 2018.

De igual forma de acuerdo con Usmani et al., (2019, p.1) las especies de plantas hiperacumuladoras tienen el poder de crecer y soportar altas concentraciones de contaminantes en el suelo; acumulando en sus tejidos de 10 a 500 veces más metales que las plantas que crecen en áreas no contaminadas

De acuerdo con Lu et al., (2020, p.1) en la tabla 7, *Sphagneticola calendulacea* mostró alta tolerancia al Cd y el factor de translocación y el factor de bioconcentración excedieron en 1, y se observó acumulación de más de 100 mg Cd kg<sup>-1</sup> en las partes aéreas de la planta, cumpliendo con los requisitos para un hiperacumulador de Cd. Esta afirmación es apoyada por Hazotte et al., 2020, quien utilizando las plantas *Odontarrhena chalcidica*, *Leptoplax emarginata* y *Berkheya coddii* eliminando el Ni en un 100%.

De igual manera, están los Cui et al., 2018 quien emplea la planta *Sedum alfredii* con una tolerancia a los metales Mn y Zn, removiéndolos en un 94% y 52,4% respectivamente; tal es el caso de Morales A. y Moreira M., 2020, quien utiliza la planta *Erato polymnioides*, demostrando una alta tolerancia a los metales pesados, y demostrando una alta adsorción del 80% en sus raíces a brotes. Esto es apoyado por Miransari M., (2016, p.1) quien señala que los hiperacumuladores tienen ciertos caracteres que los distinguen de otros no acumuladores, como una mayor tasa de absorción de metales pesados, una translocación más rápida de raíz a brote y una mayor capacidad para desintoxicar y secuestrar metales pesados en las hojas.

Apoyando la afirmación los autores Cano et al., 2020, Eissa A., 2017, Chen et al., 2021, Zhang et al., 2021, Morales A. y Moreira M., 2020, Yang et al., 2018, Munive et al., 2018, Rámila et al., 2015 y Dou et al., 2020 en la Tabla 6, quienes presentan

como características la translocación de los metales pesados desde las raíces a los brotes de manera más rápido y almacenándolos en sus hojas.

## V. CONCLUSIONES

De acuerdo con la revisión literaria realizada respecto a las plantas hiperacumuladoras y como ellas generan la disminución de la contaminación ambiental, se tuvo las siguientes conclusiones:

- Las técnicas de separación de los metales pesados adsorbidos por las plantas hiperacumuladoras son la digestión por vía seca y la técnica termoquímica, y son más empleadas debido a que estas presentan mayor eficiencia permiten que se obtenga resultados más exactos y precisos cuando se realice el análisis.
- Las partes de las plantas hiperacumuladoras en las que se concentran mayor porcentaje de metales pesados en un 85% de los investigadores se dio una mayor acumulación de la adsorción de los contaminantes en las raíces de las plantas.
- Los componentes principales de las plantas hiperacumuladoras en el tratamiento de la contaminación ambiental, son como cualidades o características la tolerancia de la toxicidad de metales pesados o iones metálicos que presentan, así como la alta tasa de absorción de metales pesados y la translocación más rápida de raíz a brote lo que beneficia en una mayor capacidad para desintoxicar y secuestrar metales pesados en las hojas.

## VI. RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista teórico se recomienda realizar mayores investigaciones en base a las propiedades y beneficios de las plantas hiperacumuladoras, ya que es necesario comprender el mecanismo de la hiperacumulación en las plantas; para ello se muestran las siguientes recomendaciones:

- Realizar estudios prácticos en los cuales se investigue las bases genéticas de la hiperacumulación, variación genética entre los hiperacumuladores, el patrón de variación genética y el grado de tolerancia a los metales.
- Estudiar los efectos ecológicos de la hiperacumulación para investigar si el fenómeno de las plantas hiperacumuladoras se utiliza para remediar tierras contaminadas con metales o para extraer metales a gran escala.
- Realizar mayores investigaciones empleando microbiotas asociadas a las plantas de especies de hiperacumuladoras comunes y analizar las implicaciones y las perspectivas futuras de la explotación del microbioma para mejorar la absorción de metales por las plantas.

## REFERENCIAS

- ALONSO-ARENA, Jesica Araceli, et al. ¿Es funcional la biorremediación en la eliminación de níquel en un suelo contaminado? 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12371/9327>
- BELESSI, Vassiliki; PETRIDIS, Dimitris. Modified and nonmodified TiO<sub>2</sub> nanoparticles for environmental applications. En *The Role of Colloidal Systems in Environmental Protection*. Elsevier, 2014. p. 289-330. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63283-8.00013-2>
- BHAYANI, Apoorva, et al. Microbial-assisted heavy metal remediation: Bottlenecks and prospects. En *Removal of Toxic Pollutants Through Microbiological and Tertiary Treatment*. Elsevier, 2020. p. 349-372. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821014-7.00014-9>
- BERK, Michael, et al. The use of mixed methods in drug discovery: Integrating qualitative methods into clinical trials. En *Clinical trial design challenges in mood disorders*. Academic Press, 2015. p. 59-74. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405170-6.00006-3>
- BOLAN, Nanthi S., et al. Cadmium contamination and its risk management in rice ecosystems. *Advances in agronomy*, 2013, vol. 119, p. 183-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407247-3.00004-4>
- BÜYÜKTIRYAKI, Sibel, et al. Lab-on-chip platforms for environmental analysis. *Encyclopedia of Analytical Science*, 2019, p. 267-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14489-0>
- CANO-RUIZ, J., et al. Assessing *Arundo donax* L. in vitro-tolerance for phytoremediation purposes. *Chemosphere*, 2020, vol. 252, p. 126576. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126576>
- CARTAYA, Omar, et al. Efecto de la aplicación foliar de oligogalacturónidos a plántulas de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la fitoextracción de cobre de suelo contaminado. *Cultivos Tropicales*, 2017, vol. 38, no 3, p. 142-147. ISSN 1819-4087

CHAMBA, Irene, et al. Erato polymnioides—A novel Hg hyperaccumulator plant in ecuadorian rainforest acid soils with potential of microbe-associated phytoremediation. *Chemosphere*, 2017, vol. 188, p. 633-641. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.160>

CHEN, Jian, et al. Phytoremediation to remove metals/metalloids from soils. *En Phytoremediation*. Springer, Cham, 2015. p. 297-304. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-10969-5\\_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-10969-5_24)

CHEN, Xunfeng, et al. Small structures with big impact: Multi-walled carbon nanotubes enhanced remediation efficiency in hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. under cadmium and arsenic stress. *Chemosphere*, 2021, vol. 276, p. 130130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130130>

KOTHARI, Richa, et al. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 39, p. 174-195. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.011>

CUI, Xiaoqiang, et al. A review on the thermal treatment of heavy metal hyperaccumulator: Fates of heavy metals and generation of products. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, p. 123832. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123832>

CUI, Xiaoqiang, et al. Simultaneous syngas and biochar production during heavy metal separation from Cd/Zn hyperaccumulator (*Sedum alfredii*) by gasification. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 347, p. 543-551. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.133>

DAI, Huiping, et al. Phytoremediation of two ecotypes cadmium hyperaccumulator *Bidens pilosa* L. sourced from clean soils. *Chemosphere*, 2021, vol. 273, p. 129652. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.129652>

Dimitrakopoulos, G., Uden, L., & Varlamis, I. (2020). User requirements and preferences for ITS. *The Future of Intelligent Transport Systems*, 43–62. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818281-9.00004-8>

DOU, Xuekai, et al. Strong accumulation capacity of hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. for low or insoluble Cd compounds in soil and its implication for phytoremediation. *Chemosphere*, 2020, vol. 260, p. 127564. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127564>

EISSA, Mamdouh A. Phytoextraction mechanism of Cd by *Atriplex lentiformis* using some mobilizing agents. *Ecological Engineering*, 2017, vol. 108, p. 220-226. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.025>

GE, Jun, et al. Nickel tolerance, translocation and accumulation in a Cd/Zn co-hyperaccumulator plant *Sedum alfredii*. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, vol. 398, p. 123074. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123074>

GE, Jun, et al. Exogenous application of Mn significantly increased Cd accumulation in the Cd/Zn hyperaccumulator *Sedum alfredii*. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 278, p. 116837. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116837>

GINOCCHIO, ROSANNA; BAKER, ALAN JM. Metalófitas en América Latina: un recurso biológico y genético único poco conocido y estudiado en la región. *Revista chilena de historia natural*, 2004, vol. 77, no 1, p. 185-194. ISSN 0716-078X

GONZÁLEZ, R. Carrillo; GONZÁLEZ-CHÁVEZ, M. C. A. Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. *Environmental Pollution*, 2006, vol. 144, no 1, p. 84-92. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.01.006>

GUO, JunKang, et al. Effects of EDTA and plant growth-promoting rhizobacteria on plant growth and heavy metal uptake of hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance. *Journal of Environmental Sciences*, 2020, vol. 88, p. 361-369. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.10.001>

HAZOTTE, Claire, et al. Evaluation of the performance of nickel hyperaccumulator plants as combustion fuel. *Biomass and Bioenergy*, 2020, vol. 140, p. 105671. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105671>



HE, Shanying, et al. Mechanisms of nickel uptake and hyperaccumulation by plants and implications for soil remediation. *Advances in agronomy*, 2012, vol. 117, p. 117-189. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394278-4.00003-9>

HUAYTA, Papuico; ZULMA, Karito. Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta Yaluzai (*senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas. 2018.

IATAN, Elena-Luisa. Gold mining industry influence on the environment and possible phytoremediation applications. En *Phytoremediation of Abandoned Mining and Oil Drilling Sites*. Elsevier, 2021. p. 373-408. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821200-4.00007-8>

JAN, Sumira, et al. Genetic strategies for advancing phytoremediation potential in plants: a recent update. *Plant Metal Interaction*, 2016, p. 431-454. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00017-5>

JARA-PEÑA, Enoc, et al. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología*, 2014, vol. 21, no 2, p. 145-154. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>

KEERAN, Nisha Surendran, et al. *Prosopis juliflora*: a potential plant for mining of genes for genetic engineering to enhance phytoremediation of metals. En *Transgenic plant technology for remediation of toxic metals and metalloids*. Academic Press, 2019. p. 381-393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814389-6.00018-3>

KIDD, Petra Susan, et al. Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Revista Ecosistemas*, 2007, vol. 16, no 2. ISSN: 1132-6344

KUDOYAROVA, Guzel, et al. Phytohormone mediation of interactions between plants and non-symbiotic growth promoting bacteria under edaphic stresses. *Frontiers in plant science*, 2019, vol. 10, p. 1368. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01368>

Landrigan, P.J., Fuller, R., Acosta, N.J.R., Adeyi, O., Arnold, R., Basu, N., et al., 2017. The Lancet Commission on pollution and health. *Lancet* 391 (10119), 462512. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32345-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32345-0)

LANDÍN MIRANDA, Ma; ROSARIO, Del; SÁNCHEZ TREJO, Sandra Ivonne. El método biográfico-narrativo: una herramienta para la investigación educativa. *Educación*, 2019, vol. 28, no 54, p. 227-242. Disponible en: <https://doi.org/10.18800/educacion.201901.011>

LI, Zhu, et al. Changes in metal mobility assessed by EDTA kinetic extraction in three polluted soils after repeated phytoremediation using a cadmium/zinc hyperaccumulator. *Chemosphere*, 2018, vol. 194, p. 432-440. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.005>

LLUGANY, M., et al. Hiperacumulación de metales: ¿ una ventaja para la planta y para el hombre?. *Revista Ecosistemas*, 2007, vol. 16, no 2. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?id=484>

LU, Rui-Rui, et al. The effect of *Funneliformis mosseae* on the plant growth, Cd translocation and accumulation in the new Cd-hyperaccumulator *Sphagneticola calendulacea*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2020, vol. 203, p. 110988. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110988>

MARRERO-COTO, Jeannette; AMORES-SÁNCHEZ, Isis; COTO-PÉREZ, Orquídea. Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 2012, vol. 46, no 3, p. 52-61. ISSN: 0138-6204

MARTÍNEZ SEPÚLVEDA, José Alejandro; CASALLAS, Miguel Reinaldo. Contaminación y remediación de suelos en Colombia: aplicación a la minería de oro. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814389-6.00020-1>

MEO, Sultan Ayoub, et al. Effect of environmental pollution PM<sub>2.5</sub>, carbon monoxide, and ozone on the incidence and mortality due to SARS-CoV-2 infection in London, United Kingdom. *Journal of King Saud University-Science*, 2021, vol. 33, no 3, p. 101373. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101373>

MIRANSARI, Mohammad. Soybean production and heavy metal stress. En *Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production*. Academic Press, 2016. p. 197-216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801536-0.00009-8>

MORALES-HERRERA, Alexandra; MOREIRA-PALACIOS, Máximo. Propagación de erato polynnioides, en combinaciones de sustratos, reguladores de crecimiento y agrupación de plántulas. *Agronomía Costarricense*, 2020, vol. 44, no 1, p. 133-144. Disponible en: [www.mag.go.cr/rev\\_agr/index.html](http://www.mag.go.cr/rev_agr/index.html)

MOTUZOVA, G. V., et al. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, vol. 144, p. 241-246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.01.026>

MUNIVE CERRÓN, Rubén, et al. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 2018, vol. 9, no 4, p. 551-560. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>

NOREÑA-PEÑA, Ana, et al. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Aquichan*, 2012, vol. 12, no 3, p. 263-274. ISSN 1657-5997

PACIONE, Michael (ed.). *Applied geography: principles and practice: an introduction to useful research in physical, environmental and human geography*. Psychology Press, 1999. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-008044910-4.00663-5>

PANDEY, Vimal Chandra; BAJPAI, Omesh. Phytoremediation: from theory toward practice. En *Phytomanagement of polluted sites*. Elsevier, 2019. p. 1-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00001-6>

RADOJEVIC, Miroslav; BASHKIN, Vladimir; BASHKIN, Vladimir Nikolaevich. *Practical environmental analysis*. Royal society of chemistry, 1999. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816934-6.00001-1>

RAI, Prabhat K. Particulate matter and its size fractionation. *Biomagnetic Monitoring of Particulate Matter*, 2016, vol. 1, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805135-1.00001-9>

RÁMILA, Consuelo DP, et al. Boron accumulation in *Puccinellia frigida*, an extremely tolerant and promising species for boron phytoremediation. *Journal of Geochemical Exploration*, 2015, vol. 150, p. 25-34. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.12.020>

RASKIN, Ilya, et al. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in biotechnology*, 1994, vol. 5, no 3, p. 285-290. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0958-1669\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0958-1669(94)90030-2)

ROBINSON, B. H., et al. The nickel hyperaccumulator plant *Alyssum bertolonii* as a potential agent for phytoremediation and phytomining of nickel. *Journal of Geochemical Exploration*, 1997, vol. 59, no 2, p. 75-86. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0375-6742\(97\)00010-1](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(97)00010-1)

RUS, A. Z. M. Biopolymers for superhydrophobic photocatalytic coatings. *En Biopolymers and Biotech Admixtures for Eco-Efficient Construction Materials*. Woodhead Publishing, 2016. p. 421-447. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100214-8.00018-X>

SARAVANAKUMAR, D., et al. *Pseudomonas fluorescens* enhances resistance and natural enemy population in rice plants against leaffolder pest. *Journal of applied entomology*, 2008, vol. 132, no 6, p. 469-479. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2008.01278.x>

SAXENA, Jyoti, et al. Consortium of phosphate-solubilizing bacteria and fungi for promotion of growth and yield of chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of Crop Improvement*, 2015, vol. 29, no 3, p. 353-369. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15427528.2015.1027979>

SARWAR, Nadeem, et al. Zinc–cadmium interactions: impact on wheat physiology and mineral acquisition. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2015, vol. 122, p. 528-536. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.09.011>

SINGH, Devendra, et al. Prospecting plant–microbe interactions for enhancing nutrient availability and grain biofortification. En *Wheat and Barley Grain Biofortification*. Woodhead Publishing, 2020. p. 203-228. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818444-8.00008-0>

SINGER, Andrew C., et al. Phytoremediation of mixed-contaminated soil using the hyperaccumulator plant *Alyssum lesbiacum*: evidence of histidine as a measure of phytoextractable nickel. *Environmental Pollution*, 2007, vol. 147, no 1, p. 74-82. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.029>

SU, Wei, et al. Hydrogen production and heavy metal immobilization using hyperaccumulators in supercritical water gasification. *Journal of hazardous materials*, 2021, vol. 402, p. 123541. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123541>

TAO, Qi, et al. *Ochrobactrum intermedium* and saponin assisted phytoremediation of Cd and B [a] P co-contaminated soil by Cd-hyperaccumulator *Sedum alfredii*. *Chemosphere*, 2020, vol. 245, p. 125547. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125547>

UKAOGO, Prince O.; EWUZIE, Ugochukwu; ONWUKA, Chibuzo V. Environmental pollution: causes, effects, and the remedies. *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, 2020, p. 419. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819001-2.00021-8>

USMANI, Zeba, et al. Scope for Applying Transgenic Plant Technology for Remediation and Fortification of Selenium. En *Transgenic Plant Technology for Remediation of Toxic Metals and Metalloids*. Academic Press, 2019. p. 429-461. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814389-6.00020-1>

VALDIVIA, Janet Edith Gonzales, et al. Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales;“girasol”,“alfalfa”,“geranio” e “higuerilla”. *SEARCHING-SCIENCE*, 2018, vol. 1, no 1, p. 12-12.

VERA, A., et al. Phytoremediation of wastewater with high lead content and using *Typha domingensis* and *Canna generalis*. *Rev. Técnica Fac. Ing. Univ. Zulia*, 2016, vol. 39, p. 88-95. ISSN 0254-0770

WANG, Qiong, et al. Inoculation of plant growth promoting bacteria from hyperaccumulator facilitated non-host root development and provided promising agents for elevated phytoremediation efficiency. *Chemosphere*, 2019, vol. 234, p. 769-776. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.132>

WU, Yingjie, et al. *Pseudomonas fluorescens* promote photosynthesis, carbon fixation and cadmium phytoremediation of hyperaccumulator *Sedum alfredii*. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 726, p. 138554. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138554>

XIONG, Jinhui; XU, Deyi. Relationship between energy consumption, economic growth and environmental pollution in China. *Environmental Research*, 2021, vol. 194, p. 110718. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110718>

YANG, Qianying, et al. SaZIP4, an uptake transporter of Zn/Cd hyperaccumulator *Sedum alfredii* Hance. *Environmental and experimental botany*, 2018, vol. 155, p. 107-117. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.06.021>

ZHANG, Hong, et al. Tolerance and detoxification mechanisms to cadmium stress by hyperaccumulator *Erigeron annuus* include molecule synthesis in root exudate. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, vol. 219, p. 112359. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112359>

ZHANG, Jin, et al. Comparison of ashing and pyrolysis treatment on cadmium/zinc hyperaccumulator plant: Effects on bioavailability and metal speciation in solid residues and risk assessment. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 272, p. 116039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116039>

ZHANG, Jin, et al. Comparison of ashing and pyrolysis treatment on cadmium/zinc hyperaccumulator plant: Effects on bioavailability and metal speciation in solid residues and risk assessment. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 272, p. 116039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116039>

ZENG, Peng, et al. Complementarity of co-planting a hyperaccumulator with three metal (loid)-tolerant species for metal (loid)-contaminated soil remediation. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019, vol. 169, p. 306-315. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.017>

## ANEXOS

### Anexo 1: Ficha de recolección de datos

	<b>FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO</b>		
Título: Biorremediación en la eliminación de Níquel en un suelo contaminado			
Datos del Autor:	Nombres Alonso- Arena, Jesica Araceli	Año 2019	Página(s) 19
Portal web: <a href="https://hdl.handle.net/20.500.1237/1/9327">https://hdl.handle.net/20.500.1237/1/9327</a>	DOI / ISBN / ISNN:		Lugar de publicación: Mexico
Tipo de investigación: Descriptiva			
Palabras claves:	Biorremediación, contaminación, metal pesado		
Autores:	Alonso-Arena, Jesica Araceli Carbajal-Armenta, Adriana Castañeda-Antonio, Dolores Morales-García, Yolanda Elizabeth Bustillos-Cristales, María del Rocío Morales-Sandoval, Paulina Itzel Santamaría-Juárez, Juana Deysi Munguía-Pérez, Ricardo		
Objetivos:	Desarrollar un sustrato contaminado con altas concentraciones de níquel, bajo las condiciones experimentales		
Tipos de hiper acumulador			
Resultados:	No se puede desarrollarse en un sustrato contaminado con altas concentraciones de níquel, bajo las condiciones experimentales evaluadas		

Elaboración propia