



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Capacidad de Absorción de Plantas Hiperacumuladoras:**

**Revisión Bibliográfica**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTORA:**

Ventura Carlos Miriam Mercedes (orcid.org/0000-0001-5833-8088)

**ASESOR:**

Mgtr. Honores Balcazar, Cesar Francisco (orcid.org/0000-0003-3002-1327)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

La presente Tesis está dedicada a Dios en primer lugar , puesto que el principio de la sabiduría es el temor a JEHOVA, él nos brinda sabiduría, amor y paciencia, nos ayuda en los momentos más difíciles dándonos fortaleza de seguir adelante, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para ser de mí una mejor persona, a mi hijo Santiago que es mi motivación, impulso e Inspiración y a todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios en primer lugar ya que el que nos da vida cada día, gracias a él e logrado concluir mi carrera siempre me da fortaleza en los momentos más difíciles, a mis padres por Sus consejos, apoyo y amor, a mi hijo Santiago por ser la bendición más grande en mi vida, a mi familia por estar siempre conmigo, a Mauricio Galeano ya que fue una de las primeras personas que me motivo a seguir y no desistir, todas estas personas han influido en mi vida y han sido parte de mis logros por ello siempre les estaré agradecida que sean parte de mi vida. .

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	6
Resumen.....	7
Abstract.....	8
I. INTRODUCCIÓN.....	9
II. MARCO TEÓRICO.....	11
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	16
3.2. Categorías y matriz de operacionalización.....	16
3.3. Escenario de estudio.....	16
3.4. Participantes.....	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6. Procedimiento.....	17
3.7. Rigor científico.....	17
3.8. Métodos de análisis de datos.....	18
3.9. Aspectos éticos.....	18
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.....	19
V. CONCLUSIONES.....	22
VI. RECOMENDACIONES.....	23
REFERENCIAS.....	24
ANEXOS.....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y limitaciones .....	19
Tabla 2. Especies de la familia Basicaceae con propiedad de hiperacumulación .	30
Tabla 3. Familia principales con propiedad de hiperacumulación .....	30
Tabla 4. Especies con hiperacumulación comprobada para Aluminio .....	31
Tabla 5. Especies con hiperacumulación comprobada para Arsénico .....	31
Tabla 6. Especies con hiperacumulación comprobada para Boro.....	31
Tabla 7. Especies con hiperacumulación comprobada para Calcio .....	32
Tabla 8. Especies con hiperacumulación comprobada para Cadmio .....	32
Tabla 9. Especies con hiperacumulación comprobada para Cobalto.....	33
Tabla 10. Especies con hiperacumulación comprobada para Cobre .....	33
Tabla 11. Especies con hiperacumulación comprobada para Cromo .....	34
Tabla 12. Especies con hiperacumulación comprobada para Hierro .....	34
Tabla 13. Especies con hiperacumulación comprobada para Magnesio.....	34
Tabla 14. Especies con hiperacumulación comprobada para Mercurio .....	35
Tabla 15. Especies con hiperacumulación comprobada para Manganeso.....	35
Tabla 16. Especies con hiperacumulación comprobada para Níquel.....	35
Tabla 17. Especies con hiperacumulación comprobada para oro .....	36
Tabla 18. Especies con hiperacumulación comprobada para Potasio .....	36
Tabla 19. Especies con hiperacumulación comprobada para Plomo .....	36
Tabla 20. Especies con hiperacumulación comprobada para Selenio .....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema con los diferentes métodos de fitoremediación .....	14
---	----

## Resumen

La capacidad de plantas hiperacumuladoras, son importantes ya que permiten bioacumulación de metales pesados en raíces, tallos y hojas. El hecho de emplear plantas para absorber metales pesados es conocido como técnicas de fitoremediación. Estas técnicas están supeditados al ciclo de vida de las plantas, sin embargo, esto ofrece una alternativa ambientalmente sostenible. La investigación tuvo como objetivo general: Analizar la capacidad de absorción de plantas hiperacumuladoras, y como objetivos específicos: Describir las ventajas de las plantas hiperacumuladoras. Describir las limitaciones de las plantas hiperacumuladoras e Identificar las plantas con potencial hiperacumulador.

La investigación es de tipo aplicado, tuvo un enfoque cualitativo, ya que busca identificar, examinar e interpretar datos obtenidos de la literatura bibliográfica. Los resultados obtenidos refieren que las plantas con potencial hiperacumulador son las especies de la familia *Basidiaceae*.

Las conclusiones arriban a identificar ventajas de estas plantas hiperacumuladoras en la que su ciclo biológico es rápido y se pudieran emplear en extensas áreas contaminadas. Sin embargo, las limitaciones pudieran asociarse a la naturaleza de la planta, entonces la capacidad de hiperacumulación de metales pesados se vería afectada.

Los métodos más utilizados para absorber metales pesados de suelos contaminados son la fitoextracción y la fitoestabilización.

**PALABRAS CLAVES:** hiperacumuladores, metales pesados, fitoextracción y fitoestabilización

## **Abstract**

The hyperaccumulating capacity of plants is important since they allow bioaccumulation of heavy metals in roots, stems and leaves. The fact of using plants to absorb heavy metals is known as phytoremediation techniques. These techniques are subject to the life cycle of the plants, however, this offers an environmentally sustainable alternative.

The general objective of the research was: To analyze the absorption capacity of hyperaccumulative plants, and as specific objectives: To describe the advantages of hyperaccumulative plants. Describe the limitations of hyperaccumulating plants and identify plants with hyperaccumulating potential.

The research is of an applied type, it had a qualitative approach, since it seeks to identify, examine and interpret data obtained from the bibliographic literature. The results obtained indicate that the plants with hyperaccumulating potential are the species of the Basicaceae family.

The conclusions come to identify advantages of these hyperaccumulative plants in which their biological cycle is fast and they could be used in extensive contaminated areas. However, the limitations could be associated with the nature of the plant, then the ability to hyperaccumulate heavy metals would be affected.

The most used methods to absorb heavy metals from contaminated soils are phytoextraction and phytostabilization.

**KEY WORDS:** hyperaccumulators, heavy metals, phytoextraction and phytostabilization



## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es una problemática mundial, ante esto la remediación y tratamiento de elementos ambientales es una prioridad. La salud pública se ve afectada seriamente por este hecho, las industrias aportan gran cantidad de contaminantes que inciden en el agua, el aire y el suelo.

Los metales pesados en el suelo son remediados a través de técnicas de bioabsorción de planta hiperacumuladoras, a través de técnicas de fitoremediación. Los metales presentes en el suelo principalmente son: bario, cadmio, cobre, zinc, plomo, arsénico y cromo.

Las plantas pertenecientes a la familia Brassicaceae, son principalmente acumuladoras de metales pesados.

Wiche (2016), Tognacchini et al., (2020) y Gonzales et al., (2018), en sus investigaciones referidos a plantas hiperacumuladoras de metales pesados, refieren que el conocer la capacidad que tienen estas plantas, permitirán tener beneficios económicos, sobre desechos de níquel, oro, plata y cobre.

La investigación obedece a un análisis bibliográfico, en ese sentido se justifica teóricamente porque aportara a profundizar el conocimiento. Se justifica ambientalmente porque las plantas con potencial hiperacumulador, ayudan a remediar suelos contaminados por metales pesados, esto es sostenible. Se justifica por su utilidad práctica, ya que se pueden utilizar directamente sobre suelos contaminados. Además, tiene una justificación económica, porque el uso de estas plantas para absorber metales pesados, no requiere grandes inversiones.

En ese sentido se plantean como problema general ¿Cuál es la capacidad de absorción de las plantas hiperacumuladoras? Y como problemas específicos:

PE1. ¿Cuáles son las ventajas de utilizar plantas hiperacumuladoras?

PE2. ¿Cuáles son las limitaciones de las plantas hiperacumuladoras?

PE3. ¿Cuáles son las plantas más comunes con potencial hiperacumulador?

Así mismo, la investigación tuvo como problema general: Analizar la capacidad de absorción de plantas hiperacumuladoras, y como problemas específicos:

OE1.Describir las ventajas de las plantas hiperacumuladoras

OE2.Describir las limitaciones de las plantas hiperacumuladoras

OE3.Identificar las plantas con potencial hiperacumulador.

## II. MARCO TEÓRICO

Pajoy Muñoz (2017), En su investigación publicada, estudió la posibilidad de *Pennisetum setaceum* y *Tradescantia pallida* para remediar suelos contaminados. Usó parcelas comparativas en su investigación y demostró que las dos plantas ornamentales podrían ser eficaces para eliminar el cromo, el cadmio, el plomo y el níquel del suelo, esto en el sector de Moravia en Medellín, Colombia.

La conclusión de esta investigación es según el análisis de los factores de bio concentración de cadmio y Níquel, donde demuestran gran tolerancia a factores físicos, químicos y a un tiempo de exposición de 10 a 12 meses, encontrándose bioacumulados en las raíces.

En áreas con pH más alto, *Pennisetum setaceum* puede extraer cantidades significativas de níquel y cadmio del suelo. La especie se encontró en la raíz de una parcela de demostración, conteniendo 0,77 ppm de Cadmio y 474,87 ppm de Níquel a pH básico.

Sugiere que la cosecha de la planta deberá de hacerse arrancando toda la planta desde la raíz, lo que permitirá eficientemente fitoremediar cadmio y plomo.

El morro de Moravia fue elegido para las investigaciones, porque representa un lugar contaminado crítico, a esto se suman los residuos sólidos.

La siembra de *Tradescantia pallida* y *Pennisetum setaceum*, como especies ornamentales, mejora el ornato y el paisaje. Además de hiperacumular a metales como el cadmio, níquel, cromo y plomo.

Como atenuante a su investigación anoto que, los residuos sólidos y los metales pesados se encontraron en muestras de sitios contaminados.

Amezcuca Ávila, Hernández Acosta y Díaz (2020), publican su investigación la extracción de metales pesados (incluidos cobre, zinc, manganeso, cadmio, níquel y plomo) en relaves mineros utilizando las plantas *L. perenne* y *P. pratensis*. Su investigación tuvo como objetivo evaluar las condiciones de crecimiento de las plantas en diferentes condiciones, para ver cuál sería más eficaz.

Los relaves mineros son un material de desecho, a menudo desechado en el sitio de una mina. Agregar composta a los relaves de la mina permitió que las plantas crecieran y se desarrollaran, produciendo más biomasa. La presencia de metales pesados (plomo, zinc, cobre, níquel, manganeso, cadmio) en los relaves mineros puede variar según el tratamiento y el metal involucrado. La parte de la raíz de la planta tiende a absorber la mayoría de los metales. *L. perenne* es buena para crecer y desarrollarse en relaves mineros y puede ayudar a extraer algunos de los metales pesados presentes allí. Se recomienda que se use *L. perenne* para repoblar los relaves de la mina porque le va muy bien allí.

Cabe mencionar que, Los jales de mina contienen alto contenido de metales pesados, esto representa una problemática ambiental y de salud pública. Amezcua analizo a *Lolium perenne* y *Poa pratensis*, referido a su capacidad de fitoremediación, establecidos en jales mineros con el añadido de composta. La experimentación fue realizada a través de un muestreo aleatorio simple. *Lolium perenne* se estableció durante 103 días y *Poa pratensis* durante 80 días.

El añadir composta se produjo mayor biomasa lo que favoreció la extracción de metales, respecto a *Lolium perenne* fue la especie que presentó mayor crecimiento y acumulación de manganeso y cobre. Recomendando añadir composta.

Ramírez Gottfried (2019), en su investigación, referido a suelos contaminados por metales pesados, enfatiza en evaluar el potencial Fito remediador.

La conclusión que pudo llegar fue que *Ambrosia ambrosioides* absorbe cobre en hojas, tallo y raíces a una concentración de 20 mg L<sup>-1</sup>. El tallo, hoja y raíz absorben 15827.2, 13030.9 y 4979.4mg kg<sup>-1</sup> respectivamente. Concentraciones superiores a 40 y 60 mg L<sup>-1</sup> hacen que el cobre y el cadmio disminuyan, mientras que el cadmio puede bioacumularse en sus hojas y el cobre solo se acumula en la raíz.

El propósito del estudio fue evaluar la capacidad de fitorremediación del suelo de *Ambrosia ambrosioides*, determinar los niveles de cd, cu y pb absorbidos en aguas que contienen diferentes concentraciones de metal 20, 40, 60 mg L<sup>-1</sup>. Se utilizó un diseño factorial 3 x 4 en un ambiente de laboratorio, con 4 repeticiones. El factor A fue el metal, y B fue la concentración de metal en el agua utilizada para riego. La

raíz, tallo y hojas absorbieron 15 827,2, 13 030,9 y 4 979,4 mg/kg, respectivamente, para la combinación de cobre a 20 mg por litro de agua. Tanto el cd como el pb absorben metal. El pb absorbe metal y transfiere el metal absorbido a las hojas, y el cd también absorbe metal y lo transfiere a las hojas.

Méndez (2020), en su investigación, de revisión de literatura sobre contaminación del cadmio nos presenta su objetivo principal que es evaluar los avances y tendencias de investigación en procesos de fitorremediación por cd y explicar los procesos eficientes para su aplicación.

Llegando a la conclusión que remediar suelos con plantas para extraer Cadmio es una técnica novedosa y que su aplicación y efectividad in situ es simple. Con esta investigación identifica especies nativas con potencial de fitoextracción o fitoestabilización. En la investigación menciona que la combinación de especies potenciales para fito remediar suelos contaminados con Cadmio con la inoculación de bacterias y aditivos como ácido cítrico mejoran la eficiencia de extracción de cadmio.

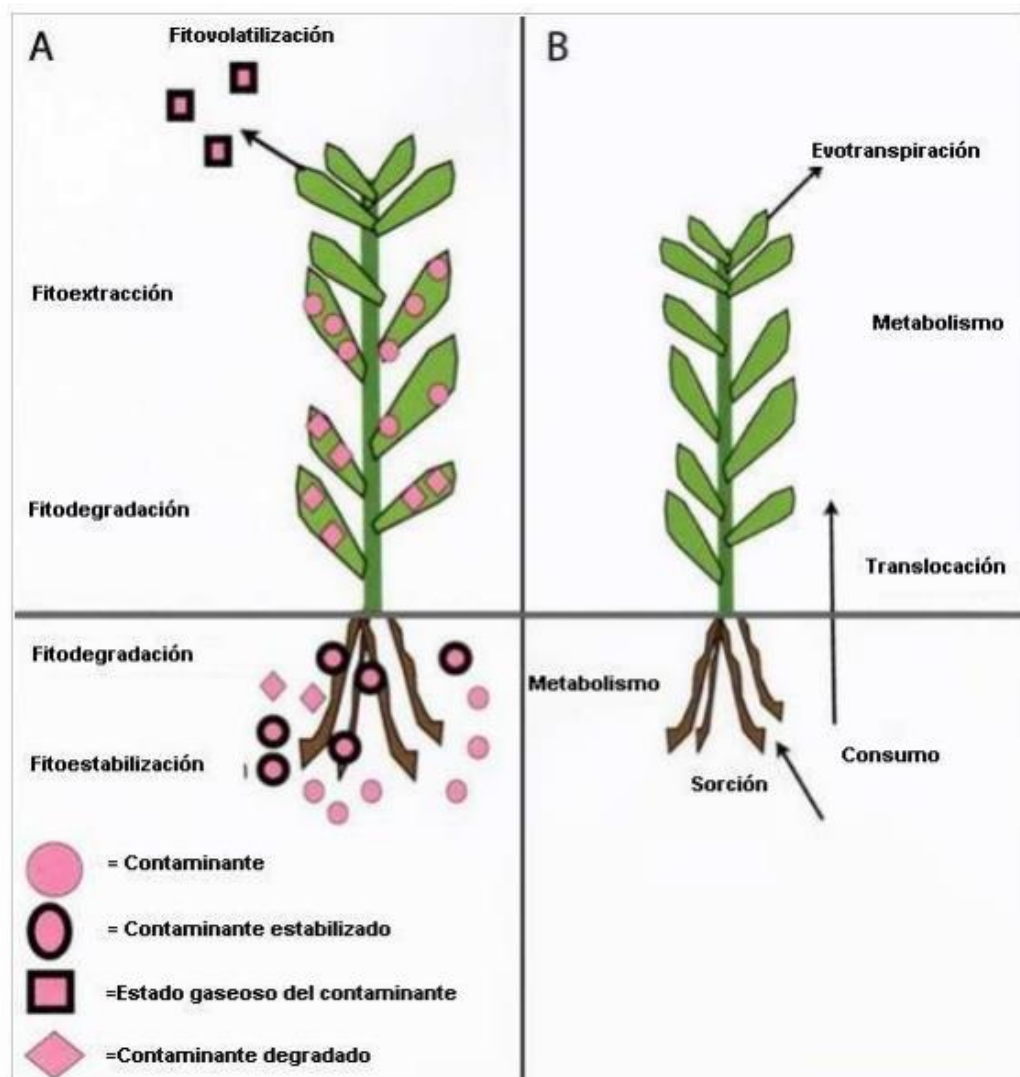
En la naturaleza encontramos metales pesados de manera natural, estos asociados al suelo y aguas. Por lo tanto, la fito extracción y fito estabilización son técnicas que ayudan a remediar suelos contaminados.

Desde el año 2000, la investigación en bases de datos de todo el mundo ha aumentado un 737 %. Science Direct y Web of Science son dos bases de datos donde se puede ver este aumento. Las plantas más utilizadas para la fitoestabilización (estabilización de plantas) son *Pluchea dioscoridis*, *Festuca arundinacea* y *Tradescantia fluminensis*. Estas plantas tienen un Factor de Bioconcentración superior a 1 ( $BCF > 1$ ) y un Factor de Translocación inferior a 1 ( $TF < 1$ ). Las plantas más utilizadas en fitoextracción son *Ambrosia ambrosioides*, *Pennisetum setaceum* y *Tradescantia pallida*, debido a que su TF y BCF son mayores a 1.

Incluyendo plantas hiper acumuladoras como *Ambrosia ambrosioides* ( $BCF= 2,227.80$ ) y *Festuca arundinacea* ( $BCF = 196$ ) donde la raíz presenta mayor acumulación. Su mayor eficiencia para extraer cd, es añadiendo rizo bacterias y

ácido cítrico. En la figura adjunta se presenta un esquema con los diferentes métodos de fitoremediación.

Figura 1. Esquema con los diferentes métodos de fitoremediación



Fuente: Elaboración propia

Arias (2017), publica un artículo donde se puede resaltar que su objetivo principal de dicha publicación es sintetizar la información sobre la contaminación de suelos y agua por hidrocarburos y evaluar la técnica de fitorremediación como estrategia biotecnológica.

Llegando a la conclusión que los factores más evidentes de contaminación de suelos son producidos por derrames ocasionados de manera accidental, en sus diversas fases como la exploración, la extracción y el transporte.

Estas operaciones permiten señalar la fitorremediación como una estrategia biotecnológica que tiene gran expectativa por la comunidad científica.

Las ventajas destacan por el empleo de procesos biológicos y esto permite descontaminar agua y suelo en presencia de energía solar, en ausencia de sustancias químicas. La remediación con plantas, es un proceso que muchas veces tarda meses a años, siendo económicamente factible y sostenible y amigable con el medio ambiente. Los derrames de hidrocarburos afectan los suelos y los cursos de agua, las técnicas de fitorremediación son una opción biotecnológica viable, no solo por las formas naturales de su intervención, sino por la viabilidad técnica, económica y ambiental, sin embargo, el hecho de tardar demasiado tiempo podría ser una desventaja a la hora de elegirla, sobre todo si se tienen tiempos ajustados para remediar sitios contaminados por hidrocarburos.

Me permito resaltar que los problemas globales por contaminación son principalmente por actividades antropogénicas. Los impactos ambientales en Colombia principalmente se dan en cuerpos de agua, suelos flora, fauna y deterioro de los recursos escénicos y paisajísticos. En ese sentido las agencias e instituciones gubernamentales, han desarrollado estrategias de control y fiscalización para minimizar los impactos ambientales.

La contaminación del suelo y el agua por hidrocarburos puede ocurrir cuando se producen derrames, y este artículo analiza cómo la fitorremediación (el uso de plantas para limpiar el suelo y el agua) puede ser una buena solución biotecnológica para ayudar a recuperarse de la contaminación. La fitometría se considera fácil de aplicar, económica y viable, y el propósito de este artículo fue recopilar información sobre derrames anteriores y su contaminación resultante.

Los problemas ambientales, tienen su origen en el mal manejo de los recursos naturales, es así que las actividades extractivas causan estos problemas ambientales, manifestándose en impactos severos a la biota.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

La investigación aplica un enfoque cualitativo para identificar, examinar e interpretar datos de diversas publicaciones y bibliografías. Los datos se utilizan para determinar la influencia de varias variables de investigación, con la esperanza de promover la investigación.

Según Dörr et al. (2016), Landín y Sánchez (2019), creen que un estudio cualitativo que utilice temas y datos narrativos es relevante para la investigación. Están de acuerdo en que el análisis y la descripción de los datos en el estudio en detalle es importante para el estudio. Se realizó este tipo de estudio cualitativo.

#### **3.2. Categorías y matriz de operacionalización**

El propósito de definir categorías y subcategorías es orientar la investigación en una dirección y un sentido que permita reunir la información necesaria para la investigación. Las herramientas de recogida de datos se construyen a partir de esta información. Se define en función de la definición del problema y del objetivo, y a partir de estos elementos se construye una matriz de clasificación preliminar. Ver anexo 01.

#### **3.3. Escenario de estudio**

El escenario de investigación para este estudio es cualitativo que se basa en una revisión de la literatura sobre cómo el tratamiento de aguas residuales en los sistemas biológicos puede afectar los ecosistemas. Los datos de estudios previos han sido combinados y organizados según los criterios incluidos, basados en principios teóricos.

#### **3.4. Participantes**

La información que se presenta procede de fuentes secundarias, ya que se deriva de estudios con resultados propios, y las tendencias se basan en una revisión bibliográfica. Los participantes se clasificaron basándose en investigaciones



internacionales y nacionales anteriores, obtenidas de Google académico, repositorios universitarios y revistas especializadas.

### **3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La recopilación de datos es el uso de diversas herramientas y técnicas para desarrollar sistemas de información, como encuestas, entrevistas, cuestionarios, guías de observación, diccionarios de datos y diagramas de flujo. Estas herramientas se utilizan para recopilar información para investigaciones y los datos se analizan en un orden específico para llegar a una conclusión sobre los resultados.

Ñaupas et al. (2018) definen la recopilación de datos como un proceso en el que el investigador planifica y documenta referencias bibliográficas sobre varios conceptos. Luego, los datos se documentan de acuerdo con las categorías que el investigador desarrolló.

### **3.6. Procedimiento**

Una vez establecida la base teórica, se aplican las técnicas del fenómeno estudiado, una revisión bibliográfica, el análisis, seguido de la interpretación y la síntesis. Esto se refleja en el estudio.

### **3.7. Rigor científico**

Según Arias y Giraldo (2011), el rigor científico implica examinar cada paso y cada método en el proceso de investigación, lo que mostrará la calidad de la formulación de las preguntas generales y específicas. Se debe entender que el rigor científico aplicado al tema de investigación se define en términos teóricos y prácticos, cumpliendo con los criterios de dependencia de la aplicación, y el informe final busca incluir información que sea útil para la comprensión de los métodos utilizados y su relevancia, (Rojas Bravo, et al., 2017, p. 66) La dependencia es el grado de similitud de la información recopilada en relación con el diseño y el resultado similar al objeto de estudio. Se utilizó un criterio de transferibilidad, que incluía que el investigador proporcionara suficiente información sobre el trabajo de investigación y el contexto de investigación para facilitar la transferencia y la comparación de los

resultados con los de otros contextos (Fernández Reina et al, Por otro lado, la credibilidad (Díaz Bazo, 2019, p. 33) es el tratamiento de los datos que muestra validez, equivalente a los experimentos, percepciones e interpretaciones de la investigación con un contexto y duración definidos, utilizando estrategias para demostrar los hallazgos presentados y un sentido de verdad; de esta manera, la medida de credibilidad utilizada es creíble porque describe detalladamente lo que el investigador ha logrado y es relevante para el tema. La verificabilidad corresponde a la objetividad de la investigación. Por ejemplo, piense en otro investigador que confirme o corrobore si las conclusiones son coherentes o se derivan de los datos. Treharne J et al (2015) sostienen que la validez se refiere a la imparcialidad en la revisión e interpretación de los estudios obtenidos por diferentes investigadores, de modo que otros lectores puedan extraer conclusiones similares. La interpretabilidad sugiere documentar las métricas de las investigaciones anteriores.

### **3.8. Métodos de análisis de datos**

Se basa en métodos cualitativos, incluyendo la codificación por categorías y subcategorías expresadas en matrices de clasificación, previamente revisadas, analizadas e interpretadas por juicio interno, centrándose en la coherencia de las ideas presentadas por los autores, las recomendaciones y las correspondencias y discrepancias del tratamiento domiciliario con los sistemas biológicos de aguas residuales.

### **3.9. Aspectos éticos**

El Código de Ética y las resoluciones del Consejo Universitario de la Universidad César Vallejo constituyen la base de la Política de Ética en Investigación. El Código de Ética aborda los principios fundamentales que sigue la Política de Ética en Investigación, así como la Resolución 081-2016, que detalla la política de investigación de la Universidad César Vallejo. Se han revisado los derechos de autor de la bibliografía y todas las fuentes utilizadas se citan de manera que se da crédito a los autores.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Se encontraron artículos relacionados con el tema de plantas hiperacumuladoras, a partir de allí se seleccionaron 15 artículos que contenían la información necesaria para desarrollar la investigación.

Las ventajas de las plantas hiperacumuladoras se describen como:

Tabla 1. Ventajas y limitaciones

VENTAJAS	AUTORES
Amigable con el ambiente Producción de bioenergía Bajo costo Aplicación in situ y ex situ Remoción de múltiples contaminantes	Singh, Varinder, et al., 2020
Requerimiento de capital bajo, baja energía Utiliza fuente natural y renovable Menos generación de residuos secundarios Menos huella de carbono Recuperación de Aguas residuales	Hauwa, Mustafa y Gasim, Hayder, 2020
Sostenibilidad en la aplicación, la mejora de la relación costo beneficios, facilidad de uso y aplicación en grandes áreas.	Tamara Daianede Souza et al, 2019

Y las limitaciones encontradas fueron:

LIMITACIONES	AUTORES
Requiere más tiempo para remover mayores cantidades de metal	Priyanka Saha, Omkar Shinde y Supriya Sarkar, 2016
Según las condiciones ambientales.  La naturaleza y eficiencia de la especie.	Akeem O.Bello et al, 2018
Depende del área por que ciertas variables climáticas afectarían su efectividad	Jeevanantha m,S, et al. 2019
Se debe tener mayor control al trabajar en un humedal artificial, dado a que los contaminantes podrían ingresar a la cadena alimentaria.	Prabhat Kumar, 2019

Y las plantas con potencial hiperacumulador son las especies de la familia Basicaceae (Tabla 1), las principales familias con propiedades de hiperacumulacion (Tabla 2), las especies hiperacumuladoras de aluminio (Tabla 3), las especies hiperacumuladoras de arsenico (Tabla 4), las especies hiperacumuladoras de boro (Tabla 5), las especies hiperacumuladoras de calcio (Tabla 6), las especies hiperacumuladoras de cadmio (Tabla 7), las especies hiperacumuladoras de cobalto (Tabla 8), las especies hiperacumuladoras de cobre (Tabla 9), las especies hiperacumuladoras de cromo (Tabla 10), las especies hiperacumuladoras de hierro (Tabla 11), las especies hiperacumuladoras de magnesio (Tabla 12), las especies hiperacumuladoras de mercurio (Tabla 13), las especies hiperacumuladoras de manganeso (Tabla 14), las especies hiperacumuladoras de niquel (Tabla 15). Como podemos describir, cierto tipo de especies de plantas son hiperacumuladores por la naturaleza química del metal, las especies hiperacumuladoras de oro (Tabla 16),

las especies hiperacumuladoras de potasio (Tabla 17), las especies hiperacumuladoras de plomo (Tabla 18), las especies hiperacumuladoras de selenio (Tabla 19), las especies hiperacumuladoras de Talio (Tabla 20), las especies hiperacumuladoras de uranio (Tabla 21), y las especies hiperacumuladoras de zinc (Tabla 22).

Las fitotecnologías hoy son una alternativa económica y viable para descontaminar suelos, los autores sugieren que las especies de plantas son únicas y tienen una efectividad mayor, para ciertos metales pesados.

Las plantas hiperacumuladoras tienen a disminuir su efectividad, cuando el crecimiento llega a su nivel máximo. Los factores que afectan la asimilación del metal por la planta, estará condicionado por la especie de la planta, por la granulometría del suelo, por la materia orgánica del suelo, por la capacidad de intercambio de cationes del suelo, por la humedad del suelo, por el potencial de reducción y pH del suelo, por la salinidad del suelo y por la biología del suelo.

Los autores sugieren, una vez culminada el crecimiento de la planta, esta debe ser arrancada desde la raíz, toda vez que allí es donde mayormente acumulan los metales.

## V. CONCLUSIONES

La capacidad de absorción de las plantas hiperacumuladoras, se dan en los procesos de fitorremediación, estas técnicas son menos costosas y su aplicación es rápida y efectiva.

Las ventajas de estas plantas hiperacumuladoras es que su ciclo biológico es rápido y se pudieran emplear en extensas áreas contaminadas.

Otra ventaja es que se puede aplicar in situ. Las limitaciones pudieran asociarse a la naturaleza de la planta, entonces la capacidad de hiperacumulación de metales pesados se vería afectada.

El nivel de contaminante, pudiera hacer inefectivo la capacidad de hiperacumular, otras limitantes serían las condiciones climáticas, hecho que afectaría el crecimiento de las plantas.

El potencial hiperacumulador de plantas, estará condicionado por algunos factores como:

- pH, granulometría, compactación composición química, salinidad, mineralogía y carbono orgánico
- Pluviosidad, transpiración, Nivel freático, infiltración.
- Variables ambientales
- Morfología local
- Carencia de nutrientes
- Densidad espacial de especies
- Porcentaje de crecimiento de la planta
- Existencia de plagas endémicas

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda generar un registro de información de plantas hiperacumuladoras, ya que hay evidencia de investigaciones previas, estas ayudarían a fortalecer el registro.

El potencial de información de estas plantas, permitirá buscar especies con características que se adapten a los distintos pisos altitudinales del Perú. Estas técnicas permiten ampliar el conocimiento de especies nativas que tienen este potencial.

A los investigadores, profundizar en especies nativas y experimentar en campo y laboratorio.

## REFERENCIAS

ANSARI, Abid, et al. Phytoremediation of contaminated waters: An eco- friendly technology based on aquatic macrophytes application. Egyptian Journal of Aquatic Research [en línea]. 2020. Disponible en: <http://sci-hub.tw/10.1016/j.ejar.2020.03.002>

AQUINO, Pavel. CALIDAD DEL AGUA EN EL PERÚ - Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales. Lima: DAR.2017,136pp. Disponible en: <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2806> ISBN: 978-612-4210-50-1

ARIAS, Maria y GIRALDO, Clara. El rigor científico en la investigación cualitativa. Revista de investigación y educación en enfermería [en línea]. Vol. 29, N° 3, diciembre 2011. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1052/105222406020.pdf> ISSN: 01205307

ASGARI, Behnam, et al. Micronutrient and heavy metal concentrations in basil plant cultivated on irradiated and non-irradiated sewage sludge- treated soil and evaluation of human health risk. Revista Regulatory Toxicology and Pharmacology [en línea]. Vol. 104, junio 2019.]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273230019300819>

ASGARI, Behnam, GHORBANPOUR, Mansour y NIKABADI, Shahab. Heavy metals in contaminated environment: Destiny of secondary metabolite biosynthesis, oxidative status and phytoextraction in medicinal plants. Revista Ecotoxicology and Environmental Safety [en línea]. Vol. 145, noviembre 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651317304475>

AUGUSTYNOWICZ, Joanna, et al. Potential for chromium (VI) bioremediation by the aquatic carnivorous plant *Utricularia gibba* L. (Lentibulariaceae). Environmental Science and Pollution Research [en línea]. 31 de enero de 2015. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/271523110\\_Potential\\_for\\_chromium\\_VI\\_bioremediation\\_by\\_the\\_aquatic\\_carnivorous\\_plant\\_Utricularia\\_gibba\\_L\\_Lentibulariaceae](https://www.researchgate.net/publication/271523110_Potential_for_chromium_VI_bioremediation_by_the_aquatic_carnivorous_plant_Utricularia_gibba_L_Lentibulariaceae)



BABLY Prasad y DEBLINA Maiti. Comparative study of metal uptake by *Eichhornia crassipes* growing in ponds from mining and nonmining areas—a field study. *Bioremediation Journal* [en línea]. Vol 20, 22 de marzo de 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10889868.2015.1113924>

BASILE, A, et al. Toxicity, Accumulation, and Removal of Heavy Metals by Three Aquatic Macrophytes. *International Journal of Phytoremediation* [en línea]. Vol 14(4), mayo 2014. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2011.620653>

BLANCO, Mercedes. Investigación narrativa: Una forma de generación de conocimientos. *Nueva época* [en línea]. N° 67. Setiembre del 2011. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/argu/v24n67/v24n67a7.pdf>

Farago, M. E. (2008). *Plants and the chemical elements, Biochemistry, Uptake, Tolerance and toxicity*. <https://doi.org/10.1002/9783527615919.ch8>

Fortescue, J. A. (1980). *Environmental geochemistry: A Holistic approach* (E. Studies (ed.); 35th ed.).

Ghori, Z., Iftikhar, H., Bhatti, M. F., Nasar-Um-Minullah, Sharma, I., Kazi, A. G., & Ahmad, P. (2015). Phytoextraction: The Use of Plants to Remove Heavy Metals from Soil. In *Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00015-1>

Giraldo, D. (2017). Procesos de degradación de suelos asociados a minería aurífera a cielo abierto, caso de estudio Bajo Cauca Antioqueño. *Universidad Nacional de Colombia*.

Glasby, G. (2006). V.M. Goldschmidt: The British Connection. A Tribute on the 60th Anniversary of his Death. *The Geochemical News*, 129(1), 14–31.

Goldschmidt, V. (1929). The distribution of the chemical elements. *Resources Processes*, 26, 73–86.

Goldschmidt, V. (1954). *Geochemistry*. Clarendon press.

Gonzalez Galvis, J. P. (2008). *Potencial de una especie de sauce (Salix spp.) para fitorremediación de metales tóxicos en lixiviados*. Universidad de los Andes.

Maldonado Vega, M., Salas Luévano, M. Á., & Argumed Delira, R. (2018). Induced accumulation of Au, Ag and Cu in Brassica napus grown in a mine tailings with the inoculation of Aspergillus niger and the application of two chemical compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154, 180–186.

Greipsson, S. (2011). Phytoremediation. *Nature Education*.

Jaffre, T., Brooks, R. R., Lee, J., & Reeves, R. D. (1976). Sebertia acuminata: A nickel accumulating plant from New Caledonia. *Science*, 193, 579–580.

Kruckeberg, A. L., & Wu, L. (1992). Copper tolerance and copper accumulation of herbaceous plants colonizing inactive California copper mines. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 23(3), 307–319. [https://doi.org/10.1016/0147-6513\(92\)90080-M](https://doi.org/10.1016/0147-6513(92)90080-M)

Li, C., Ji, X., & Luo, X. (2020). Visualizing hotspots and future trends in phytomining research through scientometrics. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/su12114593>

Lungwitz, E. (1900). The lixiviation of gold deposit by vegetation. *Engineering and Mining Journal*, 500–502.

Naila, A., Meerdink, G., Jayasena, V., Sulaiman, A. Z., Ajit, A. B., & Berta, G. (2019). A review on global metal accumulators—mechanism, enhancement, commercial application, and research trend. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(26), 26449–26471. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05992-4>

Neesse, T. (2013). Selective attachment processes in ancient gold ore beneficiation. *Minerals Engineering*, 58, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.01.009>

Núñez, Roberto, et al. Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Biotecnología y biología molecular* [en línea]. Julio 2014. Disponible en: [https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55\\_3/Fitorremediacion.pdf](https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf)

OSORIO, Belkys y ROJAS, Xiomara. Criterios de Calidad y Rigor en la Metodología Cualitativa. *Universidad Pedagógica experimental Libertador* [en línea]. 21 de noviembre del 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/337428163> ISSN: 0435 - 026X

Oyewo, O. A., Agboola, O., Onyango, M. S., Popoola, P., & Bobape, M. F. (2018). Current Methods for the Remediation of Acid Mine Drainage Including Continuous Removal of Metals From Wastewater and Mine Dump. In *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00006-3>

Pandey, V. C., & Bajpai, O. (2018). Phytoremediation: From Theory Toward Practice. In *Phytomanagement of Polluted Sites: Market Opportunities in Sustainable Phytoremediation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12813912-7.00001-6>

Pandey, V. C., & Baudh, K. (2018). Preface. *Phytomanagement of Polluted Sites: Market Opportunities in Sustainable Phytoremediation*, xxi–xxii. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00031-4>

PARNIAN, Amir, et al. Use of two aquatic macrophytes for the removal of heavy metals from synthetic medium. *Ecohydrology & Hydrobiology* [en línea]. Vol 16(3), agosto 2016. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1642359316300>

Rascio, N., & Navari-Izzo, F. (2011). Heavy metal hyperaccumulating plants: How and why do they do it? And what makes them so interesting? *Plant Science*, 180(2), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.08.016>

Reeves, R. D., & Brooks, R. R. (1983). Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallophytes from mining areas of Central Europe. *Environmental Pollution. Series A, Ecological and Biological*, 31(4), 277–285. [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(83\)90064-8](https://doi.org/10.1016/0143-1471(83)90064-8)

Scheper, T., & Tsao, D. T. (2003). Phytoremediation. In *Advance in biochemical engineering biotechnology* (Vol. 78, p. 216). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Sheoran, V., Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2009). Phytomining: A review. *Minerals Engineering*, 22(12), 1007–1019. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2009.04.001>

Sheoran, Vimla, Sheoran, A. S., & Poonia, P. (2016). Factors Affecting Phytoextraction: A Review. *Pedosphere*, 26(2), 148–166. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60032-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60032-7)

Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*, 2011. <https://doi.org/10.1155/2011/939161>

Tognacchini, A., Rosenkranz, T., van der Ent, A., Machinet, G. E., Echevarria, G., & Puschenreiter, M. (2020). Nickel phytomining from industrial wastes: Growing nickel hyperaccumulator plants on galvanic sludges. *Journal of Environmental Management*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109798>

Universidad Nacional de Colombia. (2020). *Catalogo de plantas de colombia*. <http://catalogoplantasdecolombia.unal.edu.co/es/resultados/familia/>

Vasilescu, C., Georgescu, P. D., & Serban, N. (2006). *Phytoremediation in areas contaminated with heavy and radioactive metals*. 329–334.

Wagner, B. J., & Gorelik, S. M. (1987). Optimal groundwater quality management under parameter uncertainty. *Water Resources Research*, 1162–1174.

Warra, A. A., & Prasad, M. N. V. (2018). Artisanal and Small-Scale Gold Mining Waste Rehabilitation With Energy Crops and Native Flora-A Case Study From Nigeria. In *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00026-9>

Wiche, O., & Heilmeier, H. (2016). Germanium (Ge) and rare earth element (REE) accumulation in selected energy crops cultivated on two different soils. *Minerals Engineering*, 92, 208–215. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2016.03.023>

Wither, E. D., & Brooks, R. R. (1977). Hyperaccumulation of nickel by some plants of South-East Asia. *Journal of Geochemical Exploration*, 8, 579–583

## ANEXOS

**Tabla 2.** Especies de la familia *Brassicaceae* con propiedad de hiperacumulación

<b>Metal</b>	<b>Especie</b>
Cadmio	7
Cobre	2
Manganeso	1
Níquel	15
Oro	2
Plomo	2
Talio	2
Zinc	6
Total de especies	37

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Familia principales con propiedad de hiperacumulación

Familia	Especies con propiedad hiperacumuladora	Metal de preferencia
<i>Brassicaceae</i>	37	Ni, Cd, Zn
<i>Asteraceae</i>	15	Ni, Pb, Cd
<i>Amaranthaceae</i>	14	Zn, Pb, Mn
<i>Lamiaceae</i>	13	Cu, Co, Ni
<i>Poaceae</i>	13	Pb, Cr, Cd
<i>Salicaceae</i>	13	Ni, Pb, Cu
<i>Fabaceae</i>	12	Se, Pb, Ni
<i>Violaceae</i>	10	Ni, Cd, Zn
<i>Crassulaceae</i>	8	Cd, Pb, Zn
<i>Phyllanthaceae</i>	7	Ni
<i>Pteridaceae</i>	7	As, Pb, Se
<i>Rubiaceae</i>	7	Ni
<i>Euphorbiaceae</i>	5	Ni, Pb
<i>Polygonaceae</i>	4	Cd, Hg, Pb
<i>Sapotaceae</i>	4	Ni
<i>Cunoniaceae</i>	3	Ni
<i>Solanaceae</i>	3	Cd, Zn
<i>Stackhousiaceae</i>	3	Ni
<i>Acanthaceae</i>	2	Ni, Pb
<i>Anacardiaceae</i>	2	Pb, Zn

<i>Araceae</i>	2	As, Cd
----------------	---	--------

<i>Azollaceae</i>	2	Cd, Fe
<i>Cyperaceae</i>	2	Pb, Fe
<i>Dichapetalaceae</i>	2	Ni
<i>Ochnaceae</i>	2	Ni
<i>Pinaceae</i>	2	Cd, Pb
<i>Scrophulariaceae</i>	2	U
<i>Thymelaeaceae</i>	2	Ni
<i>Tiliaceae</i>	2	Ni

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.** Especies con hiperacumulación comprobada para Aluminio

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Baker y Brooks	1989		<i>Fagopyrum esculentum</i>	<i>Fagopyrum</i>	<i>Polygonaceae</i>
Gonzales	2008	29.994	<i>Salix babylonica</i>	<i>Salix</i>	<i>Salicaceae</i>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 5.** Especies con hiperacumulación comprobada para Arsénico

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Ma et al	2001		<i>Pteris vittata</i>	<i>Pteris</i>	<i>Pteridaceae</i>
Ma et al	2001		<i>Pteris vittata</i>	<i>Pteris</i>	<i>Pteridaceae</i>
Sood et al	2012	1.022	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna</i>	<i>Araceae</i>
Clemente et al	2012		<i>Atriplex halimus</i>	<i>Atriplex</i>	<i>Amaranthaceae</i>
Pardo et al	2014		<i>Bituminaria bituminosa</i>	<i>Bituminaria</i>	<i>Fabaceae</i>
Wan et al	2016		<i>Pteris vittata</i>	<i>Pteris</i>	<i>Pteridaceae</i>
Wan et al	2016		<i>Sedum alfredii</i>	<i>Sedum</i>	<i>Crassulaceae</i>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 6.** Especies con hiperacumulación comprobada para Boro

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Robinson et al	2007		<i>Populus alba</i>	<i>Populus</i>	<i>Salicaceae</i>

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7.** Especies con hiperacumulación comprobada para Calcio

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Gonzales	2008	4.510	Salix babylonica	Salix	Salicaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8.** Especies con hiperacumulación comprobada para Cadmio

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Kay et al	1984		<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna</i>	<i>Araceae</i>
Baker y Brooks	1989		<i>Fagopyrum esculentum</i>	<i>Fagopyrum</i>	<i>Polygonaceae</i>
Salt et al	1995		<i>Brasica oleracea</i>	<i>Brassica</i>	<i>Brassicaceae</i>
Anderson et al	1999	3.000	<i>Thlaspi caerulescens</i>	<i>Thlaspi</i>	<i>Brassicaceae</i>
Reeves y baker	2000		<i>Arabidopsis halleri</i>	<i>Arabidopsis</i>	<i>Brassicaceae</i>
Lombi et al	2001		<i>Thlaspi caerulescens</i>	<i>Thlaspi</i>	<i>Brassicaceae</i>
Turgut et al	2004		<i>Helianthus annuus</i>	<i>Helianthus</i>	<i>Asteraceae</i>
Li et al	2005		<i>Sedum alfredii</i>	<i>Sedum</i>	<i>Crassulaceae</i>
Sun et al	2007		<i>Cardaminopsis halleeri</i>	<i>Cardaminopsis</i>	<i>Brassicaceae</i>
Rai	2008		<i>Azolla Pinnata</i>	<i>Azolla</i>	<i>Azollaceae</i>
Wei et al	2008		<i>Rorippa globosa</i>	<i>Rorippa</i>	<i>Brassicaceae</i>
Sun et al	2008		<i>Solanum nigrum</i>	<i>Solanum</i>	<i>Solanaceae</i>
Sun et al	2008		<i>Solanum photeinocarpum</i>	<i>Solanum</i>	<i>Solanaceae</i>
Sun et al	2009		<i>Bidens Pilosa</i>	<i>Bidens</i>	<i>Asteraceae</i>
Saraswat yrai	2009		<i>Brassica Juncea</i>	<i>Brassica</i>	<i>Brassicaceae</i>
Wu et al	2010		<i>Viola baoshanensis</i>	<i>Viola</i>	<i>Violaceae</i>
Meers et al	2010		<i>Zea mays</i>	<i>Zea</i>	<i>Poaceae</i>
Clemente et al	2012		<i>Atriplex halimus</i>	<i>Atriplex</i>	<i>Amaranthaceae</i>
Hu et al	2013		<i>Populus alba</i>	<i>Populus</i>	<i>Salicaceae</i>
Pardo et al	2014		<i>Bituminaria bituminosa</i>	<i>Bituminaria</i>	<i>Fabaceae</i>
Deng et al	2016		<i>Sedum plumbizincicola</i>	<i>Sedum</i>	<i>Crassulaceae</i>
Deng et al	2016		<i>Zea mays</i>	<i>Zea</i>	<i>Poaceae</i>
Wan et al	2016		<i>Pteris vittata</i>	<i>Pteris</i>	<i>Pteridaceae</i>
Wan et al	2016		<i>Sedum alfredii</i>	<i>Sedum</i>	<i>Crassulaceae</i>
Meeinkurt et al	2016		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	<i>Eucalyptus</i>	<i>Myrtaceae</i>
Martinez-Oró et al	2017		<i>Pinus halepensis</i>	<i>Pinus</i>	<i>Pinaceae</i>

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 9.** Especies con hiperacumulación comprobada para Cobalto

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Anderson et al	1999	10.200	Haumaniastrum roberti	Haumaniastrum	Lamiaceae
Reeves y baker	2000		Aeollanthus biformifolius	Aeollanthus	Lamiaceae
Reeves y baker	2000		Haumaniastrum roberti	Homalium	Lamiaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.** Especies con hiperacumulación comprobada para Cobre

Referencia	Año	mg/kg	%	Especie	Genero	Familia
Kay et al	1984			Hydrocotyle umbellata	Hydrocotyle	Araliaceae
Kruckeberg and Wu	1992	304		Arenaria douglasi	Minuartia	Caryophyllaceae
Brooks et al	1992		0,10%	Ailanthus biformifolius	Ailanthus	Simaroubaceae
Brooks et al	1992		0,10%	Haumaniastrum katangense	Haumaniastrum	Lamiaceae
Smith y McNair	1998			Mimulus guttatus	Mimulus	Phrymaceae
Anderson et al	1999	8.356		Haumaniastrum katangense	Haumaniastrum	Lamiaceae
Reeves y baker	2000			Aeollanthus biformifolius	Aeollanthus	Lamiaceae
Reeves y baker	2001			Haumaniastrum roberti	Homalium	Lamiaceae
Lasat	2002			Arabidopsis thaliana	Arabidopsis	Brassicaceae
Rajakaruna y Bolm	2002			Clerodendrum infortunatum	Clerodendrum	Lamiaceae
Rajakaruna y Bolm	2002			Haumaniastrum katangense	Haumaniastrum	Lamiaceae
Clemente et al	2012			Atriplex halimus	Atriplex	Amaranthaceae
Padmavathiamma y Li	2012			Lolium perene	Lolium	Amaranthaceae
Hu et al	2013			Populus alba	Populus	Salicaceae
Rodriguez_villa et al	2014			Brassica Juncea	Brassica	Brassicaceae
Pardo et al	2014			Bituminaria bituminosa	Bituminaria	Fabaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11.** Especies con hiperacumulación comprobada para Cromo

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Ma et al	2001		<i>Pteris vittata</i>	<i>Pteris</i>	Pteridaceae
Turgut et al	2004		<i>Helianthus annuus</i>	<i>Helianthus</i>	Asteraceae
Sinha et al	2013		<i>Vetiveria zizanoides</i>	<i>Vetiveria</i>	Poaceae
Sinha et al	2013		<i>Chrysanthemum coronarium</i>	<i>Chrysanthemum</i>	Asteraceae
Sinha et al	2013		<i>Cymbopogon Winterianus</i>	<i>Cymbopogon</i>	Poaceae
Sinha et al	2013		<i>Vetiveria zizanoides</i>	<i>Vetiveria</i>	Poaceae
Chand et al	2015		<i>Salvia sclarea</i>	<i>Salvia</i>	Lamiaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 12.** Especies con hiperacumulación comprobada para Hierro

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Kay et al	1984		<i>Azolla Pinnata</i>	<i>Azolla</i>	Azollaceae
Sood et al	2012	59.500	<i>Eleocharis acicularis</i>	<i>Eleocharis</i>	Cyperaceae
Chand et al	2015		<i>Salvia sclarea</i>	<i>Salvia</i>	Lamiaceae
Moreno-Barriga et al	2017		<i>Piptatherum miliaceum</i>	<i>Piptatherum</i>	Poaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 13.** Especies con hiperacumulación comprobada para Magnesio

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Gonzales	2008	1.923	<i>Salix babylonica</i>	<i>Salix</i>	Salicaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.** Especies con hiperacumulación comprobada para Mercurio

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Millan et al	2007		Rumex Induratus	Rumex	Polygonaceae

**Tabla 15.** Especies con hiperacumulación comprobada para Manganeso

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Anderson et al	1999	55.000	Macadamia neurophylla	Macadamia	Proteaceae
Lasat	2003		Arabidopsis thaliana	Arabidopsis	Brassicaceae
Clemente et al	2012		Atriplex halimus	Atriplex	Amaranthaceae
Padmavathiamma y Li	2012		Lolium perene	Lolium	Amaranthaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 16.** Especies con hiperacumulación comprobada para Níquel

Referencia	Año	mg/kg	%	Especie	Genero	Familia
Minguzzi y Vergano	1948		0,79%	Alyssum bertoloni	Alyssum	Brassicaceae
Wild	1970	10.000		Pearsonia metallifera	Pearsonia	Fabaceae
Wild	1970	10.950		Pearsonia metallifera	Pearsonia	Fabaceae
Wild	1971	1.000		Dicoma niccolifera	Dicoma	Asteraceae
Severne y Brooks	1972			Hybanthus Floribundus	Hybanthus	Violaceae
Baker et al	1972			Phyllanthus	Phyllanthus	Phyllanthaceae
Jafré y Schmid	1974	1.000		Psychotria douarrei	Psychotria	Rubiaceae
Jafré y Schmid	1974	1.000		Geissois pruinosa	Geissois	Cunoniaceae
Jafré y Schmid	1974	1.000		Homalium guillaini	Homalium	Salicaceae
Jaffre et al	1976	1.000	20%	Sebertia accuminata	Pycnandra	Sapotaceae
Jaffre et al	1976	11.700		Sebertia accuminata	Pycnandra	Sapotaceae
Brooks et al	1977			Homalium	Homalium	Salicoideae
Wihter y Brooks	1977			Myristica	Myristica	Myristicaceae

Wihter y Brooks	1977			Planchonella	Planchonella	Sapotaceae
Wihter y Brooks	1977			Trichospermum	Trichospermum	Tiliaceae
Wihter y Brooks	1977			Rinorea	Rinorea	Violaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 17.** Especies con hiperacumulación comprobada para oro

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Warren y Delavault	1950	4	Equisetum arvense	Equisetum	Equisetaceae
Anderson et al	1998	10	Brassica Juncea	Brassica	Brassicaceae
Anderson et al	1999	10	Brassica Juncea	Brassica	Brassicaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 18.** Especies con hiperacumulación comprobada para Potasio

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Gonzales	2008	11.845	Salix babylonica	Salix	Salicaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 19.** Especies con hiperacumulación comprobada para Plomo

Referencia	Año	mg/kg	%	Especie	Genero	Familia
Kay et al	1984			Eichhornia crassipes	Eichhornia	Pontederiaceae
Baker y Brooks	1989		1%	Armeria maritima	Armeria	Plumbaginaceae
Baker y Brooks	1989			Fagopyrum esculentum	Fagopyrum	Polygonaceae
Huang y Cunnigham	1996			Zea mays	Zea	Poaceae
Anderson et al	1999	8.200		Thlaspi rotundifolium	Thlaspi	Brassicaceae
Lasat	2004			Arabidopsis thaliana	Arabidopsis	Brassicaceae
Li et al	2005			Sedum alfredii	Sedum	Crassulaceae
Yanqun et al	2005			Sonchus asper	Sonchus	Asteraceae

Chehregani y malayeri	2007			Euphorbia cheiradenia	Euphorbia	Euphorbiaceae
Dominguez et al	2008			Populus alba	Populus	Salicaceae
Meers et al	2010			Zea mays	Zea	Poaceae
Sood et al	2012	1.120		Eleocharis acicularis	Eleocharis	Cyperaceae
Baccheta et al	2012			Pistacia lentisus	Pistacia	Anacardiaceae
Clemente et al	2012			Atriplex halimus	Atriplex	Amaranthaceae
Padmavathiamma y Li	2012			Lolium perene	Lolium	Amaranthaceae
Gonzales-Alcaraz et al	2013			Sarcocornia fruticosa	Sarcocornia	Amaranthaceae
Hu et al	2013			Populus alba	Populus	Salicaceae
Pardo et al	2014			Bituminaria bituminosa	Bituminaria	Fabaceae
Chand et al	2015			Salvia sclarea	Salvia	Lamiaceae
Parraga-Aguado et al	2015			Piptatherum miliaceum	Piptatherum	Poaceae
Parraga-Aguado et al	2015			Pinus halepensis	Pinus	Pinaceae
Parraga-Aguado et al	2015			Helichrysum decumbens	Helichrysum	Asteraceae
Kohler et al	2016			Dorycnium pentaphyllum	Dorycnium	Fabaceae
Deng et al	2016			Zea mays	Zea	Poaceae
Wan et al	2016			Pteris vittata	Pteris	Pteridaceae
Wan et al	2016			Sedum alfredii	Sedum	Crassulaceae
Sharma y Pandey	2017			Lasiurus scindicus	Lasiurus	Poaceae
Kaewtubtim et al	2018			Avicennia marina	Avicennia	Acanthaceae
Kaewtubtim et al	2018			Pluchea indica	Pluchea	Asteraceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20.** Especies con hiperacumulación comprobada para Selenio

Referencia	Año	mg/kg	%	Especie	Genero	Familia
Peterson	1971		1%	Astragalus	Astragalus	Fabaceae
Anderson et al	1999	6.000		Astragalus pattersoni	Astragalus	Fabaceae
Ma et al	2001			Pteris vittata	Pteris	Pteridaceae
Vallini et al	2005			Astragalus racemosus	Astragalus	Fabaceae
Vallini et al	2005			Astragalus bisulcatus	Astragalus	Fabaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 20.** Especies con hiperacumulación comprobada para Talio

Referencia	Año	mg/kg	%	Especie	Genero	Familia
Leblanc et al	1999	428	1,40%	Biscutella laevigata	Biscutella	Brassicaceae
Leblanc et al	1999	313	0,40%	Iberis intermedia	Ibereis	Brassicaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21.** Especies con hiperacumulación comprobada para Uranio

Referencia	Año	mg/kg	Especie	Genero	Familia
Anderson et al	1999	100	Atriplex confertifolia	Atriplex	Amaranthaceae
Vasilescu	2006	64	Verbascum genus	Verbascum	Scrophulariaceae
Vasilescu	2006	864	Verbascum genus	Verbascum	Scrophulariaceae

Fuente: Elaboración propia

**Tabla -22.** Especies con hiperacumulación comprobada para Zinc

Referencia	Año	mg/kg	%	Especie	Genero	Familia
Baumann	1985		1%	Viola calamaría	Viola	Violaceae
Baumann	1985		1%	Thlaspi calaminare	Thlaspi	Brassicaceae
Anderson et al	1999	10.000		Thlaspi Calaminare	Thlaspi	Brassicaceae
Leblanc et al	1999			Thlaspi caerulescens	Thlaspi	Brassicaceae
Reeves y Baker	2000			Arabidopsis halleri	Arabidopsis	Brassicaceae
Lombi et al	2001			Thlaspi caerulescens	Thlaspi	Brassicaceae
Li et al	2005			Sedum alfredii	Sedum	Crassulaceae
Yanqun et al	2005			Sonchus asper	Sonchus	Asteraceae
Sun et al	2007			Cardaminopsis halleeri	Cardaminopsis	Brassicaceae
Meers et al	2010			Zea mays	zea	Poaceae
Baccheta et al	2012			Pistacia lentisus	Pistacia	Anacardiaceae
Clemente et al	2012			Atriplex halimus	Atriplex	Amaranthaceae
Padmavathiamma y Li	2012			Lolium perene	Lolium	Amaranthaceae
Gonzales et al	2013			Sarcocornia fruticosa	Sarcocornia	Amaranthaceae
Hu et al	2013			Populus alba	Populus	Salicaceae

Herzig et al	2014			Nicotina tabacum	Nicotina	Solanaceae
Pardo et al	2014			Bituminaria bituminosa	Bituminaria	Fabaceae
Deng et al	2016			Sedum plumbizincicola	Sedum	Crassulaceae

Fuente: Elaboración propia