

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



**“EFICIENCIA DE LAS TÉCNICAS DE
FITORREMEDIACIÓN EN METALES PESADOS
BASADO EN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN EL
PERIODO 2017 - 2022”**

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN
GESTION AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

AUTOR: SAMUEL CARLOS REYNA MANDUJANO

ASESOR: Mtro. ABNER JOSUÉ VIGO ROLDÁN

LINEA DE INVESTIGACION: CIENCIAS DE LA TIERRA Y DEL
AMBIENTE


Callao, 2023

PERÚ

Document Information

Analyzed document	REYNA MANDUJANO, Samuel Carlos -MAESTRIA -2023.pdf (D173358703)
Submitted	2023-09-02 17:02:00
Submitted by	
Submitter email	fiam.posgrado@unac.edu.pe
Similarity	9%
Analysis address	fiam.posgrado.unac@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	4_MerilynYolandayGloriaRosa - copia.docx Document 4_MerilynYolandayGloriaRosa - copia.docx (D119677661)		2
SA	TESIS_FITORREMEDIACIÓN_CHIRINOS Y FERNANDEZ.docx Document TESIS_FITORREMEDIACIÓN_CHIRINOS Y FERNANDEZ.docx (D147611226)		6
SA	11_EF_TT2_MillaHuesaLeonardoClaver.docx Document 11_EF_TT2_MillaHuesaLeonardoClaver.docx (D141769458)		1
W	URL: http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/457/1/TESIS%20KARITO.pdf Fetched: 2021-02-24 06:40:52		3
SA	CONTRERAS_02.docx Document CONTRERAS_02.docx (D137743067)		1
SA	T1_DiazEspinozasabel_LoveraMayllaCesar.docx Document T1_DiazEspinozasabel_LoveraMayllaCesar.docx (D144414740)		1
SA	T2_TALLERDETESIS1_MALLQUICHICMANASIXTOANTONIO_VALENZUELALARAPAULA JANIT.docx Document T2_TALLERDETESIS1_MALLQUICHICMANASIXTOANTONIO_VALENZUELALARAPAULA JANIT.docx (D138381453)		1
SA	Saldaña, V. y Quincho, C...docx Document Saldaña, V. y Quincho, C...docx (D160442196)		1
SA	TESIS - ORTIZ;J Y ROJAS; M REVISION FINAL.docx Document TESIS - ORTIZ;J Y ROJAS; M REVISION FINAL.docx (D142942660)		4
W	URL: https://s3journalcidi.org/index.php/ojs/article/download/43/27/170 Fetched: 2022-11-26 19:07:13		1
SA	Dávila Mego, Nancy Karina; Walter Villegas, Lorena ChabelI.pdf Document Dávila Mego, Nancy Karina; Walter Villegas, Lorena ChabelI.pdf (D140328016)		4
SA	TESIS URKUND Karelys Hidalgo mayo 2023.docx Document TESIS URKUND Karelys Hidalgo mayo 2023.docx (D166025842)		1

Entire Document

INFORMACIÓN BÁSICA

FACULTAD: INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

TÍTULO:

“EFICIENCIA DE LAS TÉCNICAS DE FITORREMEDIACIÓN EN METALES
PESADOS BASADO EN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN EL PERIODO 2017 -
2022”

AUTOR:

SAMUEL CARLOS REYNA MANDUJANO
CODIGO ORCID 0000-0002-0750-2877
DNI: 31662440

ASESOR:

ABNER JOSUÉ VIGO ROLDÁN
CODIGO ORCID 0000-0002-5611-8011
DNI: 08085074

LUGAR DE EJECUCIÓN:

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES –
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

UNIDAD DE ANÁLISIS:

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

TIPO / ENFOQUE / DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:

APLICADA / CUALITATIVO / NO EXPERIMENTAL

TEMA OCDE:

1.05.08 -- CIENCIAS DEL MEDIO AMBIENTE

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO Y APROBACION

**MAESTRIA EN GESTION AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

JURADO EXAMINADOR:

1. **PRESIDENTE:** Dr. EDUARDO VALDEMAR TRUJILLO FLORES
2. **SECRETARIO:** Mtro. CARLOS ODORICO TOME RAMOS
3. **VOCAL** : Dr. ENRIQUE GUSTAVO GARCIA TALLEDO
4. **VOCAL** : Mg. LUIS ENRIQUE LOZANO VIEYTES

ASESOR: Mtro. ABNER JOSUE VIGO ROLDAN

LIBRO: 01

FOLIO: 6

ACTA: 003-2023-ICTT/UPG-FIARN-UNAC

FECHA DE SUSTENTACIÓN 23 DE SETIEMBRE DEL 2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios y a mi familia, en especial a mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis docentes, por dotar de conocimiento y saberes en mi persona, que permitieron ampliar mi horizonte de sapiencia, especialmente a la Dra. Llicela Rosagna Dasilva Benavides, por su entrega y paciencia en la guía y orientación de esta investigación

A la Dra. Carmen Gilda Avelino Carhuaricra, por su tino en el desarrollo de la tesis, y a mi asesor Mtro. Abner Josué Vigo Roldán, por su entendimiento y comprensión en la dirección para culminar esta investigación.

ÍNDICE

RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Objetivos.....	14
1.4. Justificación.....	15
1.5. Delimitantes de la investigación.....	16
II. REVISION DE LITERATURA.....	17
2.1. Antecedentes: Internacional y nacional.....	20
2.2. Marco Conceptual.....	23
2.3. Definición de términos básicos.....	31
III. METODOLOGIA DEL PROYECTO.....	33
3.1. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	33
3.2. Escenario de estudio.....	34
3.3. Participantes.....	34
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
3.5. Procedimiento.....	35
3.6. Rigor científico.....	36
3.7. Método de análisis de dato.....	37
3.8. Aspectos éticos en investigación.....	38
IV. RESULTADOS.....	39
V. DISCUSION DE RESULTADOS.....	59
VI. CONCLUSIONES.....	62
VII. RECOMENDACIONES.....	63
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de las técnicas de fitorremediación en la remoción de metales pesados

Tabla 2. Factor de Translocación (FT)

Tabla 3. Factor de Bioconcentración Aérea (FBA)

Tabla 4. Factor de Bioconcentración Radicular (FBR)

Tabla 5. Eficiencia de los métodos de fitorremediación en hiperacumuladoras

Tabla 6. Características de distribución de especies hiperacumuladoras

Tabla 7. Capacidad de adsorción de las plantas hiperacumuladoras

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fitoextracción para la remoción de metales pesados.

Figura 2. Fitoestabilización para la remoción de metales pesados

Figura 3. Fitovolatilización para la remoción de metales pesados.

Figura 4. Rizofiltración para la remoción de metales pesados.

Figura 5. Diagrama de Flujo del Procedimiento.

INDICE DE ABREVIATURAS

et al	: otros colaboradores
RM	: Relave de Mina
IT	: Índice de tolerancia
ECA	: Estándares de calidad ambiental
FBC	: Factor de bioconcentración
FT	: Factor de traslocación
gr	: gramo
D.S.	: Decreto supremo
MINAM	: Ministerio del ambiente
UNEP	: United Nations Environment Programme

RESUMEN

Las técnicas de fitorremediación constituyen técnicas económicamente factibles; el empleo de plantas para recuperar suelos contaminados por metales pesados nace como una alternativa económica y factible, esto está condicionado al ciclo de vida de la planta. La presente investigación tuvo como objetivo general evaluar la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados en los artículos científicos publicados desde 2017 hasta 2022; para tal fin se tuvo un enfoque cualitativo, comparativo, transversal y no experimental. La técnica que se usó es el análisis documental, retrospectivo y el instrumento usado fue la ficha de análisis documental. Del análisis y sistematización de la información se tuvo como resultado que con las técnicas de fitoestabilización y la fitoextracción se puede lograr una alta capacidad de remoción y de eficacia de los metales pesados como plomo (Pb), cobre (Cu), cadmio (Cd), Zinc (Zn), entre otros. Las plantas identificadas que absorben Plomo son *Brassica juncea*, *Acacia farnesiana*, *Phaseolus vulgaris*, *Amarantus hybridus*, *Beta vulgaris*; las plantas que absorben Cadmio son *Ambrosia Ambrosioides*, *Helianthus annuus* y *Brassica rapa*; las plantas que absorben Zinc son *Brassica napus L.*, *Lycopersicon esculentum L.*, *Brachiaria spp* y *Brassica rapa*; y las plantas que absorben Cobre son *Ambrosia ambrosioides* y *Acacia saligna*. Con la investigación realizada se concluye que, la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados, está condicionado a la especie vegetal utilizada, siendo las especies nativas con mayor capacidad de fitorremediación y acumulación de metales pesados para la remediación de suelos contaminados.

Palabras claves: Fitorremediación, metales pesados, fitoextracción, fitoestabilización, plantas nativas.

ABSTRACT

Phytoremediation techniques are economically feasible techniques, the use of plants to recover soils contaminated by heavy metals is born as an economical and feasible alternative, this is conditioned to the life cycle of the plant. The general objective of this research was to evaluate the efficiency of phytoremediation techniques on heavy metals in scientific articles published from 2017 to 2022, for which a qualitative, comparative, cross-sectional and non-experimental approach was used. The technique that was used is the documentary, retrospective analysis and the instrument used was the documentary analysis sheet.

From the analysis and systematization of the information, it was obtained as a result that the phytostabilization and phytoextraction techniques can achieve a high removal capacity and efficiency of heavy metals such as Pb, Cu, Cd, Zn among others.

The plants identified that absorb Lead are: *Brassica juncea*, *Acacia Farnesiana*, *Phaseolus vulgaris*, *Amarantus Hybridus*, *Beta Vulgaris*. The plants that absorb Cadmium are: *Ambrosia Ambrosioides*, *Helianthus Annuss* and *Brassica Rapa*. The plants that absorb Zinc are: *Brassica Napus L.*, *Lycopersicon esculentum L.*, *Brachiaria Spp* and *Brassica Rapa*. And the plants that absorb Copper are: *Ambrosia Ambrosioides* and *Acacia Saligna*.

Concluding that the efficiency of phytoremediation techniques on heavy metals is conditioned by the plant species used, being the native species the ones with the greatest capacity for phytoremediation and accumulation of heavy metals for the remediation of contaminated soils.

Keywords: Phytoremediation, heavy metals, phytoextraction, phytostabilization and native plants.

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas que se tiene actualmente, producto del desarrollo de la humanidad, es la generación de desechos y contaminantes; dentro de estos se encuentran los metales pesados que causan impactos ambientales en la salud y el ecosistema.

Utilizar la remediación, a través del uso de plantas (fitorremediación), es una técnica ambiental y económicamente factible para contrarrestar la contaminación por metales pesados.

La fitorremediación es una técnica emergente de biorremediación que utiliza plantas para eliminar o reducir contaminantes en el suelo, agua y aire. En los últimos años, ha ganado importancia debido a su eficacia y bajo costo, en comparación con otras técnicas convencionales de remediación. En este contexto, esta investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de las técnicas de fitorremediación, basadas en artículos científicos publicados entre 2017 y 2022. La metodología está asociada al análisis documental; para ello, se revisará la literatura científica y se analizarán los resultados obtenidos en diferentes estudios de fitorremediación. El desafío es tener acceso a una amplia gama de artículos científicos publicados entre 2017 y 2022; en ese sentido, algunos artículos pueden estar detrás de un muro de pago o requerir suscripciones a revistas científicas específicas. Además, podría llegarse a limitaciones, como el hecho de falta de estándares y protocolos uniformes en la evaluación de la eficiencia de las técnicas de fitorremediación; esto puede dificultar la comparación de los resultados entre los estudios.

Esta investigación es importante porque proporcionará información valiosa para la toma de decisiones en la gestión ambiental y contribuir al desarrollo de nuevas técnicas de remediación, más eficientes y sostenibles.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

La contaminación de suelos, aguas y aire por metales pesados es un problema de consecuencias épicas; esto afecta al mundo, causando problemas de disponibilidad alimentaria, riesgos en la que se ven involucrados la ecología y la salud.

La contaminación del suelo por metales pesados se ha convertido en un problema importante (Zhang et al., 2013), que afecta a los cultivos en varios aspectos, incluido el decrecimiento de las plantas, la biomasa, la calidad del cultivo y el rendimiento del grano debido a su alta toxicidad (Rizwan et al., 2016). De igual forma, la contaminación por metales pesados es cada vez más preocupante porque no son biodegradables y se almacenan en el entorno natural antes de entrar en la cadena alimentaria (Jaskulak, Grobelak y Vandembulcke, 2020). Estos elementos aumentan principalmente como resultado de las actividades humanas, como la minería, las descargas industriales, la eliminación de desechos peligrosos y la fundición (Shah y Daverey, 2020).

En términos de ecología, los niveles altos de concentraciones de metales pesados en el suelo se consideran significativos (Swiercz et al., 2016). Las principales fuentes de contaminación del suelo son los gases de escape, la producción de combustible y los fertilizantes. Estos desechos nocivos alteran las propiedades del suelo, así como los animales, las plantas, los microorganismos y los seres humanos (Durumin et al., 2019). La entrada de metales pesados a la cadena alimentaria está relacionada con una variedad de riesgos para la vida humana, incluido cáncer, discapacidad cognitiva, enfermedades renales, problemas de sistema nervioso, daño cerebral, infecciones a la piel, enfermedades cardiovasculares, anemia, entre otros (Derakhshan, Chae y Hyun, 2017).

Los metales pesados a ser evaluados, por la toxicidad que presentan, son el plomo, cadmio, mercurio, níquel, zinc, entre otros. Cuando los metales pesados se liberan al agua, ya sea en forma de partículas suspendidas o en solución, pueden tener efectos perjudiciales tanto en los ecosistemas acuáticos

como en la salud humana. Estos metales, como el plomo, el mercurio, el cadmio y el arsénico, son persistentes y pueden acumularse en los tejidos de los organismos acuáticos, provocando daños en su funcionamiento biológico y en las cadenas alimentarias. (Du, B., et al. 2020).

Algunos de los problemas comunes asociados con esta contaminación incluyen la reducción de la biodiversidad acuática, la muerte de organismos acuáticos, la disminución de la calidad del agua potable y la aparición de enfermedades en humanos, debido a la ingesta de agua contaminada. (Satarug, S., et al. 2020)

Una amplia gama de contaminantes atmosféricos, incluyendo hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), compuestos orgánicos volátiles (COV), metales pesados y otros compuestos tóxicos, afectan el aire cerca a industrias y botaderos informales; por lo que es necesario eliminar, degradar o inactivar estos contaminantes presentes en el aire.

Basado en artículos científicos publicados entre 2017 y 2022, el objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de las técnicas utilizadas en la fitorremediación de metales pesados.

1.2. Formulación del problema.

Problema General:

¿Cuál será la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados, basado en artículos científicos en el periodo 2017 - 2022?

Problemas Específicos:

- ¿En qué medida la efectividad de las técnicas de fitorremediación contribuye a la eficiencia de la remoción de metales pesados?
- ¿Qué factores influyen en la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados?
- ¿Cuáles son las especies más efectivas para la fitorremediación de metales pesados?

1.3. Objetivos

Objetivo General

Evaluar la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados, basado en artículos científicos en el periodo 2017 – 2022

Objetivos Específicos

- Determinar la efectividad de diferentes técnicas de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, basado en artículos científicos en el periodo 2017 – 2022.
- Analizar los factores que influyen en la eficacia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados, basado en artículos científicos en el periodo 2017- 2022.
- Identificar las especies de plantas más efectivas para la fitorremediación de metales pesados en suelos y aguas contaminadas, basado en artículos científicos en el periodo 2017 - 2022

1.4. Justificación

La justificación para realizar esta investigación se fundamenta en la necesidad de abordar y evaluar el estado actual de las técnicas de fitorremediación, en relación con su eficacia para la remediación de contaminantes ambientales; en ese sentido, se respalda en los puntos siguientes:

Justificación teórica, ya que proporcionará nuevas perspectivas y conocimientos para investigaciones futuras que se enfoquen en la remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante el uso de alternativas eficientes y seguras como las especies nativas.

Justificación práctica, porque proporcionará datos que ayudarán a resolver la contaminación de suelos por metales pesados mediante el uso de especies nativas y evitar el uso de especies introducidas.

Justificación metodológica, ya que proporcionará información sobre el procedimiento utilizado en la investigación para masificar el uso de especies nativas para remediar suelos contaminados con metales pesados.

Justificación ambiental, porque esta permitirá determinar las técnicas más efectivas de fitorremediación aplicados a suelos contaminados por metales pesados.

1.5. Delimitantes de la investigación

Delimitante teórica: Se aplicará teorías referidas a la fitorremediación, con énfasis en metales pesados.

Delimitante temporal: Corresponderán a las investigaciones de artículos científicos publicados desde el año 2017 hasta el año 2022.

Delimitante espacial: Se analizará de acuerdo con la procedencia del país de origen.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Santoyo (2020), en su estudio "Eco toxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociadas a los jales de Huautla, Morelos", buscó evaluar la capacidad de bioacumulación y los efectos de la exposición temporal a metales pesados en *Vachellia campechiana* y *Crotalaria pumila* en condiciones de invernadero. La germinación de semillas de las dos especies de estudio, que provenían de sitios expuestos a metales pesados y de sitios de control, se evaluó para este propósito. La metodología tuvo un enfoque cuantitativo, de diseño experimental. Los resultados arrojaron que *Vachellia campechiana* es una especie con potencial para fitorremediar suelos contaminados, por tener capacidad de bioacumulación para Cr, Cu y Pb en tejido de raíz (0,83 mg/kg; 0,37 mg/kg; 4,23 mg/kg, respectivamente) y tejido foliar (2,75 mg/kg; 0,38 mg/kg; 4,75 mg/kg, respectivamente). Mientras que *Crotalaria pumila* bioacumula Cu en ambos tejidos evaluados (0,46 mg/kg y 0,45 mg/kg, respectivamente). La conclusión de este estudio es que diferentes especies tienen diferentes capacidades de bioacumulación de metales pesados, por lo que pueden considerarse tratamientos con múltiples especies para fitorremediar sitios contaminados por metales pesados.

Guzmán (2022), en su investigación "Evaluación de la peligrosidad de los elementos potencialmente tóxicos presentes en residuos mineros abandonados" ha identificado como metales potencialmente peligrosos al Ba, Cd, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn, Vn, Sn, ya que se considera mantener el control sobre estos. Por el contrario, cuando estos metales exceden el límite máximo permitido tendrán efectos negativos en las propiedades del suelo, metales como cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y arsénico (As) son comúnmente reportados, asociados con casos de contaminación del suelo, de los cuales tienen como característica la difícil descomposición, lo contrario ocurre con los compuestos orgánicos. Estos metales pesados pueden estar muchos años en el suelo. En ese sentido, es necesario actuar para evitar que metales pesados ingresen al

ecosistema, permitiendo utilizar tecnologías para reducir la contaminación de los suelos. Se están desarrollando métodos de tratamiento convencionales diferentes para restaurar suelos contaminados con metales pesados, estos se basan principalmente en técnicas mecánicas o físicoquímicas, tales como incineración, excavación y enterramiento de suelo, lavado de suelo, solidificación y aplicación de campo. Cabe resaltar que estos enfoques físicoquímicos tienen inconvenientes por el alto costo, ineficiencia ante concentraciones bajas, alterando las propiedades físicoquímicas y biológicas del suelo, lo que lleva a la degradación de los ecosistemas del suelo, con la incorporación de contaminantes secundarios (Ali et al, 2013). En ese sentido la degradación del suelo está directamente relacionada con la fitorremediación debido a que esta última busca mitigar y revertir los efectos negativos de la contaminación del suelo, mejorando su calidad y restaurando su funcionalidad. La fitorremediación es una estrategia sostenible y natural que utiliza plantas para extraer, acumular, degradar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, a través de la restauración de la estructura y calidad del suelo, captura y extracción de metales pesados, rehabilitación de terrenos contaminados y el fomentar la recuperación de la biodiversidad de suelos.

Reátegui de la Cruz (2018), en su investigación “Efecto de la dosificación de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Shahuindo” utilizó un diseño experimental unifactorial para evaluar el impacto de la adición de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en el suelo. Evaluó 4 tratamientos con tres repeticiones. Se sembraron macetas experimentales de 1 kg la dosificación de cada maceta fue diferente con *Pleurotus ostreatus* y el suelo contaminado en cantidades de 50, 100, 150, y 200 gr. de *Pleurotus ostreatus*, Concluye que los metales pesados Ag, Fe, Hg, Mo y Se tenían un porcentaje de absorción medio superior al 50%.

Martínez (2021), en su investigación, “Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal - Arequipa y propuesta de fitorremediación” evaluó el estado de conservación de suelos contaminados por El Madrigal Relavera y un programa de remediación de vegetación; en respuesta a estos problemas evaluó especies que crecen en

áreas contaminadas, en zonas donde se desarrollaron explotación minera. Entre estas especies se identificó 7 familias, 6 órdenes y 1 tipo, divididas en 5 áreas de muestreo, (primera zona y regiones A, B, C y D). El índice de dominancia de la región A es 0.8519, la riqueza de especies es 0.1481 y la equidad es 0.2988, mientras que la dominancia de la región B es menor (0.2869) y la riqueza y la equidad mayor (0.7131 y 0.8286, respectivamente), lo cual se debió a un aumento en el número de individuos y taxones en esta región de muestreo. En las muestras de las regiones C, D y primera zona, el índice de dominancia es más bajo. Finalmente, se utilizó *Baccharis sp.*(Familia Asteraceae), *Cortaderia jubata* (Lemoine) (Familia Poaceae), *Stipa ichu* (Familia Poaceae), como las familias más representativas.

Sokolski, et al. (2021), en su investigación “Fitorremediación de Metales Pesados en Suelos Tropicales una Visión General” evaluaron el proceso de fitorremediación en suelos tropicales, aplicando el modelo de captación de sigmoide, el cual se usó para la evaluación de la fitoextracción en suelos arcillosos, siendo un 85% más eficiente en comparación con el método de Freundlich, del mismo se estableció los factores que inciden en este proceso, tales como el factor de bioconcentración, usaron como método la aplicación de las plantas en suelo contaminados por metales pesados, para hacer acumulados por las mismas y posteriormente reducir la contaminación. Concluyeron que la fitorremediación exitosa en suelos tropicales se logra a través de la intervención humana, incluidas las buenas prácticas de manejo del suelo y la plantación de una mezcla de especies nativas o adaptadas al área de interés, se sugiere que una estrategia exitosa involucrará una mezcla de pastos por su rápido crecimiento, junto con leguminosas, arbustos y árboles que hayan sido previamente validados como útiles en procesos de fitorremediación.

Sharma, Singh, & Manchanda. (2018), en su investigación, “Fitorremediación: papel de las plantas terrestres y macrófitas acuáticas en la remediación de suelos y aguas contaminados con radionúclidos y metales pesados” evaluaron diferentes modelos de fitorremediación usando diferentes especies de plantas terrestres, acuáticas para el tratamiento de suelos y sistemas de agua contaminados con metales pesados y radionúclidos, el modelo

empleado fue el de captación de metales en plantas, el cual sirvió para reducir la cantidad de carga del contaminante en suelos franco arenoso, teniendo un 65% más efectivo que cualquier otro modelo, del mismo modo se aplicó el Factor de Translocación (TF), el cual permitió transportar los metales desde las raíces a los vástagos, es así que Usaron plantas y sus microorganismos relacionados como una forma de descontaminar de manera más efectiva los sitios con contaminación baja a moderada, concluyeron que estos radionúclidos son lo suficientemente capaces de producir una amenaza potencial para la salud debido a su larga vida media y su translocación sin esfuerzo en el cuerpo humano.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Jara (2018), en su investigación “Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados”. evaluó a cinco plantas de los andes: *Solanum nitidum*, *Lupinus ballianus*, *Fuertesimalva echinata*, *Brassica rapa* y *Urtica urens*, para determinar su capacidad para fitorremediar suelos con altas concentraciones de plomo, zinc y cadmio. Desde octubre de 2011 hasta octubre de 2012, se llevó a cabo la investigación en un invernadero en el distrito de Lachaqui, provincia de Canta, región de Lima. Fueron evaluados veinte tratamientos con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies altoandinas y 4 sustratos con 30%, 60%, 100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM. La producción de biomasa disminuyó significativamente en *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata* y *Lupinus ballianus*, con el tratamiento de 100% de relave de mina. La mayor eficiencia de acumulación de plomo y zinc fue obtenida en las raíces de *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de 100% de relave de mina, obteniendo 2015.1 mg de plomo kg⁻¹ MS y 1024.2 mg de zinc kg⁻¹ MS. En las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de cadmio, con una concentración de 287.3 mg kg⁻¹ MS con el tratamiento de 100% de relave de mina. *Fuertesimalva echinata* presentó el mayor índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% de relave de mina, con un IT de 41.5%, pero, *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de relave de mina con IT de 68.5% y 67.9. y en él, caso de *Urtica urens*, los mayores valores de acumulación de plomo, zinc

y cadmio fueron obtenidos en las raíces con el tratamiento de 100% de relave de mina. Acumularon 854.5 mg de plomo kg^{-1} MS, 452.8 mg de zinc kg^{-1} MS) y 8.9 mg de cadmio kg^{-1} MS

Munive (2018) en su investigación, "Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados" tuvo como finalidad reducir la contaminación por metales pesados en los suelos del centro del país, observaron el efecto de las enmiendas orgánicas (compost y vermicompost de Stevia). Se realizó el presente trabajo utilizando maíz como planta fitorremediadora. Para ello se emplearon los suelos agrícolas de las localidades Mantaro y Muqui del valle del Mantaro, cuyos contenidos de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el suelo superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del Perú. Los resultados indican que los suelos de la localidad de Muqui, contienen la mayor cantidad de Pb y Cd, presentando efectos negativos como un menor rendimiento de materia seca de hojas, tallos y raíces del maíz, además, de un desarrollo más lento. La planta de maíz absorbe los metales pesados del suelo como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz de ésta, confirmando que la aplicación de las enmiendas orgánicas contribuye a solubilizar el Pb y Cd del suelo. Sin embargo, el vermicompost de Stevia fue más efectivo absorbiendo los metales pesados del suelo. Los cálculos del Factor de Bioconcentración (FBC) y de Translocación (FT), indican que el maíz es una planta exclusora o estabilizadora. Concluyendo que las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción, el vermicompost contribuye a que la planta de maíz presente mayor altura, peso de hojas, tallos y peso de raíces, en ambas localidades, en las raíces se presentan los mayores valores de extracción de plomo y cadmio, el maíz extrae mayor cantidad de plomo cuando el suelo presenta mayor contenido en el suelo, asimismo extraen mayor cantidad de cadmio cuando el suelo presenta menor contenido, influenciado además por características del suelo; en base a los valores de los factores de Bioconcentración (FBC) y Translocación (FT) la planta de maíz se comporta como una planta exclusora o estabilizadora. Se recomienda llevar el trabajo experimental a nivel de campo hasta completar el

ciclo vegetativo para comprobar in situ los resultados obtenidos además permitirá evaluar la translocación de metales pesados a la mazorca del maíz sobre todo en suelos con altos contenidos de metales pesados.

Mogollón, R. y otros (2018), en su investigación “Remoción de metales pesados con *Urtica Urens* L. en suelos contaminados del Distrito de Huamachuco, Provincia Sánchez Carrión”, realizó pruebas experimentales con tres tratamientos, los cuales se diferencian en el contenido de abono y suelo contaminado, el primer tratamiento consta de 600 gr y 900 gr de abono y suelo respectivamente, el segundo tratamiento de 450 gr y 1050 gr, y el tercer tratamiento de 300 gr y 1200 gr; cada tratamiento cuenta con tres plantas de *Urtica urens* L, además contrastó los resultados con la normativa ambiental (ECA). Mediante el análisis estadístico se determinó que el tratamiento 1 (40% de abono *Cavia Porcellus* + 60% de suelo contaminado) fue el más eficaz para la remoción de ARSÉNICO, MERCURIO y PLOMO con valores porcentuales de 65, 98 y 64 respectivamente, donde el análisis de varianza indica que el grupo de datos no presentan homogeneidad en sus varianzas, siendo el valor $p < 0,05$; mientras que para el BARIO, CADMIO y CROMO, su remoción no tiene diferencia significativa entre un tratamiento del otro, pues el análisis de varianza indica que el grupo de datos sí presentan homogeneidad en sus varianzas, siendo el valor $p > 0,05$.

Torres-Gonzales, y otros en su investigación “Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados” en actividades mineras, distinguen por que las plantas en su estructura se encuentran metales que causan daños graves. El objetivo fue demostrar la capacidad fitorremediadora de las plantas *Alopecurus magellanicus var. bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* en suelos adulterados por plomo y cadmio. Se hizo una búsqueda en EBSCOhost, LILACS, SciELO, ScienceDirect, Redalyc, PubMed, Scopus y Web of Science, usando los descriptores “Fitorremediación”, “*Alopecurus magellanicus var. Bracteatus*”, “*Muhlenbergia angustata*”, “Contaminación de suelo” y “metales pesados”, seleccionando 60 artículos para analizar la capacidad fitorremediadora del *Alopecurus magellanicus var. bracteatus* y *Muhlenbergia angustata*, determinando la efectividad de dichas plantas para remover los

metales en mención, de suelos contaminados por las diversas actividades vinculadas al sector minero. Los tratamientos obtuvieron óptimos resultados al analizar la capacidad fitorremediadora y al valorar los suelos después del tratamiento, encontrándose que el *Alopecurus magellanicus var. Bracteatus*, es la más efectiva para remover plomo y cadmio. Concluyendo que el *Alopecurus magellanicus var. bracteatus* acumula mayor cantidad de plomo y cadmio en sus raíces y tallos, y a la vez es una planta estabilizadora más eficiente para estos metales.

Labra, (2018) elabora su artículo titulado “Fitoextracción con *Helianthus annuus* L. (Girasol) para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio 2018” tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de Fitoextracción del *Helianthus annuus* L. (girasol) para reducir el cadmio en suelos contaminados. El presente trabajo de investigación es de diseño experimental, debido a que se operara dos variables una independiente (Fito extracción con *Helianthus annuus* L. (girasol) y una dependiente (Reducción de cadmio en suelos contaminados). el autor concluye que al evaluar la capacidad de Fito extracción del *Helianthus annuus* L. (girasol) se obtuvo 192.08 mg/kg de absorción de cadmio, con una eficiencia de extracción de un 15.62%.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Suelos contaminados

Los suelos contaminados se refieren a aquellos suelos que han sido comprometidos por la presencia de sustancias químicas o contaminantes que pueden representar un riesgo para la salud humana, la vida silvestre y el medio ambiente en general. Estos contaminantes pueden ser productos químicos industriales, metales pesados, productos químicos agrícolas, desechos tóxicos, productos químicos domésticos y otros materiales que se depositan o infiltran en el suelo de manera que alteran su calidad y funcionalidad natural. La contaminación del suelo puede afectar negativamente la fertilidad del suelo, la calidad del agua subterránea y la salud de los seres vivos que dependen del suelo para su sustento.

Aunque la mayoría de los contaminantes son causados por humanos,

otros contaminantes pueden estar presentes naturalmente en el suelo por medio de componentes minerales y pueden ser peligrosos si se encuentran en concentraciones elevadas en el suelo. (Rodríguez et al., 2018).

Los metales pesados, tienen características metálicas como ductilidad, conductividad, densidad, estabilidad catiónica y especificidad de ligando; además muestran una variedad de particularidades biológicas y fisicoquímicas y se ha descubierto que producen complejos en forma de iones libres o participan en reacciones redox que pueden dañar a los organismos. Los metales pesados se pueden clasificar en tres categorías según sus efectos biológicos: 1) Los micronutrientes, metales esenciales con funciones biológicas conocidas (Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo y W); 2) Los metales tóxicos (Ag, Cd, Cr, Sn, Au, Hg, Ti, Pb, Al , incluso a bajas concentraciones y metaloides Ge, As, Sb y Se) también pueden producir efectos nocivos; 3) Metales no esenciales, no tóxicos y se desconocen sus efectos biológicos (Rb, Cs y Sr). (Beltrán et al., 2015).

Los suelos contaminados son suelos que han sido alterados y tienen la presencia de sustancias o elementos que representan un riesgo para la salud humana, los ecosistemas y la calidad del suelo en general. Estas sustancias contaminantes pueden incluir productos químicos industriales, pesticidas, metales pesados, residuos tóxicos, hidrocarburos y otros compuestos orgánicos. Sabre, S., et al. (2022).

2.2.2. Aguas contaminadas

Las aguas contaminadas son cuerpos de agua, ya sean superficiales (ríos, lagos, embalses) o subterráneas (acuíferos), que contienen sustancias o elementos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente. Estas sustancias contaminantes pueden incluir productos químicos tóxicos, metales pesados, contaminantes orgánicos, nutrientes en exceso (como nitratos y fosfatos), microorganismos patógenos, entre otros. (Bastani, M. et al. 2019).

2.2.3. Aire contaminado

El aire contaminado se refiere a la presencia en la atmósfera de sustancias nocivas y contaminantes en concentraciones que exceden los niveles considerados seguros para la salud humana y el medio ambiente. Estos

contaminantes pueden incluir partículas sólidas en suspensión (PM2.5 y PM10), gases tóxicos como el dióxido de azufre (SO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂), el ozono (O₃) y el monóxido de carbono (CO), así como otras sustancias químicas derivadas de actividades industriales, vehiculares y domésticas.

La contaminación del aire puede tener efectos perjudiciales tanto para la salud humana como para los ecosistemas. Puede provocar problemas respiratorios, enfermedades cardíacas, agravar alergias y afectar la calidad de vida en general. Además, la contaminación atmosférica puede dañar la vegetación, los cuerpos de agua y la biodiversidad, y contribuir al cambio climático. (Cohen, AJ, et al. 2018).

2.2.4. Fitorremediación

La fitorremediación es un proceso en el cual las plantas y sus microorganismos asociados son utilizados para remediar suelos, sedimentos, agua y aire contaminados. Consiste en el uso de vegetales capaces de acumular, degradar, inmovilizar o eliminar contaminantes presentes en el medio ambiente, a través de diferentes mecanismos como la absorción, la volatilización, la bioacumulación o la transformación biológica. (Meagher, RB, et al. 2020)

2.2.5. Técnicas de fitorremediación

La fitorremediación es una técnica que se basa en la capacidad de algunas especies y microorganismos para resistir agentes contaminantes y a la vez extraer, acumular, inmovilizar o transformar dichos contaminantes del suelo. Es aplicable tanto en el lugar como fuera, y las plantas utilizadas en la fitorremediación presentan mecanismos constitutivos y de adaptación al tolerar o acumular altas concentraciones tóxicas de metales en su rizosfera. Se compone de mecanismos de tecnologías Fito como la filtración de rizos, que elimina los contaminantes del medio hídrico a través de las raíces de las plantas; la estimulación de Fito, que estimula a los microorganismos de la rizosfera para degradar los contaminantes, y la estabilización de Fito, que permite inmovilizar los contaminantes en el suelo a través de su adsorción y acumulación en las raíces de las plantas por precipitación en la zona de la rizosfera; Fito extracción, adsorción de metales contaminados mediante las raíces y se acumulan en los

tallos y hojas; Fito degradación, degradación de los contaminantes en productos inofensivos y Fito volatilización, “adsorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos y al llegar a las hojas se volatiliza a la atmosfera” (Kumar et al., 2019).

Las técnicas de fitorremediación son una tecnología de bajo costo y sostenible que puede usarse in situ o ex situ para reducir contaminantes naturales y antropogénicos. Esta técnica utiliza plantas para remover, transformar, degradar y volatilizar los contaminantes. Según Jeevanantham et al. (2019), este método puede implementarse tanto en suelo como en agua.; eliminan metales pesados y contaminantes orgánicos e inorgánicos, además de ayudar a las plantas a crecer con microbios que aumentan su eficacia, interviniendo en el crecimiento de estas, logran que las plantas tengan un periodo de vida más largo; en ese sentido la fitorremediación es una tecnología eficiente, rentable, amigable con el ambiente y es bastante aceptada por las personas.

La Fito extracción es una de las muchas técnicas de fitorremediación y su objetivo principal es extraer el contaminante de manera efectiva a través de una serie de procesos, como la absorción, el transporte, la translocación y la acumulación (Ramírez et al., 2018). La Fito extracción implica la absorción de metales contaminados a través de las raíces y su acumulación en tallos y hojas. Ver Figura 1.

De acuerdo con Von Thaden, J. et al. (2020), para implementar esta tecnología, primero se seleccionan las plantas que mejor se adapten a los metales presentes y las características del sitio. Después de que la planta se desarrolle vegetativamente, se cortará, incinerará y transferirá las cenizas a un vertedero seguro. Esta técnica de corrección de plantas utiliza varias plantas: *Crassula*, *Baoshan Viola* y *Vertiveria zizanioides* (zinc, cadmio, plomo); *Alyssum murale*, trébol negro (*Trifolium nigriscens*), rododendro (*Psychotria douarrei*), flores grandes *Hydrangea (Hybanthus floribundus)*, *Verticillium marchitez, napus* (Cu, Pb, Zn); y *Lemna minor* (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn).

Figura 1.

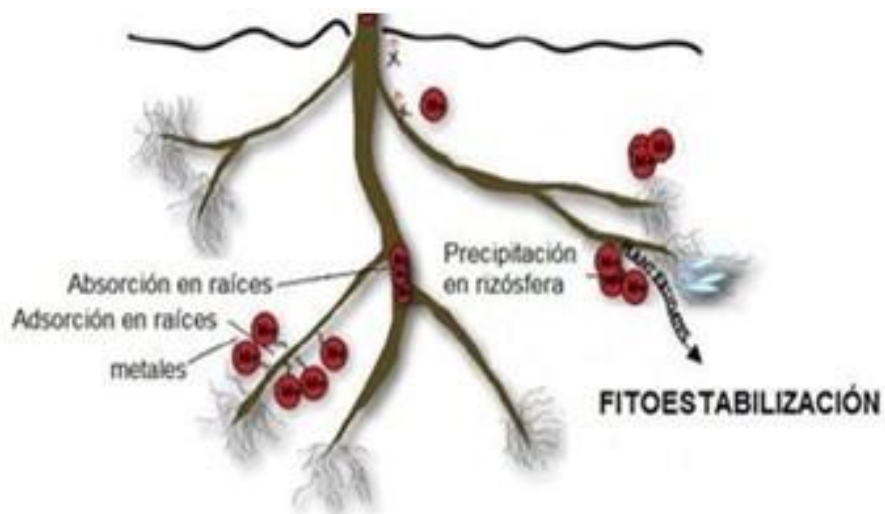
Fitoextracción para la remoción de metales pesados



La Fito estabilización de plantas utiliza la adsorción de raíces o la precipitación para inmovilizar y reducir la cantidad de contaminantes en el suelo o el agua. Una ventaja de este método es que evita que los metales pesados ingresen a la cadena alimentaria de nuestro ecosistema. (Kumar et al., 2020).

Figura 2.

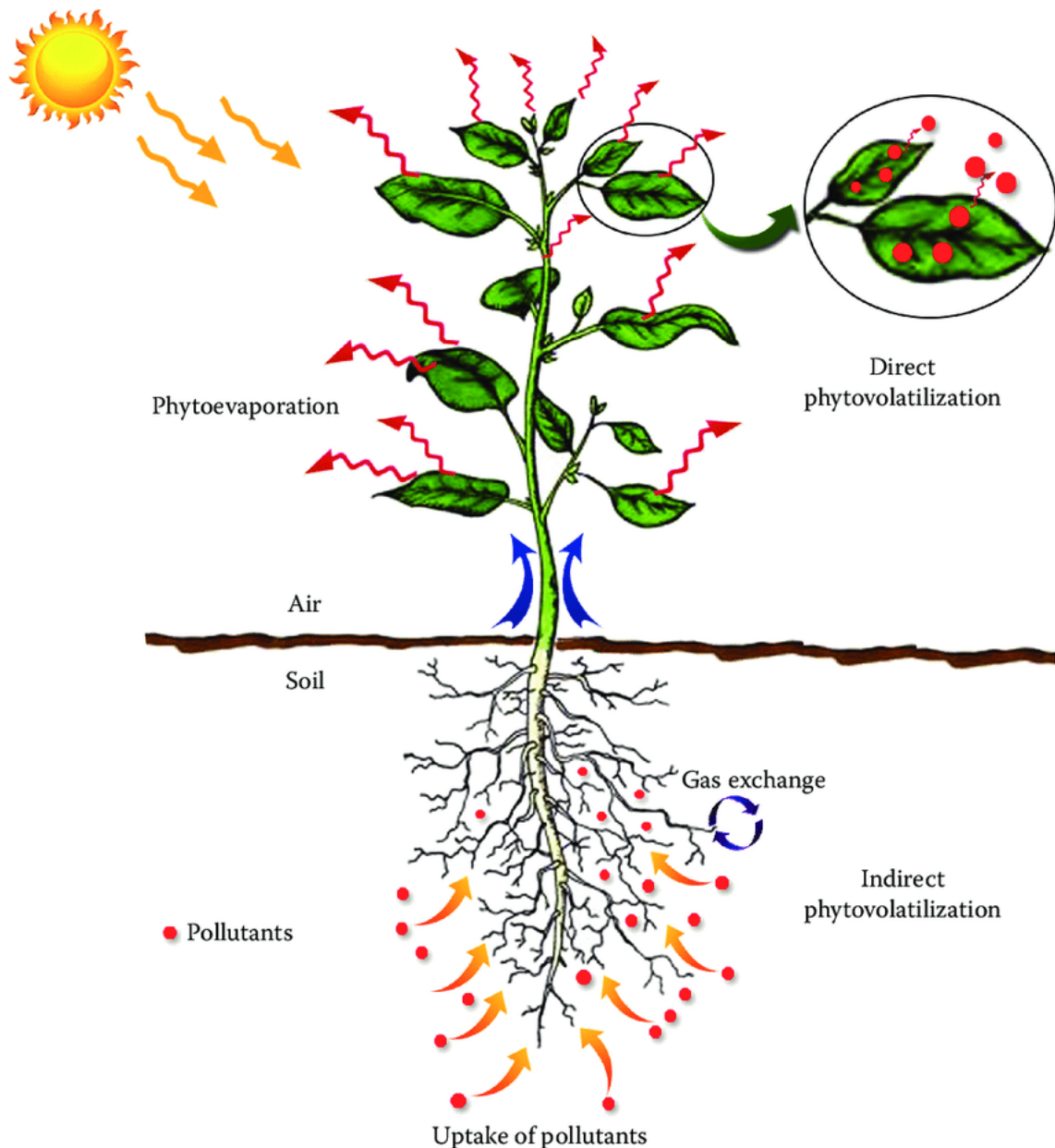
Fitoestabilización para la remoción de metales pesados



La Fito volatilización se produce cuando las plantas crecen y absorben los contaminantes. En ocasiones, estos contaminantes llegan hasta las hojas antes de volatilizarse en el aire. (Wittenberg, L., et al. 2020).

Figura 3.

Fitovolatilización para la remoción de metales pesados

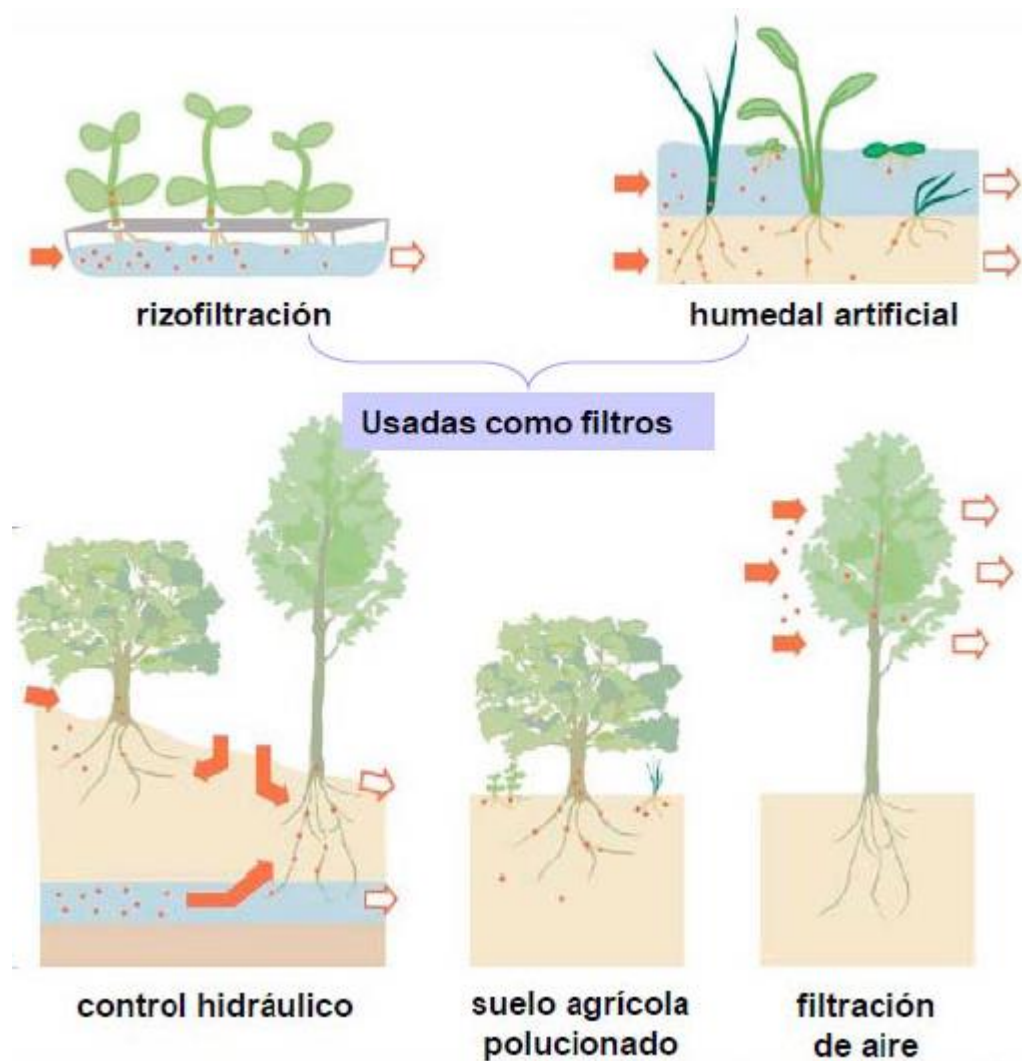


Nota: adaptado de *ByRam Chandra, Vineet Kumar* Phytoremediation of environmental pollutants (pp.1-42) Edition: First DOI: [10.4324/9781315161549-1](https://doi.org/10.4324/9781315161549-1)
https://www.researchgate.net/publication/321463001_Phytoremediation_A_Green_Sustainable_Technology_for_Industrial_Waste_Management

La Rizofiltración utiliza las raíces de las plantas para absorber la mayor cantidad de contaminantes presentes en el agua. Este método utiliza plantas acuáticas, lo que ayuda a evitar que los contaminantes ingresen a la cadena alimentaria (Salt, D. E., et al 2020).

Figura 4.

Rizofiltración para la remoción de metales pesados



Nota: Adaptado de Pilon-Smits, Annual Review in Plant Biology, 2005.

2.2.6. Especies vegetales

Las plantas absorben metales del suelo en diferentes grados, dependiendo de la especie, las características y el contenido de metales en el suelo. Las plantas pueden responder a la presencia de metales en su entorno de manera diferente; más de 400 plantas se han identificado como superacumuladores, incluidas 300 que acumulan Ni; algunas plantas pueden acumular Cd, Cu, Pb y Zn, según Beltrán y Gómez (2015). La mayoría de las especies de fitorremediación pertenecen a las familias Cruciferae, Aster, Solanum lycopersicum, Puccini, Malpighiales, Fabales, Dianthus y Rosales en la taxonomía vegetal. Las crucíferas son particularmente preocupantes porque incluyen plantas muy acumuladas que no saben bien a los animales y que pueden reducir la bioacumulación de metales en la cadena alimentaria durante la extracción de las plantas. Los metales, que absorben las plantas con frecuencia, son Cd, Ni, Zn, As, Se y Cu; y los metales que se absorben con moderación son Co, Mn y Fe. El plomo, el cromo y el mercurio son más difíciles de absorber.

De forma general, las plantas hiperacumuladoras alcanzan concentraciones de metales en hojas entre 10 y 100 veces las concentraciones “normales”. Actualmente se utiliza el término hiperacumulador de metales para designar plantas que acumulan más de 10 000 mg/kg de Mn y Zn, más de 1000 mg/kg de Co, Cu, Pb, Ni, As y Se y más de 100 mg/kg de Cd.

Ghori et al. (2016, p.1) respalda lo anterior señalando que las plantas tienen un mecanismo natural para absorber y almacenar nutrientes de acuerdo con su biodisponibilidad en el suelo y los requerimientos de las plantas. Los hiperacumuladores, por ejemplo, pueden absorber hasta 100 veces más elementos no esenciales que los no hiperacumuladores; debido a su mayor biomasa, pueden extraer metales pesados utilizando canales iónicos.

Las siguientes especies vegetales, son algunas que tiene la capacidad de fitorremediar metales pesados de suelos contaminados siendo estas: *Arabidopsis halleri* (Berro de zinc), *Helianthus annuus* (Girasol), *Salix spp.* (Sauce), *Urtica dioica* (Ortiga), *Pteris vittata* (Helecho de lenteja), *Juncus spp.* (Juncia), *Carduus acanthoides* (Cardo de plomo) y *Brassica juncea* (Nabo forrajero). De hecho,

existen mas especies vegetales con esta capacidad de fitorremediar, todas con diversos grados de absorción.

2.3. Definición de términos básicos:

Absorción. El proceso mediante el cual una sustancia tóxica ingresa a las membranas celulares de un organismo a través de la piel, los pulmones, el tracto digestivo o las branquias y luego se traslada a otros órganos. (Chang (2005)

Ambiente terrestre. Es el conjunto de elementos naturales y artificiales que conforman el entorno en el que se desarrolla la vida en la superficie de la Tierra. Estos elementos incluyen el suelo, la vegetación, el clima, la topografía, los cuerpos de agua, la fauna y la presencia humana, entre otros. (Begon et al., 2006)

Bioacumulación. La concentración acumulada en el ambiente o en los tejidos de organismos como resultado de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes de todas las rutas de exposición, como el aire, el agua, el suelo, el sedimento y los alimentos. (Fernandez, 2013).

Biodisponibilidad. Característica de las sustancias tóxicas que indica su facilidad para incorporarse a los seres vivos a través de procesos o mecanismos, como la inhalación, la ingesta o la absorción. Varias variables, como las rutas de exposición, las características fisiológicas del receptor y las características químicas del xenobiótico, afectan su incorporación a los seres vivos (Ma, Y. B. et al., 2012).

Calidad de suelos. Capacidad natural del suelo para desempeñar una variedad de funciones, incluidas las ecológicas, agronómicas, económicas, culturales, arqueológicas y de recreación. Es el estado del suelo en función de sus características físicas, químicas y biológicas que le permiten sustentar un potencial ecosistémico natural y antropogénico. (Doran, J. W. et al., 2016)

Componente ecológico. Cualquier parte de un sistema ecológico, incluidas las personas, las poblaciones, las comunidades, las interacciones, las relaciones y el mismo ecosistema. (Odum, E. P. 1994)

Contaminación. Propagación de una sustancia química o una mezcla de

sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), donde puede tener efectos perjudiciales para el medio ambiente o la salud. (United Nations Environment Programme. 2013)

Contaminante. Cualquier sustancia química que no es parte del suelo natural o cuya concentración supera el nivel de fondo y puede tener efectos perjudiciales para la salud de las personas o el medio ambiente. (Environmental Protection Agency 1997)

Medios ambientales. Cualquier elemento natural (suelo, agua, aire, plantas, animales o cualquier otra parte del medio ambiente) que contribuye a los flujos de materia y energía en un sistema y que puede contener contaminantes. A veces conocido como compartimientos. (United Nations Environment Programme 1992)

Metales pesados. Elementos químicos de alta densidad y peso atómico pueden ser dañinos para los organismos vivos. Algunos ejemplos de metales pesados incluyen el mercurio, el plomo, el cadmio, el arsénico, el cromo y el cobre. (Alloway, B. J. 2013).

Suelo. El suelo es un material no consolidado que se extiende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diversos niveles de profundidad y está formado por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos. (Brady, N. C., et al., 2008).

Suelo agrícola. Suelo destinado a cultivar cultivos, forrajes y pastos cultivados. Es también aquel suelo que es adecuado para el desarrollo de la ganadería y el crecimiento de cultivos. Esto incluye tierras agrícolas que mantienen un hábitat para especies permanentes y transitorias, así como flora y fauna nativa, como en las áreas naturales protegidas. (Food and Agriculture Organization of the United Nations 2015)

Suelo contaminado. El suelo que contiene sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana alterando sus características químicas. (D.S. N° 002-2013-MINAM)

Toxicidad. Capacidad de una sustancia o mezcla de sustancias para tener efectos perjudiciales en la salud humana o en el ecosistema (National Research Council 2001).

III. METODOLOGIA DEL PROYECTO

El trabajo investigativo es aplicativo, esta se refiere a la utilización de conocimientos y técnicas para resolver problemas prácticos y aplicarlos en situaciones reales. Es un enfoque que busca generar soluciones prácticas y útiles para resolver problemas o mejorar procesos en campos como la ingeniería, la medicina, la educación, entre otros. (Hernández Sampieri, et al. 2018).

De acuerdo al diseño, es de tipo cualitativo, (Corona & Maldonado, 2018), donde se señala que el estudio cualitativo es una categoría de diseños de investigación que permiten la recopilación de descripciones utilizando técnicas e instrumentos como la observación y la entrevista. Debido a que implica la recopilación de datos de una muestra representativa de la población de estudio en un momento específico o en un período corto de tiempo, es transversal. Este diseño de investigación permite obtener información sobre varias variables de interés en un solo momento, lo que permite una evaluación rápida y eficiente de la situación.

La técnica que se uso fue el análisis documental, retrospectivo y el instrumento usado fue la ficha de análisis documental. En este tipo de diseño se emplean recursos de recolección de datos como documentación, artículos, estudios (Hernández Sampieri, et al. 2018). Se realizará el análisis de estudios y artículos relacionados a la eficiencia de técnicas de fitorremediación en metales pesados.

3.1. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización apriorística

Las "categorías con frecuencia denotan una idea en la investigación". La categoría, según DE JESÚS PÉREZ-VAN-LEENDEN, (2019), "es un conjunto de conceptos que agrupan diferentes conceptos o subcategorías que se presentan regularmente".

Para la investigación se determinó las categorías siguientes:

- Técnicas de fitorremediación utilizadas
- Concentración de metales pesados
- Selección de especies de plantas

Se define a las subcategorías como “conceptos que se agrupan dentro de una categoría, que le aporta claridad y distintas cualidades” (Cisterna, 2005). En las subcategorías referentes a técnicas de fitorremediación tendremos: Fito inmovilización, Fito extracción, Fito estabilización y Fito volatilización; en las subcategorías referentes a metales pesados veremos los tipos de metales pesados; en las subcategorías referentes a selección de especies de tendremos: Áreas geográficas y Métodos de medición; Selección de especies para mitigación de impactos ambientales y Selección de especies bioacumuladoras.

En esta investigación se preparó una matriz de categorización, nombrándose las categorías, subcategorías e indicadores que se emplearon para analizar la información recopilada.

Tomando el punto anterior como referencia se muestra la matriz de categorización apriorística. (Anexo 5)

3.2. Escenario de estudio.

"El estudio debe ser identificado y brindarnos el acceso a los recursos, así como las características de los participantes" (Rodríguez, 1996).

El escenario de estudio se limitará al análisis e interpretación de documentos. Esto incluirá una selección cuidadosa de artículos científicos, bibliografía y revistas especializadas que examinan técnicas y métodos de fitorremediación para eliminar metales pesados de suelos contaminados. En ese sentido, el escenario de estudio de esta investigación será evaluar la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados, los mismos que se encontraron en artículos científicos como, ScienceDirect, Scopus, Springer, EBSCO, Scielo y Dialnet; estos artículos se encuentran alojados en bases de datos como, ProQuest, Google Académico, Alicia Concytec y Renati.

3.3. Participantes.

"Los participantes pueden ser manifestaciones humanas (textos, estructuras, etc.), que nos orientan a aprender desde diversos puntos de vista a través de experiencias", afirma Guerrero (2016).

Los participantes del proyecto de investigación estarán conformados por

una variedad de artículos de investigación que se recopilaron de bases de datos indexadas y plataformas académicas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

El análisis documental retrospectivo se utilizará como técnica para revisar la literatura para obtener la información requerida; se basa en la recopilación y análisis de documentos. La investigación bibliográfica es una subclase de esta clase de análisis y consiste en interpretar, estudiar y examinar artículos científicos, ya sea impresos o en línea (Herrera 2018).

Según lo mencionado, esta investigación utilizará una ficha de análisis documental como instrumento de recolección de datos. Esta ficha contiene información sobre artículos científicos publicados desde el 2017 al 2022, incluido el título, el autor (es), las plantas utilizadas, la metodología y los resultados; estando sujeta a criterios de inclusión y exclusión.

El instrumento utilizado fue la ficha de análisis documental, el mismo que contiene los elementos para recabar la información.

3.5. Procedimiento.

Para elegir un procedimiento, "es necesario elegir y tener acceso a los casos relevantes de acuerdo con el planteamiento del problema". (Hernández Sampieri, et al. 2018). Para incluir, excluir y seleccionar los trabajos de investigación, en esta etapa se utilizó un diagrama que ilustra el proceso de búsqueda de información.

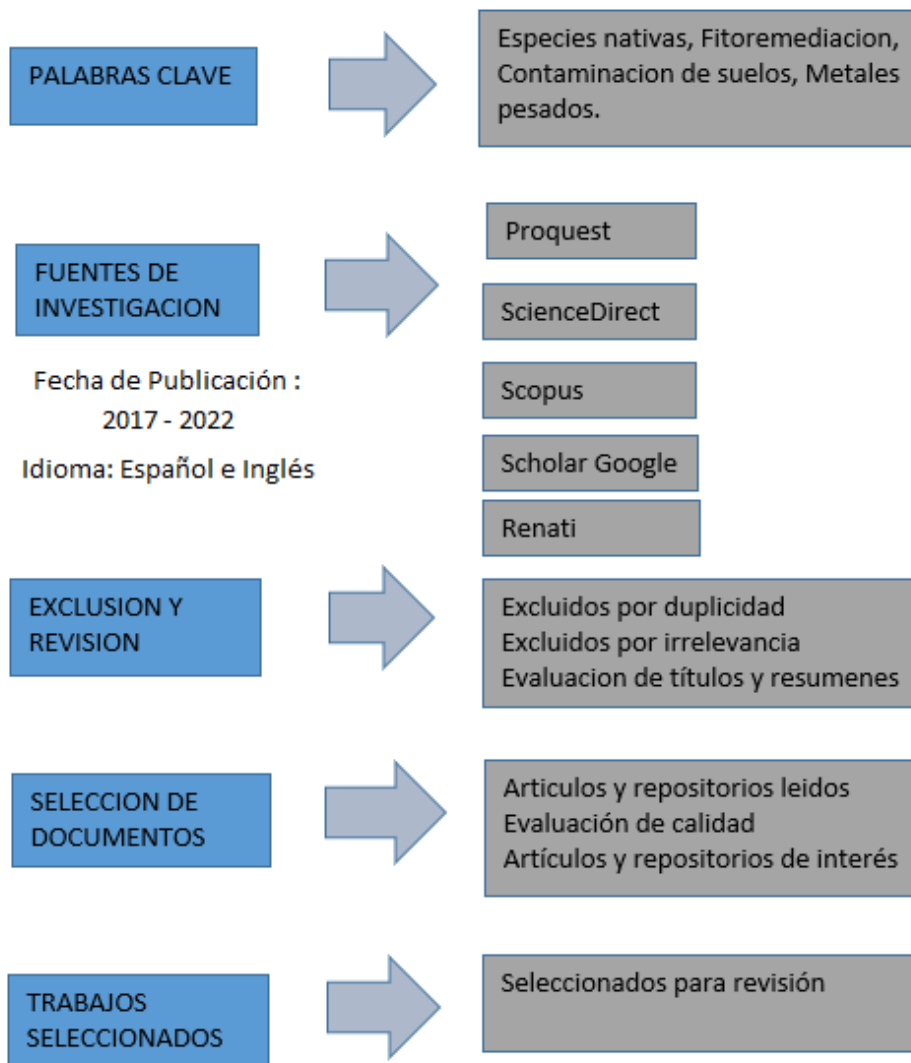
El proceso de investigación consistió en recopilar información de artículos científicos en páginas web confiables. Para realizar la búsqueda, se utilizaron palabras clave, se identificaron las fuentes de información, se utilizó criterios de inclusión y exclusión considerando publicaciones de los últimos seis años, considerando temas relacionados a la investigación. Finalmente, se verificó la fidelidad de los documentos.

Para obtener información, se utilizaron combinaciones de palabras clave con: especies nativas, fitorremediación, suelos contaminados, metales pesados. Después, se llevó a cabo la eliminación por repetición y falta de relevancia, así como la revisión de los trabajos de investigación y la evaluación de los títulos y

resúmenes para su posterior selección. Los artículos y repositorios relevantes son leídos y evaluados después de pasar por ese filtro.

Figura 5.

Diagrama de flujo de Procedimiento



Nota: La figura muestra el diagrama de flujo del procedimiento que se siguió en la investigación, adaptado de Creswell (2014).

3.6. Rigor Científico.

Las investigaciones cualitativas requieren un trabajo de investigación científico. Los escritores han creado varios estándares como la dependencia, la credibilidad, la transferencia y la conformidad (Bravo, 2017).

La dependencia se refiere a los datos que deben ser verificados por varios investigadores para crear interpretaciones sólidas. (Hernández Sampieri, et al. 2018). Esta investigación tomó una variedad de datos e ideas de varios autores para comparar y encontrar explicaciones congruentes.

La credibilidad se relaciona con el nivel de comprensión del investigador basado en las experiencias de los participantes, particularmente las relacionadas con el planteamiento del problema. (Hernández Sampieri, et al. 2018). Dado que existe una correlación entre el planteamiento del problema y los artículos considerados, este criterio se utilizó en la investigación en curso.

El traslado es otro nombre para la transferencia. Según algunos autores, es extremadamente difícil cambiar los resultados obtenidos a un entorno diferente; sin embargo, se considera que puede ser muy útil para tener una visión global del problema y encontrar posibles soluciones en un entorno diferente. (Hernández Sampieri, et al. 2018). Este criterio se cumple en la investigación actual porque el problema se encuentra claramente y ofrece múltiples soluciones para el problema de los suelos contaminados.

La conformidad está relacionada con la credibilidad y se relaciona con el criterio de conformidad con el ingenio de un investigador distinto de seguir la ruta o la pista del investigador principal. Es importante tener documentación y registros de las ideas y decisiones que el investigador ha expresado en relación al estudio de investigación (Hernández Sampieri, et al. 2018). Se ha tomado en cuenta la información principal proporcionada por los investigadores, así como las ideas y sugerencias para la investigación en curso.

3.7. Método de análisis de datos.

Los objetivos específicos de este trabajo organizarán la información recopilada para su revisión, dividiéndola en categorías y subcategorías. Esto permitirá acceder a información bibliográfica sobre aspectos relevantes y actuales del uso y gestión del tema principal de investigación. Utilizando el análisis documental como método; la herramienta de recolección de datos fue la ficha de análisis de contenido. Para analizar los datos recopilados, la investigación utilizó una matriz de categorización apriorística; es decir, un

análisis de la eficiencia de las técnicas de fitorremediación para evaluar la eficiencia en metales pesados.

Sobre esta base, se muestra las similitudes o diferencias entre las técnicas de fitorremediación para el tratamiento de suelos por metales pesado, incluyendo las especies vegetales que intervienen en este proceso, que se detalla en el capítulo de resultados.

3.8. Aspectos Éticos en Investigación.

Para la presente investigación, titulada “EFICIENCIA DE LAS TÉCNICAS DE FITORREMEDIACIÓN EN METALES PESADOS BASADO EN ARTÍCULOS CIENTÍFICOS EN EL PERIODO 2017 - 2022”, el autor señala que su responsabilidad, autenticidad y confiabilidad, con respecto a la autoría de otros estudios, es concordante con el código de ética de investigación aprobado por con Resolución N° 210-2017-CU, así como con la directiva N° 004-2022-R, ambas establecidas por la Universidad Nacional del Callao.

IV. RESULTADOS

4.1. Para la primera categoría, técnicas de fitorremediación utilizadas, se realizó el análisis documental, cuyo resultado se observa en la tabla 1. Este análisis incluye técnicas que influyen en la absorción de metales pesados.

Las técnicas de fitoestabilización y fitoextracción pueden eliminar con eficacia metales pesados como Pb, Cu, Cd y Zn.

Las plantas que mejor se desempeñaron con la técnica de fitoestabilización fueron *Brassica juncea*, *Amarantus hybridus*, *Acacia saligna* y *Brachiaria spp*, que principalmente tienen una alta capacidad de eliminar Pb, Cd y Cu.

Las plantas que mejor se desempeñaron con la técnica de fitoextracción fueron *Acacia farnesiana*, *Amarantus hybridus*, *Brassica rapa*, *Acacia parviflora*, *Brachiaria spp.* y *Brassica napus L.*, que tienen una alta capacidad de eliminar Pb, Cd, Zn y As.

Con la técnica de rizofiltración, los porcentajes de eficiencia de remoción pueden variar según las condiciones específicas del sitio, la concentración inicial de metales y la duración del tratamiento, por lo que encontramos una variación significativa; sin embargo, las plantas que tienen una alta capacidad de remover metales como Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Cr y As son: *Phragmites australis*, *Typha latifolia*, *Schoenoplectus lacustris* y *Arundo donax*.

Referido a los factores que influyen en la eficacia de las técnicas de fitorremediación, se consideran Factores de toxicidad de los contaminantes, La salud de las plantas en la fitorremediación, el Factor de Translocación (FT), Factor de Bioconcentración Aérea (FBA) y Factor de Bioconcentración Radicular (FBR), es importante comprender cómo estos elementos pueden afectar el éxito y la eficacia del proceso.

Tabla 1.

Eficiencia de las técnicas de fitorremediación en la remoción de metales pesados.

Técnica	% eficiencia de remoción	Metales removidos	Especie vegetal
Fitoestabilización	46	Pb	<i>Brassica juncea</i>
Fitoextracción	50	Pb	<i>Acacia farnesiana,</i>
Fitoestabilización y Fitoextracción	75	Pb	<i>Amarantus hybridus,</i>
Fitoimmobilización y Fitoextracción	100	Pb, Cd y Zn	<i>Brassica rapa,</i>
Fitoestabilización	87	Cu	<i>Acacia saligna,</i>
Fitovolatilización y Fitoextracción	40	As y Zn	<i>Acacia parviflora,</i>
Fitoestabilización y Fitoextracción	41	Pb, Cd	<i>Brachiaria spp</i>
Fitoextracción	46	Pb, Cd	<i>Brassica napus</i>
Rizofiltración	60-95	Pb, Cd, Zn, Cu Ni, Cr, As	<i>Phragmites australis</i>
Rizofiltración	40-80	Pb, Cd, Zn, Cu Ni, Cr, As	<i>Tvoha latifolia</i>
Rizofiltración	50-90	Pb, Cd, Zn, Cu Ni, Cr, As	<i>Schoenoplectus lacustris</i>
Rizofiltración	40-70	Pb, Cd, Zn, Cu Ni, Cr, As	<i>Arundo donax</i>

Toxicidad de los contaminantes; la toxicidad de los contaminantes juega un papel crucial en la fitorremediación, ya que puede afectar la supervivencia y el crecimiento de las plantas utilizadas en el proceso. Algunos contaminantes, como los metales pesados (por ejemplo, plomo, arsénico, cadmio), hidrocarburos y compuestos orgánicos persistentes, pueden ser tóxicos para las plantas en altas concentraciones. Estos contaminantes pueden afectar negativamente el desarrollo de las raíces, la fotosíntesis, la absorción de nutrientes y la estructura celular de las plantas.

Salud de las plantas: La salud de las plantas es un factor esencial en la fitorremediación, ya que las plantas sanas tienen una mayor capacidad para sobrevivir, crecer y desintoxicar los contaminantes. La salud de las plantas puede

estar influenciada por varios factores, incluyendo las condiciones ambientales, el suministro adecuado de nutrientes, la disponibilidad de agua y la presencia de enfermedades o plagas.

4.2. Para la segunda categoría, concentración de metales pesados en especies vegetales, estos son medidos a través del Factor de Translocación (FT), Factor de Bioconcentración Aérea (FBA) y Factor de Bioconcentración Radicular (FBR), visualizando la eficiencia que poseen las plantas frente a diversos contaminantes. Dichos factores se observan en las Tablas 2, 3 y 4.

El investigador Fow (2021), investiga el potencial de fitorremediación de tres especies vegetales utilizando un análisis por metales para producir FBA y FBR, así como FT para Al, Cu, Fe, Mn y Zn.

En esta Tabla 2, mostramos que las especies tienen la capacidad de transferir metales pesados desde las raíces hasta las partes aéreas. Se puede ver que la *Werneria nubigena* tiene Al, Cu, Fe y Zn, así como *Calamagrostis spp.* tiene Cu, Fe y Zn y *Paranephelius ovatus* tiene Zn. Esto demuestra que estas plantas movilizan estos metales de manera efectiva.

Chuptaya y Molina (2022), tomaron tres muestras para cada especie de *Schinus molle* y *Acacia macracantha* para los metales siguientes: As, Ba, Cd, Cu, Cr, Sr, Fe, Mn, Ni, Pb, Tl, V, Zn y Hg. *Schinus molle* acumuló cantidades significativas de Sr y Tl en toda su estructura y demostró un potencial de hiperacumulación de Hg. Asimismo, *Schinus molle* realiza un eficiente transporte del mercurio desde las raíces a sus partes aéreas y posee una gran capacidad de almacenamiento en las vacuolas de las hojas y el apoplasto. *Acacia macracantha* presentó un potencial de acumulación para el Sr solo en tallo y un potencial de hiperacumulación de Tl en raíz y tallo. También acumuló Tl en sus hojas, y demostró un potencial de hiperacumulación de Hg en toda la planta. Además, *Acacia macracantha* evidenció un potencial de Fitoextracción por haber transportado eficientemente el Sr desde la raíz hacia las partes aéreas de la planta; Finalmente, al evaluar los factores de bioconcentración y traslocación de los metales pesados se evidenció el potencial de fitorremediación de *Schinus molle* y *Acacia macracantha* para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados en la provincia de Canta, región Lima.

Tabla 2.*Factor de Translocación (FT)*

Autor	Especie Nativa	Metales con Factor Traslocado
Fow (2021)	<i>Werneria nubigena</i>	Al, Cu, Fe y Zn
	<i>Calamagrostis</i> spp.	Cu, Fe y Zn
	<i>Paranephelius ovatus</i>	Zn
Chuptaya & Molina (2022)	<i>Schinus molle</i>	Hg
	<i>Acacia macracanta</i>	Ba, Sr, Hg y Zn
Corpus (2018)	<i>Calamagrostis recta</i> (Kunt)	
	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine)	
	<i>Festuca glceriantha</i>	Zn
Chang et al. (2018)	<i>Achyrodine alata</i>	Cd, Pb
	<i>Calamagrostis recta</i> (Kunt)	
	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine)	
	<i>Festuca glceriantha</i>	
	<i>Juncus bufonius</i>	Ni y Zn
	<i>Stipa ichu</i>	
Martinez (2018)	<i>Werneria nubigena</i>	Cd, Cu, Ni, Pb y Zn
	<i>Baccharis salicifolia</i>	
Leon (2017)	<i>Schoenoplectus pung</i>	
	<i>Achyrodine alata</i>	Cd, Ni y Zn
	<i>Werneria nubigena</i>	Cd, Cu, Ni, Pb y Zn
Dávila et al (2018)	<i>Juncus arcticus</i>	
	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Cr, Mg, Mn y Tl
	<i>Paspalum bonplandianum</i>	Cr, Mg, Mn, Ni, Sn y Sr
	<i>Carex pichinchensis</i>	Mg, Mn, Ni, Sn y Sr
	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Mg, Mn, Ni, Sn, Sr y Zn
Torres (2018)	<i>Juncus conglomeratus</i>	Mg, Mn, Ni, Sn y Sr
	<i>Stipa ichu</i>	Zn

El investigador Corpus (2018), Trabajó con tres especies autóctonas: *Calamagrostis recta* (Kunth) Trin. Ex Steud., *Cortaderia jubata* (Lemoine) Stapf

y *Festuca glyceriantha Pilg.* Realizó dos muestras para cada especie. El suelo M1 contenía metales pesados, mientras que el suelo M2 contenía metales como Cd, Cu, Ni, Pb y Zn. Los resultados del FT revelaron que solo el Zn en la M1 de *Festuca glyceriantha Pilg* obtuvo un valor superior 1, lo que indica que esta planta tiene la capacidad de translocación.

Por su parte Chang et al. (2018) llevó a cabo una investigación con nueve especies diferentes: *Achyrocline alata (Kunth) DC.*, *Calamagrostis recta (Kunth) Trin. Ex Steud.*, *Cortaderia jubata (Lemione) Stapf*, *Festuca glyceriantha Pilg.*, *Juncus bufonius L.*, *Stipa ichu (Ruiz & Pav.) Kunth*, *Werneria nubigena Kunth.*, *Medicago lupulina L.* y *Pennisetum clandestinum Hochst. Ex Chiov.*

La tabla 2 muestra que solo algunas especies pueden transferir metales pesados, con valores superiores a 1, como el Zn en *A. alata*, el Ni y el Zn en *J. bufonius* y el Cd, Cu, Ni y Zn en *W. nubigena*.

El investigador Martínez (2018) llevó a cabo una selección de especies para determinar si las especies *Baccharis salicifolia (Ruiz & Pav.) Pers.* y *Schoenoplectus pungens (Vahl)* tenían la capacidad de transferir y acumular Hg. Los resultados FT indicaron que solo *Schoenoplectus pung.* puede translocarse.

Leon (2017) trabajó con tres especies diferentes, *Achyrocline alata (Kunth) DC.*, *Werneria nubigena Kunth* y *Juncus arcticus Willd.*, utilizando dos muestras para cada una. El M1 se hizo en suelo que contiene metales pesados, mientras que el M2 se hizo en suelo de una mina que contiene los metales Cd, Cu, Ni, Pb y Zn. Los resultados para determinar el FT en *Achyrocline alata* mostraron valores mayores a 1 en M1 el Cd, Ni y Zn y solo Pb en M2. Sin embargo, los resultados para determinar el FT en *Werneria nubigena* fueron más notables, mostrando una capacidad de translocación en M1 el Cd, Cu, Ni y Zn y en M2 el Cd, Cu, Ni y Pb. mientras tanto la *Juncus arcticus* solo demostró capacidad de translocación en su M1 de los siguientes metales Cd y Pb.

Dávila & Walter (2018), tomaron dos muestras de cada una de las cinco especies estudiadas: *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus*. La M1 se llevó a cabo en el área no afectada Las Gradadas, mientras que la M2 se llevó a cabo en el área afectada El Sinchao para los metales siguientes: Al, As, Cd, Cu,

Cr, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Sr, Tl, Zn y Hg. El FT de *Calamagrostis tarmensis* mostró valores superiores a 1, en Mg, Mn y Tl en la M1, el Cr, Mg y Mn en la M2; el *Paspalum bonplandianum* para la M1 el Cr, Mg, Mn, Sn, Sr, para la M2 el Mg, Mn y Ni; el *Carex pichinchensis* para la M1 el Mg, Mn, Ni, Sn y Sr, para la M2 el Mg, Mn y el Ni; *Lachemilla orbiculata* en su M1 el Mg, Ni, Sn, Sr y Zn y en su M2 el Mg, Mn, Ni y Sr; y, por último, el *Juncus conglomeratus* demostró capacidad de translocación en su M1 el Mg, Mn, Sn, Sr y en su M2 el Mg, Mn y Ni.

Torres (2018) investigó con tres especies diferentes: *Stipa ichu* (Ruíz y Pav.) Kunth, *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov y *Medicago lupulina* L. Las dos primeras especies fueron introducidas y no serán consideradas en esta investigación. La muestra M1 con un sustrato de metales pesados y la muestra M2 con suelo de mina para los metales Cd, Cu, Ni, Pb y Zn. El FT que mostró la *Stipa Ichu* en ambas muestras mostró que solo el Zn en M2 obtuvo un valor superior a 1, lo que demuestra la capacidad de este metal para moverse desde las raíces hasta las partes aéreas.

Por lo tanto, es importante señalar que algunos investigadores coincidieron en los hallazgos en sus investigaciones. Los estudios de Fow (2021), Chang et al. (2018) y León (2017), que se llevaron a cabo en el departamento de Ancash, tuvieron resultados similares y obtuvieron un valor superior a 1. Esto demuestra su capacidad para transferir Cu, Ni y Zn a la *Werneria nubigena*; a su vez, *Achyrocline alata* (Kunth) DC. presentó resultados similares para Cd y Pb en los trabajos de investigación de Chang et al. (2018) y León (2017); *Juncus spp.* demostró resultados similares al Ni en Chang et al. (2018) y Dávila et al. (2018).

Tabla 3.*Factor de Bioconcentración Aérea (FBA)*

Autor	Especie Nativa	Metales con Factor de Bioconcentración Aérea
Fow (2021)	<i>Werneria nubigena</i>	Al, Cu, Fe y Zn
	<i>Calamagrostis</i> spp.	Al, Cu, Fe y Zn
	<i>Paranephelius ovatus</i>	Al, Cu, Fe, Mn y Zn
Chuptaya & Molina (2022)	<i>Schinus molle</i>	Hg, Ni, Sr y Tl
	<i>Acacia macracanta</i>	Cr, Hg y Tl
Corpus (2018)	<i>Calamagrostis recta</i> (Kunt)	
	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine)	
	<i>Festuca glceriantha</i>	
Chang et al. (2018)	<i>Achyrodine alata</i>	Zn
	<i>Calamagrostis recta</i> (Kunt)	
	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine)	
	<i>Festuca glceriantha</i>	
	<i>Juncus bufonius</i>	Ni y Zn
	<i>Stipa ichu</i>	Ni
	<i>Werneria nubigena</i>	Cd, Cu, Ni, y Zn
Martínez (2018)	<i>Baccharis salicifolia</i>	Hg
	<i>Schoenoplectus pung</i>	Hg
León (2017)	<i>Achyrodine alata</i>	Cd y Zn
	<i>Werneria nubigena</i>	Cd, Cu, Ni y Zn
	<i>Juncus arcticus</i>	
Dávila et al (2018)	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	
	<i>Paspalum bonplandianum</i>	
	<i>Carex pichinchensis</i>	
	<i>Lachemilla orbiculata</i>	
Torres (2018)	<i>Juncus conglomeratus</i>	
	<i>Stipa ichu</i>	Zn

Tabla 4.*Factor de Bioconcentración Radicular (FBR)*

Autor	Especie Nativa	Metales con Factor de Bioconcentración Radicular
Fow (2021)	<i>Werneria nubigena</i>	Al, Cu, Fe, Mn y Zn
	<i>Calamagrostis</i> spp.	Al, Cu, Fe, Mn y Zn
	<i>Paranephelius ovatus</i>	Al, Cu, Fe, Mn y Zn
Chuptaya & Molina (2022)	<i>Schinus molle</i>	Hg, Sr y Tl
	<i>Acacia macracanta</i>	Cr, Hg y Tl
Corpus (2018)	<i>Calamagrostis recta</i> (Kunt)	Cd
	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine)	
	<i>Festuca glceriantha</i>	Cd
Chang et al. (2018)	<i>Achyrodine alata</i>	Zn
	<i>Calamagrostis recta</i> (Kunt)	Cd, Cu, Ni
	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine)	
	<i>Festuca glceriantha</i>	Cd
	<i>Juncus bufonius</i>	Cd, Cu y Ni
	<i>Stipa ichu</i>	Ni
	<i>Werneria nubigena</i>	Cu, Ni, Pb y Zn
Martínez (2018)	<i>Baccharis salicifolia</i>	Hg
	<i>Schoenoplectus pung</i>	Hg
León (2017)	<i>Achyrodine alata</i>	Cd, Cu, Pb y Zn
	<i>Werneria nubigena</i>	Ni y Zn
	<i>Juncus arcticus</i>	Cd, Cu y Ni
Dávila et al (2018)	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	Mg, Mn y Sb
	<i>Paspalum bonplandianum</i>	Cr, Mg, Mn, Sb y Zn
	<i>Carex pichinchensis</i>	Mg, Mn y Zn
	<i>Lachemilla orbiculata</i>	Cd, Mg, Mn, Sr y Zn
	<i>Juncus conglomeratus</i>	Cd, Cr, Mg, Mn y Zn
Torres (2018)	<i>Stipa ichu</i>	Zn

Según los datos de Fow (2021), los valores de FBA y FBR son mayores a 1, excepto para Mn en FBA en *Werneria nubigena* y *Calamagrostis* spp., lo que demuestra la capacidad de acumulación de las tres especies examinadas.

Los resultados de Chuptaya y Molina (2022) referido a *Schinus molle* en todas sus muestras mostraron hiperacumulación de Hg en toda su estructura; la muestra M1 demostró una capacidad de acumulación de Sr en sus hojas y raíces, y la muestra M2 demostró una capacidad de acumulación de Sr en toda su estructura (raíces y hojas). Para la muestra M3, el Sr, Ni y Tl demostraron su capacidad de acumulación en toda la estructura, y el Tl demostró una capacidad hiperacumuladora en sus raíces. En M1, la *Acacia macracantha* demostró su capacidad acumuladora (FBC) de Tl en su raíz y su capacidad hiperacumuladora para el Hg en toda su estructura. En M2, acumuló Cr en toda su estructura, Sr en su tallo y Tl en sus hojas, así como una capacidad hiperacumuladora para Hg en la raíz. En la muestra M3, el Sr demostró una capacidad acumuladora en el tallo y en sus partes altas, así como una capacidad acumuladora para el Tl en su raíz, como también en toda la estructura para el Hg. Todas las especies mostraron una baja capacidad de acumulación en la parte aérea (FBA) según Corpus (2018), con valores menores a 1. Solo dos plantas para el FBR demostraron capacidad de acumulación: *Calamagrostis recta* (Kunth) Trin. Ex Steud. y *Festuca glyceriantha* Pilg. Ambos acumularon Cd en sus M1 con un valor superior a 1.

En su investigación de 2018, Chang et al. encontró especies con capacidad de acumulación en sus partes aéreas (FBA): *A. alata* el Zn, *J. bufonius* el Ni y Zn, *S. ichu* el Ni y *W. nubigena* el Cd, Cu, Ni y Zn.

En *A. alata*, el FBR demostró la capacidad de acumular Zn; en *C. recta*, el Cd, Cu y Ni; en *F. glyceriantha*, el Cd, Cu y Ni; en *J. bufonius*, el Cd, Cu y Ni; en *S. ichu*, el Cd, Cu y Ni; y en *W. nubigena*, el Cu, Ni, Pb y Zn se acumularon.

Martínez (2018), trabajó con *J. bufonius* y *Schoenoplectus pung.*; ambas especies utilizadas demostraron capacidad de hiperacumulación de mercurio en sus partes aéreas y raíces, con valores superiores a 10.

Leon (2017), la especie *Achyrocline alata* presentó la mayor concentración de Pb y Zn en la raíz para el grupo suelo con metales pesados y

suelo de mina respectivamente, también presentó una concentración significativa de Zn en la parte aérea para el grupo suelo con metales pesados; si bien esta especie presenta menor biomasa y altura, es fitoestabilizadora (Clasificación TF) y tolerante (Clasificación FBC) para Pb y Zn en ambos grupos evaluados, y es hiperacumuladora (Clasificación FBC) en Zn para el grupo suelo con metales pesados.

La especie *Werneria nubigena* presentó la mayor concentración de Zn en la parte aérea, para los grupos de suelo con metales pesados y en la raíz, si bien esta especie no presenta diferencias significativas en biomasa y altura, es hiperacumuladora (Clasificación TF) e indicadora/hiperacumuladora (Clasificación FBC) en el grupo suelo con metales pesados, y fitoestabilizadora (Clasificación TF) y tolerante (Clasificación FBC) para el grupo suelo de mina. (Ñáñez, 2016) clasifica como tolerante (Clasificación FBC) a la especie *Werneria* sp. evaluada en la zona de Pastoruri, Ancash para metales como la plata, aluminio, arsénico, cromo, mercurio, manganeso, cadmio, cobre, hierro, níquel, plomo, boro.

Dávila et al. (2018), donde se realizaron los análisis en las especies *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y *Juncus conglomeratus* seleccionadas por su alto valor de importancia en la zona, posteriormente mediante el coeficiente de correlación de Pearson se logró determinar la relación entre la concentración de metales en el suelo y las plantas. Asimismo, se calculó el Factor de Traslocación y Factor de Bioconcentración, lo que permitió indicar si la planta es fitoestabilizadora o fitoextractora de Aluminio, Arsénico, Plomo, Cromo, Cobre, Cadmio, Magnesio, Manganeso, Zinc, Estroncio, Antimonio, Talio, Hierro, Mercurio, Níquel y Estaño. Por otro lado, se obtuvo una base de datos de la zona Las Gardas, la cual contribuyó como referencia para comparar la acumulación de las plantas tanto en una zona con pasivos y otra zona sin alteraciones. En la investigación se identificó que la especie *Paspalum bonplandianum*, acumula la mayor cantidad de metales pesados (mg/kg), como el Aluminio (2844.6), Mercurio (0.3), Antimonio (13), Estaño (1.4), Zinc (760.2), Cromo (3.86) y Níquel (3.59). Asimismo, la concentración de metales pesados se da en la parte de la raíz de

todas las especies, a excepción de la *Lachemilla orbiculata* donde se observó que es en el tallo. Finalmente, mediante los TF y BCF se estableció que la especie *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y el *Juncus conglomeratus* serían especies fitoextractoras de Mg y Mn; igualmente, *Lachemilla orbicula* también sería fitoextractora del Sr y el Zn. Por otro lado *Calamagrostis tarmensis* se podría aplicar en técnicas de fitoestabilización para el Ti, así como *Paspalum bonplandianum* para el Sb, Zn y Cr, la especie *Carex pichinchensis* para Zn, la especie *Lachemilla orbiculada* para el Cd y Mn y finalmente el *Juncus conglomeratus* para el Cd, Cr y Zn.

Torres (2018), el FBA que demostró *Stipa Ichu* en M2 donde el Zn tenía un valor superior a 1, lo que demuestra la capacidad de concentración en su parte aérea. Ambos FBR de *Stipa Ichu* muestran que el Zn obtuvo un valor superior a 1. Esto demuestra la capacidad de concentración del metal en su parte radicular. Se descubrieron varios patrones en varias especies, lo que indica que tienen capacidades de acumulación a un metal específico, ya que su tolerancia y capacidad de translocación mostraron valores superiores a 1. Los resultados del análisis se pueden ver en la siguiente descripción.

En los estudios de Fow (2021), Chang et al. (2018) y Leon (2017), se encontró que la *Werneria nubigena* obtuvo resultados similares al obtener un valor superior a 1, demostrando su capacidad de acumulación aérea para Cd, Cu, Ni y Zn, mientras que su capacidad de acumulación radicular obtuvo valores similares para Cu, Ni y Zn. En toda su estructura (raíces y partes aéreas) para el Zn, *Achyrocline alata (Kunth) DC.* presentó resultados similares.

Y *Juncus spp.* demostró resultados similares para Cd, Cu y Ni en su estudio de Chang et al. (2018), Leon (2017) y Dávila et al. (2018) en su parte radicular.

En los estudios Fow (2021), Corpus (2018), Chang et al. (2018) y Dávila et al. (2018), *Calamagrostis spp.* mostró similitudes en la parte radicular con Cu y Mn.

En la investigación de Corpus (2018) y Chang et al. (2018), *Festuca glyceriantha Pilg.* obtuvo valores Cd superiores a 1.

La Tabla 5 muestra una comparación de la eficiencia de los métodos de fitorremediación en metales pesados por la aplicación de plantas hiperacumuladoras:

Tabla 5.

Eficiencia de los métodos de fitorremediación en hiperacumuladoras

Técnica de aplicación (Fito-Extracción Natural o Fitoextracciónasistida)	Metodología	Metal	Autor
Fitoextracción asistida	Secado y triturado	Cd	Zhang et al., 2021
Fitoextracción asistida	Secado 105°C y triturado con trituradora de laboratorio	Ni	Hazotte et al., 2020
Fitoextracción asistida	Secado 72°C y molido	Cu	Cartaya et al., 2017
Fito-Extracción Natural	10 estaciones de evaluación de metales en tejido vegetal.	Hg Sn Se Hg	Cahuana L. y Aduvire O., 2019
Fito-Extracción Natural	No indica	Cu	González et al., 2008
Fito-Extracción Natural	Siembra de estacas, obtención de plántulas, siembra de plántulas y crecimiento de plántulas.	Óxido de aluminio y Fe	Morales A. y Moreira M., 2020
Fitoextracción asistida	Se estableció en un diseño de bloques aleatorios utilizando un esquema factorial 4 x 1 con tres repeticiones. Las muestras de las plantas (parte aérea y raíz) y la solución nutritiva se sometieron a los análisis químicos para la determinación del Pb.	Pb	Romeiro et al., 2007
Fito-Extracción Natural	El tratamiento control consistió en las plantas sembradas en un	Hg	Durango et al., 2010

suelo sin historial minero (muy baja concentración de Hg), con el propósito de establecer las diferencias en los rasgos fitotóxicos con las plantas expuestas a altas concentraciones de Hg, puesto que en las plantas sembradas en el suelo control no se generan tasas considerables de acumulación ni remoción del metal del suelo.

Fito-Extracción Natural	En macetas se estudió el crecimiento, la fitoextracción de metal (loid) y la complementariedad mediante la co-plantación de <i>Pteris vittata L.</i> con tres especies tolerantes a metales (loid) con gran biomasa (a saber, <i>Arundo donax L.</i> , <i>Morus alba L.</i> y <i>Broussonetia papyrifera L.</i>) en suelos co-contaminados con As, Cd, Pb y Zn.	As Cd Pb Zn	Zeng et al., 2019
Fito-Extracción Natural	Se recolectaron individuos de tres especies en dos zonas de muestreo: una zona intensiva donde continúa la extracción de oro, y una zona natural.	Hg	Chamba et al., 2017
Fito-Extracción Natural	Se determinaron el Factor de Translocación (TF) y el Factor de Acumulación de Brotes (SAF) para evaluar las estrategias de tolerancia desarrolladas por estas especies y evaluar su potencial para fines de fitorremediación.	As Cu Pb Zn	Bech et al., 2016
Fito-Extracción Natural	Se tomaron muestras de suelo y plantas en Perú, en una mina polimetálica (principalmente plata, plomo y cobre) en la provincia de Cajamarca.	PbZn	Bech et al., 2012
Fito-Extracción Natural	Se seleccionaron cuatro sitios para la recolección de plantas que crecen en suelos contaminados en México	Zn	González C. y González M., 2006

Fito-Extracción Natural	Se recogieron muestras de suelo y del helecho, El suelo de se secó, tamizó y molió; las hojas que tenían esporas se muestrearon por separado y se separaron de aquellas sin esporas, y las hojas senescentes fueron separadas de las hojas jóvenes y sanas.	As	Francesconiet al., 2002
Fitoextracción asistida	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. Las muestras de suelo se cortaron inmediatamente en estratos de 0- 5-cm y 5-20 cm y se almacenaron en bolsas de plástico a 4 °C hasta su análisis.	B	Rámila et al., 2015
Fito-Extracción Natural	Las plantas se cultivaron en una cámara de crecimiento con una temperatura día/noche de 26/20 °C, con un fotoperiodo de 16/8 h bajo una intensidad de luz de 400µmol m ⁻² s ⁻¹ y una humedad del 70/85%. Se realizaron tres réplicas biológicas para cada tratamiento.	Zn Cd	Yang et al., 2018
Fito-Extracción Natural	Las plantas fueron sembradas y monitoreadas cada semana para determinar su altura; previa siembra se pesaron hojas, tallos y raíz de cada maceta. Posteriormente fueron pesadas en peso fresco, para llevar a la estufa y secarlas para tener la materia seca.	Pb Cd	Munive et al., 2018

Nota: Adaptado de Tejada y Zevallos (2021).

4.3. Para la tercera categoría, selección de especies de plantas, cuya distribución y análisis se muestran en la Tabla 6. En esta se muestra las características de distribución de las especies que se utilizan para remediar suelos contaminados: *Werneria nubigena*, *Calamagrostis spp.*, *Paranephelius ovatus*, *Schinus molle*, *Acacia macracantha*, *Cortaderia*

jubata (Lemoine) Stapf, *Festuca glyceriantha* Pilg., *Achyrocline alata*,
Juncus sp., *Stipa* Ichu, *Baccharis salicifolia*, *Schoenoplectus pung.*,
Paspalum bonplandianum, *Care*

Tabla 6.

Características de distribución de especies hiperacumuladoras

Familia	Nombre científico	Nombre común	Distribución
Asteraceae	<i>Werneria nubigena</i>	Lleqllish qora	<i>Werneria nubigena</i> es una especie nativa que se encuentran entre los 2800 a 5000 m.s.n.m, distribuidos en los Andes de Perú, Bolivia y Ecuador (Beltrán, Sinopsis del genero <i>Werneria</i> (Asteraceae: Senecioneae) del Perú., 2017).
Poaceae	<i>Calamagrostis</i> spp.	Sora, Ichu	<i>Calamagrostis</i> spp. las especies se encuentran sobre los 3260 m.s.n.m, distribuidos en la cordillera de los Andes de Perú (De la Torre, Alegría, Refulio, & Sánchez, 2006)
Asteraceae	<i>Paranephelius ovatus</i>	Inti Salvia	<i>Paranephelius ovatus</i> se encuentran sobre los 3600 m.s.n.m, en zonas de elevación del Perú y en Bolivia (Norrbom, y otros, 2013).
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	Molle	<i>Schinus molle</i> se extiende por Sudamérica pero es nativa de Perú y Bolivia (Rojas , Schulte, & Rojas, 1992)
Fabaceae	<i>Acacia macracantha</i>	Faique	Es una especie nativa de Perú, Ecuador y Colombia, se distribuyen desde 0 hasta 3000 m.s.n.m. (Tarazona, 2018)
Poaceae	<i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine) Stapf	Jesje	<i>Cortaderia jubata</i> es una especie nativa de las regiones andinas de Ecuador, Perú y Bolivia, entre los 3200 a 3800 m.s.n.m. (Lambrinos, 2000).
Poaceae	<i>Festuca glyceriantha</i> Pilg.	Desconoci do	<i>Festuca glyceriantha</i> Pilg. se encuentran sobre los 3340 a 4200 m.s.n.m. distribuidos en el norte y centro del Perú (De la Torre, Alegría, Refulio, & Sánchez, 2006)
Asteraceae	<i>Achyrocline alata</i>	Huira huira	<i>Achyrocline alata</i> se distribuye en Sudamérica, en el Perú lo encontramos desde Amazonas hasta Tacna entre los 900 a 4500 m.s.n.m. (Beltrán, 2016)

Juncaceae	Juncus spp.	Totora	Se distribuye por la en todo el continente Americano (Zeballos, Ochoa, & López, 2010)
Poaceae	Stipa ichu	Ichu	Stipa ichu especie nativa que crece principalmente entre los 3000 y 4000 m.s.n.m. (Weberbauer, 1945). Se distribuye en diversos países de Latinoamérica. En el Perú se difunde por la Cordillera de los Andes (Tovar, 1993)
Fabáceas	Medicago lupulina	Alfalfa	Es una especie introducida para forraje (Zeballos, Ochoa, & López, 2010)
Gramíneas	Pennisetum clandestinum	Pasto	Es una especie nativa de África oriental, distribuido ampliamente en todo el mundo (CABI, 2022).
Asteraceae	Baccharis salicifolia	Chilco	Es una especie nativa Peruana, se extienden en todo el continente americano entre los 1000 a 4000 m.s.n.m. (Loja, Alvarado, Salazar, Ramos, & Jurado, 2017)
Cyperaceae	Schoenoplectus pung.	Junco	Es una especie nativa, y cosmopolita, se distribuye en diferentes partes del mundo, encontrándose en zonas húmedas (Aponte, 2009)
Poaceae	Paspalum bonplandianum	Sara sara	Se extiende entre Ecuador y Perú, entre los 3400-3500 m.s.n.m. (Hitchcock, 1927)
Cyperaceae	Carex pichinchensis	Kacho pasto	Se distribuye en la cordillera de los Andes, en Perú y Ecuador, entre los 3300 a 4100 m.s.n.m. (Tovar, 1993)
Rosaceae	Lachemilla orbiculata	Aullarin	Se distribuye en la Región Andina del Perú entre los 2000 a 3400 m.s.n.m. (Palacios, 2009)

Nota: Adaptado de Fernández (2022)

También se identificó las características de la capacidad de adsorción de las plantas hiperacumuladoras en suelos contaminados con metales pesados.

Tabla 7.

Capacidad de adsorción de las plantas hiperacumuladoras

Planta Hiperacumuladora	Concentración de	Tiempo	Porcentaje de remoción	Autor
<i>Bidens pilosa L.</i>	Raíz, tallo y hoja 0,2 g/kg de peso seco	No indica	B.pilosa no plantada (15,40%) B.pilosa plantada (21,17%)	Zhan g et al., 2021
- <i>Odontarrhena chalcidica,</i>	Conc. Inicial Ni: 0,86 g/kg	16 h de día/8 h de noche	A 500°C el Ni desaparece al 100%	Hazote et al., 2020
- <i>Leptoplax emarginata</i>				
- <i>Berkheya coddii</i>				
<i>Solanum Lycopersicum L.</i>	Concentración de plant. Hiperacumul.: 20 mg/L (dosis 3 mL/planta) de ojal Cu: 650 mg/kg	35 días	Se logran niveles de extracción de iones Cu por las plántulas de tomate completas de 14,93 mg/kg	Cartaya et al., 2017
<i>Stipa mucronata</i>	500 gramos cada una	No indica	Hg: 0.1 mg/kg Sn: 100% Se: 100%	Cahuana L. y Aduvire O., 2019
<i>Festuca dolichophylla</i>			Hg: Por debajo de lo permitido	
<i>Cortaderia sp.</i>				
<i>Oenothera affinis</i>	Concentración de Cu: 90-900 mg/kg	No indica	Acumulación de Cu: <i>Oenothera affinis</i> : 614 mg/kg (no fue considerada como hiperacumuladora.	González et al., 2008
<i>Argemone subfusiformis</i>				
<i>Oenothera affinis</i>				
<i>Erato polymnioides</i>	40 estacas	60 días	Porcentaje de adsorción del 80%	Morales A. y Moreira M., 2020
<i>Canavalia ensiformes L.</i>	Concentración Pb: 100 mmol/L	28 días	Se produjo una disminución del	Romeiro et

	200 mmol/L 400 mmol/L		crecimiento de C. al., ensiformes, que fue directamente proporcional al aumento de las concentraciones de Pb aplicadas.	2007
<i>Guarumo</i>	40 plántulas de guarumo en cada uno de los suelos de manera aleatoria	4 meses de crecimien to	Remoción entre 15.7% y 33.7% de Hg	Duran go et al., 2010
<i>Arundo donax L.</i>	Contenido total de As: 79,6 mg/kg	10 h de oscuridad	La biomasa total y el contenido de As en	Zeng et al., 2019
<i>Morus alba L.</i>	Cd: 41,2 mg/kg Pb: 519 mg/kg Zn: 2090 mg/kg Plántulas de <i>P.</i> <i>vittata L.</i> (unos 6-7 cm), <i>A. donax L.</i> (unos 6-7 cm), <i>M.</i> <i>alba L.</i> (unos 15-20 cm) y <i>B.</i> <i>papyrifera L.</i> (unos 15-20 cm).	con T° diurnas y nocturnas de 30 °C /20 °C y una humedad relativa del 60-80%.	las raíces de <i>P.</i> <i>vittata L.</i> bajo el sistema de co-plantación mejoraron en un 117.5% y 122.0% respectivamente, en comparación con el monocultivo. El contenido de As, Cd, Pb y Zn en los tejidos de <i>A. donax L.</i> , <i>M. alba L.</i> y <i>B.</i> <i>papyrifera L.</i> se incrementó ligeramente.	2019
<i>Broussonetia papyrifera L.</i>				
<i>Axonopus compressus</i>	Zona intensiva 4.8 mg Hg/kg de suelo Zona natural	No indica	<i>E. polymnioides</i> aumentó la acumulación de Hg	Cham ba et al., 2017
<i>Erato polymnioides</i>	0.19 mg Hg/kg del suelo		cuando creció con una mayor colonización de hongos micorrízicos	
<i>Miconia zamorensis</i>				
<i>Cortaderia hapalotricha</i>	As 280–1029 mg/kg Cu 256-2070 mg/kg Pb 3992-16,060 mg/kg	No indica	<i>C. hapalotricha</i> , <i>T.</i> <i>repens</i> y <i>E.</i> <i>denticulatum</i> son hiperacumuladores de Pb	Bech et al., 2016
<i>Ageratina sp.</i>	Zn 11,550-28,059 mg/kg		debido a su	

Epilobium denticulatum

capacidad de acumular más de 1500 mg Pb/kg en los brotes. *A. alata*, *Ageratina sp.* y *E. denticulatum* podrían ser las especies más prometedoras para fitoextracción de Zn, porque fueron capaces de acumular más de 12.000 mg/kg de Zn.

<i>Bidens triplinervia</i>	Pb: 13,105 mg Pb/Kg	No indica	Adsorción de <i>Bidens triplinervia</i> L.: 5180 mg Pb/kg y 9900 mg Zn/kg en un 80%	Bech et al., 2012
<i>Seneciosp</i>	Zn: 28,393 ± 3458 mg Zn/kg		<i>Senecio sp.</i> : acumuló más metales pesados en los brotes; 4250 mg Pb/kg y 3870 mg Zn/kg en un 90%	
<i>Polygonum aviculare</i>	Cd 11–47 mg/kg Ni 19–26 mg/kg Pb 232–695 mg/kg Mn 1132–2400 mg/kg Cu 134–186 mg/kg Zn 116–827 mg/kg	No indica	Acumulación de <i>Polygonum aviculare</i> para Zn del 9236 mg/kg	González C. y
<i>Jatropha dioica</i>			<i>Jatropha dioica</i> acumuló altas concentraciones de Zn, en un 6249 mg/kg en un porcentaje de 95%.	González M., 2006
<i>Pityrogramma calomelanos</i>	8350 µg As/g de masa seca	No indica	Porcentaje de extracción: 86–93% en las hojas de helecho	Francisconi et al., 2002
<i>Puccinellia frigida</i>	Porcentaje de arcilla en el suelo 7-19% Sodio en el suelo: 52-63% K: 800mg/Kg P: 40mg/kg	No indica	Los brotes de <i>Puccinellia frigida</i> presentan concentraciones de boro extremadamente altas en un 99.9%.	Rámila et al., 2015

<i>Sedum alfredii</i>	ZnSO ₄ : 4 50 μM CdCl ₂ : 10 μM	3 h, 24 h, 72 h y 8 d.	Las concentraciones de Zn o Cd tanto en las raíces como en los brotes bajo 50 μM ZnSO ₄ o 10 μM CdCl ₂ fueron aumentando a medida que pasaba el tiempo.	Yang et al., 2018
<i>Zea mays L.</i>	No indica	No indica	Porcentaje de acumulación en raíces (80 %) hojas (15 %) tallos (5%) como promedio de todos los tratamientos.	Muniv e et al., 2018

Nota: Adaptado de Tejada y Zevallos (2021)

Las 31 plantas hiperacumuladoras estudiadas, 8 son pertenecen a la familia Poaceae, 7 pertenecen a la familia Asteraceae y las restantes a Solanáceas, Papaveraceae, Fabáceas, Urticaceae, Moraceae, entre otros.

La familia Asteraceae es una especie herbácea perenne con un tallo subterráneo vertical acortado que produce hojas simples largas (10-40 cm) anchas (hasta 40 cm) y relativamente carnosas. Se ha demostrado que las poblaciones de Asteraceae acumulan más metales pesados como el Ni, y su mayor concentración se encuentra en la epidermis de las hojas (Boyd et al., 2008, p. 3). Esto es respaldado por Zhang et al., 2021; Morales A. y Moreira M., 2020; Chamba et al., 2017; Bech et al., 2016; y Bech et al., 2012. quienes estudiaron a *Bidens pilosa L.*, *Berkheya coddii*, *Erato polymnioides*, *Erato polymnioides*, *Ageratina sp.*, *Bidens triplinervia* y *Seneciosp.*

Así pues, las plantas más utilizadas de la familia Poaceae incluyen Cahuana L. y Aduvire O. en 2019, utilizando las plantas hiperacumuladoras *Stipa mucronata*, *Festuca dolichophylla* y *Cortaderia sp.*; Zeng et al., 2019 utilizando la planta *Arundo donax L.*; Chamba et al., 2017 utilizando la planta *Axonopus compressus*; Bech et al., 2016 utilizando la planta *Cortaderia hapalotricha*; Rámila et al., 2015 utilizando la planta *Puccinelli*, Munive et al., 2018 empleo en su investigación a *Zea mays L.*

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según la revisión de los artículos de investigación y la literatura revisada, las plantas con el mayor potencial de hiperacumulación son las que pertenecen a las familias *Poaceae* y *Asteraceae*. Pires et al. (2020, p.1) en su investigación utilizaron la planta *P. aquaticum* de la familia *Poaceae* para la adsorción de Pb en diferentes concentraciones, descubriendo que las raíces de *P. aquaticum* presentaron una mayor absorción de Pb en un 2 279 µg/g. Patra et al. (2020) también respalda esto recomendando que la familia de gramíneas *Poaceae* se utilice para restaurar tierras contaminadas de manera sostenible.

El 85% de las plantas hiperacumuladoras en suelos contaminados por metales pesados utilizaron Fito extracción y el 15% utilizaron digestión por vía seca.

Como investigadores que utilizaron la extracción de plantas naturales tenemos a: Cahuana L. y Aduvire O., 2019. En 2020, Durango et al.; Zheng et al. (2019); Chamba et al. (2017); Francesconi et al., (2018), Yang y col. (2018) y Munive y col. (2018). En menor medida, Zhang et al., 2021, Hazotte et al., 2020, Cartaya et al., 2017.

Los estudios de Baker y Brooks (2018), Rascio y Navari-Izzo, y Reeves (2018), en conjunto han proporcionado una comprensión integral de las plantas hiperacumuladoras y su potencial para la fitoextracción de metales pesados. La investigación de Baker y Brooks estableció las bases para identificar estas plantas y comprender sus mecanismos de tolerancia. Rascio y Navari-Izzo profundizaron en la fisiología y la bioquímica detrás de la acumulación de metales pesados, lo que es esencial para diseñar estrategias de fitoextracción efectivas. Reeves y Baker llevaron este conocimiento a la práctica, explorando cómo las plantas hiperacumuladoras podrían utilizarse en la remediación ambiental. Estos estudios demuestran que la fitoextracción a través de plantas hiperacumuladoras es una técnica prometedora para remediar suelos contaminados con metales pesados. Sin embargo, también resalta la importancia de considerar factores como las especies de plantas adecuadas, las condiciones del suelo y la implementación práctica para lograr resultados

exitosos en la fitoextracción.

Los estudios realizados por Ma et al. (2018), Shahid et al. (2019) y Lv et al. (2020) destacan la capacidad de las plantas hiperacumuladoras para acumular metales pesados como cadmio, zinc y arsénico en sus tejidos. Estos hallazgos subrayan el potencial de estas plantas para ser utilizadas en la fitoextracción de metales pesados en suelos contaminados, lo que puede ayudar a reducir la concentración de contaminantes y mejorar la calidad del suelo. Estos estudios resaltan la importancia de comprender las interacciones entre las plantas, los metales y los microorganismos en el suelo para optimizar los procesos de fitoextracción y mejorar la eficacia de la remediación.

Zeng et al. (2019) demostraron que la co-plantación mejoró los resultados; de igual manera Zeng et al. (2019) y Munive et al. (2018) utilizaron agentes como enmiendas orgánicas para obtener un mayor porcentaje de adsorción por plantas hiperacumuladoras, como el compost o vermicompost para ayudar a la adsorción de metales en las plantas.

Los estudios de Pilon-Smits, (2018), Rafiq et al. (2019) y Sarwar et al. (2020), resaltan la capacidad de ciertas plantas hiperacumuladoras para la fitoextracción de cadmio en suelos contaminados. Estos autores han demostrado que las plantas hiperacumuladoras pueden acumular cadmio en concentraciones significativas en sus tejidos, lo que puede contribuir a reducir la concentración de cadmio en el suelo y mejorar su calidad. Sin embargo, también subrayan la importancia de considerar las diferencias entre especies vegetales y las condiciones del suelo al diseñar estrategias de fitoextracción de cadmio.

Según el tercer objetivo de determinar las características de las plantas usadas, las plantas hiperacumuladoras deben tener la capacidad de adsorción en suelos contaminados con metales pesados. Se encontró que los porcentajes promedio de adsorción oscilaron entre el 75 % y el 95 %, y se encontraron en una subcategoría alta (Hazotte et al., 2020, Cahuana L. y Aduvire O., 2019, Morales A. y Moreira M., 2019), así como Zeng et al., 2019, Yang et al., 2018 y Munive et al., 2018.

Según Hazotte et al. (2020), el metal pudo desaparecer completamente del suelo minero con una concentración inicial de Ni de 0,86 g/kg;

esto se apoya en Bech et al. (2012), que afirman que cuando se presentó contaminación del metal en el suelo con Pb de 13,105 mg Pb/kg o Zn de 28,393 mg Zn/kg, se obtuvieron porcentajes altos de adsorción del 80% y 90%.

Se puede afirmar que *Zea mays L.* como hiperacumulador pudo obtener porcentajes altos de adsorción en un 80% en las raíces, independientemente del tiempo. Zeng et al. (2019) demuestran que la biomasa total y el contenido de As en las raíces de *P. vittataL* aumentaron en un 117.5% y 122.0% bajo el sistema de coplantación, respaldando esta afirmación.

VI. CONCLUSIONES

- La eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados está condicionado a la especie vegetal utilizada, siendo las especies nativas con mayor capacidad de fitorremediación y acumulación de metales pesados para la remediación de suelos contaminados.
- La fitoextracción y la fitoestabilización, que eliminan metales pesados como el cobre y el plomo, fueron los tratamientos botánicos más comunes utilizados para la extracción de metales pesados. Esto se debe a la amplia gama de técnicas que permiten la creación de mecanismos más eficientes y, por lo tanto, la extracción de mayores cantidades de metales más pesados.
- Especies como *Brassica juncea*, *Acacia farnesiana*, *Amarantus hybridus*, *Brassica rapa*, *Acacia saligna*, *Acacia parviflora*, *Brachiaria spp* y *Brassica napus L.*, remueven entre un 50% y un 60 %, de metales pesados.
- Se descubrió que el 85% de las técnicas de fitoextracción y el 15% de la técnica de digestión por vía seca se utilizan para aplicar plantas hiperacumuladoras en suelos contaminados. La fitorremediación se considera una tecnología emergente que puede utilizarse el mismo que implica un bajo costo.
- Se concluye que las características de distribución de las especies se encuentran en Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y en la zona andina por encima de los 2500 m.s.n.m.
- De esto las especies nativas cuentan con capacidad hiperacumuladora, como lo son la *Schinus molle*, *Acacia macracantha*, *Juncus bufonius*, *Baccharis salicifolia*, *Schoenoplectus pung.*, *Juncus arcticus* y la *Paspalum bonplandianum*, estas especies mostraron concentraciones mayores a 10 mg/kg, en función al tipo de metal.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda seguir identificando especies nativas de nuestro país, que cuenten con la capacidad de remediación de suelos contaminados, para así evitar el uso de especies introducidas.
- Profundizar los estudios identificando las condiciones específicas en las cuales estas técnicas han mostrado mejores resultados, como la presencia de ciertos tipos de suelos, pH, contenido de materia orgánica, textura, capacidad de retención de metales, así como las condiciones ambientales (temperatura, humedad, luz solar).
- Usar la fitorremediación para la extracción de metales pesados en suelos contaminados por minería artesanal, ya que su aplicación es de bajo costo, permitiendo mejorar la calidad de los suelos.
- Crear una base de datos, para una adecuada transferencia de información a usuarios e investigadores de la academia, lo que permitirá identificar las especies más prometedoras y potencialmente útiles en futuros proyectos de fitorremediación.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMEZCUA, Alma., HERNÁNDEZ-ACOSTA, Elizabeth. y DÍAZ, Procoro. Fitorremediación de residuos de minas contaminados con metales pesados. *Revista Iberoamericana de Ciencias* [en línea]. 2020, 7(1):80-91, [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. Disponible en ISSN 2334-2501.
- ANGELOVAA, Violina. [et al.] Potencial de Rapeseed (*Brassica napus* L.) para fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Revista de Protección Ambiental y Ecología* [en línea]. 2017, 18(2): 468–478, [fecha de Consulta 7 de enero de 2021]. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication/319507512>
- BASTANI, M. y Harter, T. (2019). Prácticas de gestión del área de origen como herramienta de remediación para abordar la contaminación por nitratos de las aguas subterráneas en los pozos de suministro de agua potable. *Diario de hidrología contaminante* , 226 , 103521.
- BRAVO, C. C. C., Zurita, M. P. F., & Segovia, G. W. C. (2017). La gestión financiera aplicada a las organizaciones. *Dominio de las Ciencias*, 3(4), 220-231.
- CALDERÓN MANZANILLAS, Junior. Evaluación del factor de bioconcentración por metales pesados en la *Eichhornia crassipes* presentes en la laguna valle hermoso. Tesis (Grado de ingeniero en biotecnología ambiental). Ecuador: Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, 2017. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7908/1/236T0307.pdf>
- CARRILLO, Rogelio.; PEREA-VÉLEZ, Yazmín. y GONZÁLEZ, María del Carmen. Fitorremediación asistida con enmiendas y fitoestabilización de elementos potencialmente tóxicos. *Revista Agroproductividad*, [en línea]. Abril. 2017, 10 (4): 15-20. [fecha de Consulta 5 de febrero de 2021].

- CARTAGENA DAVID, Mónica. Biorremediación en aguas residuales contaminadas con cianuro y mercurio generadas en el proceso de la minería aurífera en Colombia, a partir de una revisión bibliográfica entre los años 2008-2018. Tesis (Grado de Administradora en Salud con Énfasis en Gestión Sanitaria y Ambiental). Colombia: Universidad de Antioquia, 2019.
- CEPEDA, Ingrid Katherine; ECHAVARRIA, Monika Cristina. Determinación de la capacidad bioremediadora de las especies *Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers Y *Verbesina crassiramea* SF Blake sobre suelos contaminados con arsénico. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018.
- CISTERNA, FRANCISCO. Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. *Theoria*, 2005, vol. 14, p. 61-71.
- COHEN, AJ, BRAUER, M. y Burnett, R. (2018). Estimaciones y tendencias de 25 años de la carga mundial de morbilidad atribuible a la contaminación del aire ambiental: un análisis de los datos del Estudio de la carga mundial de morbilidad de 2015 (vol. 389, pág. 1907, 2017). *Lanceta*, 391 (10130), 1576-1576.
- CORONA LISBOA, J. L., & Maldonado Julio, J. F. (2018). Investigación Cualitativa: Enfoque Emic-Etic. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 37(4), 1-4.
- CORPUS, M. Y. Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo., 2018.
- CHANG, José; GONZALES, María J; PONCE, Olga; RAMÍREZ, Lorena; LOAYZA-MURO, Raúl. Accumulation of heavy metals in native Andean plants: potential tools for soil phytoremediation in Ancash (Peru). *Environ Sci Pollut Res*. 2018. vol. 25, no. 34,
- CHEN, Rui, et al. Predictive model for cadmium uptake by maize and rice

grains on the basis of bioconcentration factor and the diffusive gradients in thin-films technique. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 289, p. 117841.

CHUPTAYA, Glenny Marilyn; MOLINA, Julio Cesar. Potencial de fitorremediación de *Schinus molle* y *Acacia macracantha*, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021. Universidad Peruana Unión. 2022.

DÁVILA, Nancy Karina; WALTER, Lorena Chabeli. Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros El Sinchao, Distrito de Chugur, Provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017. Universidad Privada del Norte. 2018.

DE JESÚS PÉREZ-VAN-LEENDEN, M. (2019). La investigación acción en la practica docente. Un análisis bibliométrico (2003-2017). *MAGÍS. Revista Internacional de Investigación en Educación*, 12 (24), 177-192.

FOW, Anthony Jeanpier. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Callao. Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con Biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash 2021

GALÁN, Emilio. y ROMERO, Antonio. Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía. Macla* [en línea].2008, 10:48-60. [fecha de Consulta 16 de febrero de 2021]. http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf.

GALEANO TELLEZ, Karol Melisa; ALBORNOZ RAMÍREZ, Daniel Felipe. Eficiencia de los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS) en la remoción de contaminantes microbiológicos de aguas residuales domésticas: una revisión, 2019

GARBISU, Carlos.; EPELDE, Lur. y BECERRIL, José. Fitorremediación. *Revista EIEcologista*, [en línea]. 2008, 57. [fecha de Consulta 16 de

febrero de 2021].
<https://www.ecologistasenaccion.org/17857/fitorremediacion>.

GUZMÁN MARTÍNEZ, F. (2022). *Evaluación de la peligrosidad de los elementos potencialmente tóxicos presentes en residuos mineros abandonados* (Doctoral dissertation, ETSI_Energia).

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4, pp. 310-386). México: McGraw-Hill Interamericana.

JARA-PEÑA, ENOC, Gómez, José, Montoya, Haydeé, Chanco, Magda, Mariano, Mauro, & Cano, Noema. (2018). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145-154. <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>

JARAMILLO, GINA MARCELLY; Trujillo, Diana Marcela. Uso de especies vegetales bioacumuladoras como alternativa sustentable en procesos de fitorremediación. Universidad Tecnológica de Pereira. 2021.

JEEVANANTHAM, S., Saravanan, A., Hemavathy, RV, Kumar, PS, Yaashikaa, PR y Yuvaraj, D. (2019). Eliminación de contaminantes tóxicos del medio ambiente acuático mediante fitorremediación: una encuesta sobre la aplicación y las perspectivas futuras. *Tecnología e innovación ambiental*, 13, 264-276.

KUMAR, V., Singh, J., Saini, A., & Kumar, P. (2019). Phytoremediation of copper, iron and mercury from aqueous solution by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.). *Environmental Sustainability*, 2, 55-65.

LABRA, S. (2018) Fito extracción con *Heliabthus annuus* L. (Girasol) para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio 2018. Recuperado de: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/24613>

LEON MENACHO, Vladimir Alfonso. Capacidad Fitorremediadora De Especies Altoandinas Para Suelos Contaminados Por Metales Pesados Procedentes De La Compañía Minera Lincuna SAC, En Condiciones De

Invernadero, 2015 - 2016. 2017.

- LU, NAN, et al. Potencial de fitorremediación de cuatro plantas nativas en suelos contaminados con plomo en una zona minera. *Tierra*, 2021, vol. 10, nº 11, pág. 1129.
- LV, T., Liu, Y., Yang, Y., Cao, X., Li, H., Hu, X., ... & Wu, F. (2020). Enhanced arsenic phytoremediation by arsenic-tolerant rhizosphere bacteria through plant-microbe interplay. *Environmental Pollution*, 266, 115286.
- MA, Y., Oliveira, R. S., Freitas, H., & Zhang, C. (2018). Biochemical and molecular mechanisms of plant-microbe-metal interactions: Relevance for phytoremediation. *Frontiers in Plant Science*, 9, 919.
- MARTINEZ-MANCHEGO, Luis; SARMIENTO-SARMIENTO, Guido; BOCARDO-DELGADO, Edwin. Native plant species with potential for phytoremediation of high-andean soils contaminated by residues from mining activity. *BIOAGRO*, 2021, vol. 33, no 3, p. 161-170.
- MARTINEZ MANCHEGO, Luis Antonio. Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal - Arequipa y propuesta de fitorremediación. 2018.
- MEAGHER, RB, Rugh, CL, Kandasamy, MK, Gragson, G. y Wang, NJ (2020). Fitorremediación diseñada de la contaminación por mercurio en el suelo y el agua utilizando genes bacterianos. En *Fitorremediación de suelos y aguas contaminadas* (pp. 201-219). Prensa CRC.
- MOGOLLÓN RIVERA, Carlos Eduardo; Parrilla Vines, Yajaira; Sotero Yglesias, Paola; Valderrama Barreto, Diana. Remoción de metales pesados con *Urtica Urens* L. en suelos contaminados del Distrito de Huamachuco, Provincia Sánchez Carrión, La Libertad. Tesis (Grado académico de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, escuela profesional de Ingeniería Ambiental (2018). Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/32883>
- MUNIVE, Rubén., [et al.]. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales

- pesados. *Scientia Agropecuaria*, [en línea]. 2018, 9(4): 551-560. DOI: 10.17268/sci.agropecu.2018.04.11.
- NOREÑA PEÑA, Ana [et al.]. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Revista Aquichan*, [en línea]. 2012,12(3). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4322420> ISSN 1657-5997. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021].
- PIETRINI, Ilaria, et al. Fitoextracción mejorada de plomo por endófitos de plantas autóctonas. *Sistemas de suelos*, 2021, vol. 5, nº 3, pág. 55.
- RAMÍREZ, Ricardo., [et al.]. Potencial fitorremediador de la chicura (*Ambrosia ambrosioides*) en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, [en línea]. Noviembre, 2019, 10 (7): 1529-1540. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021]. Disponible en <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/v10n7-006>
- REÁTEGUI DE LA CRUZ, Kasandra. Efecto de la dosificación de *Pleurotus ostreatus* en la absorción de metales pesados en suelos contaminados, Shahuindo Cajamarca. Tesis (Grado académico de Ingeniería Ambiental). Perú: Universidad César Vallejo, Facultad de Ingeniería, escuela profesional de Ingeniería Ambiental. 2018. 59 pp. Disponible en : <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49837>
- ROMERO, Maggy Belén; BRAVO, Sebastian Cossi. Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2021.
- SABRE, S., Benlhoubi, N., Lebkiri, A., Rifi, EH y Elfahime, E. (2022). Bioacumulación de oligoelementos en cultivos agrícolas y suelos regados por las aguas superficiales de los ríos Sebou y Beht. *Diario del Golfo Árabe de Investigación Científica*, 40 (2).
- SALEH, Jahanshah, [et al.]. Tomato phytoremediation potential for the removal ofCd and Cr from contaminated soils. *World Acad Sci Eng Tech*

- Int J Biol Biomol Agric Food Biotechnol Eng, [en línea]. 2017, 11: 268–271. Disponible en <https://publications.waset.org/10006619/phytoremediation-potential-of-tomato-for-cd-and-cr-removal-from-polluted-soils>
- SALT, D. E., Kato, N., Krämer, U., Smith, R. D., & Raskin, I. (2020). The role of root exudates in nickel hyperaccumulation and tolerance in accumulator and nonaccumulator species of *Thlaspi*. In *Phytoremediation of contaminated soil and water* (pp. 189-200). CRC Press.
- SANTOYO MARTINEZ, Miguel. Estudio ecotoxicológico sobre la bioacumulación de metales pesados en dos especies vegetales asociada a los jales de huautla, morelos. Tesis (Grado académico de Doctor en Ciencias Naturales). Perú: Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Facultad de Ciencias Biológicas. 2020. Disponible en : <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/1270>
- SATARUG, S., C. Gobe, G., A. Vesey, D., & Phelps, K. R. (2020). Cadmium and lead exposure, nephrotoxicity, and mortality. *Toxics*, 8(4), 86.
- SOKOLSKI, Serge et al. Phytoremediation of Heavy Metals in Tropical Soils an Overview [En Línea] Sustainability 2021, [Fecha de consulta: 12 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.3390/su13052574>. ISSN: 1305 – 2574.
- SHARMA, Sunita et al. Phytoremediation: role of terrestrial plants and aquatic macrophytes in the remediation of radionuclides and heavy metal contaminated soil and water [En Línea] Environmental Science and Pollution Research volume 22, 2018. [Fecha de consulta: 13 de enero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-014-3635-8>. ISSN: 946–962.
- SHAHID, M., Shamshad, S., Rafiq, M., Khalid, S., Bibi, I., Niazi, N. K., & Dumat, C. (2019). Chromium speciation, bioavailability, uptake, toxicity and detoxification in soil-plant system: A review. *Chemosphere*, 208, 112-126.
- TORRES, ADELIA MERCEDES. Factor de bioconcentración y traslocación de

especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de MESAPATA, en condiciones de invernadero, 2015 - 2016. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 2018

- TORRES-GONZALES, Y., Rojas-Carrizales, A. G., Salas-Contreras, W. H., & Hinojosa-Benavides, R. A. (2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados . *Scientific Research Journal CIDI*, 1(1), 25–36. <https://doi.org/10.53942/srjcidiv1i1.43>
- VON THADEN, J. J., Laborde, J., Guevara, S., & Mokondoko-Delgadillo, P. (2020). Dinámica de los cambios en el uso del suelo y cobertura vegetal en la Reserva de la Biosfera Los Tuxtlas (2006-2016). *Revista mexicana de biodiversidad*, 91.
- WITTENBERG, L., van der Wal, H., Keesstra, S. y Tessler, N. (2020). Efectos del tratamiento de gestión posterior al incendio en las propiedades del suelo y restauración de áreas quemadas en una interfaz urbano-forestal, estudio de caso de Haifa Fire. *Ciencia del Medio Ambiente Total* , 716 , 135190.
- WU, Bohan; PENG, He; SHENG, Mingping; LUO, Huanyan; WANG, Xitong; ZHANG, Rong; XU, Fei; XU, Heng. Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2021. vol. 220.
- YAN, AN. [et al.]. Fitorremediación: Un enfoque prometedor para la revegetación de tierras contaminadas con metales pesados. *Revista Frontiers in Plant Science*, [en línea]. 2020, 11:359. [fecha de Consulta 8 de febrero de 2021].DOI: 10.3389/fpls.2020.00359

VII. ANEXOS

ANEXO 1: Ficha de análisis de contenido

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título: Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con Biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash					
Palabras clave: Técnicas de fitorremediación					
Bibliografía: Anthony Jeanpier. Ancash. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Callao, 2021					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2021	Universidad Nacional del				TESIS
Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12952/5812					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías: Experimental.					
Método					
Cualitativa					
Objetivos: Evaluar la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca.					
Conclusiones: La capacidad fitorremediadora de las especies vegetales altoandinas se ve modificada tras ser expuestas a un suelo con mayor concentración de metales y/o diferentes dosificaciones de biochar					
FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título: Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021.					
Palabras clave: Técnicas de fitorremediación					
Bibliografía: CHUPTAYA, Glenny Marilyn; MOLINA, Julio Cesar. Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021. Universidad Peruana					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2021	Canta-Lima 2021. Universidad				LIBRO
Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12840/5355					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías: Experimental.					
Método					
Cualitativa					
Objetivos: Evidenciar la capacidad fitorremediadora de Lupinus mutabilis Sweet "chocho o tarwi" en suelos contaminados con cadmio, mediante el análisis de distribución del contaminante en los diferentes órganos de la					
Conclusiones: Las muestras de suelo analizadas para ambas especies presentaron un alto contenido de metales pesados, superando la normativa ambiental peruana e internacional en el caso del As, Cd, Cu, Pb y Zn.					

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título: Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con Biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillcayhuanca, Ancash					
Palabras clave: Técnicas de fitorremediación					
Bibliografía: Anthony Jeanpier. Ancash. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Callao. 2021					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2021	Universidad Nacional del				TESIS
Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12952/5812					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías: Experimental.					
Método					
Cualitativa					
Objetivos: Evaluar la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca.					
Conclusiones: La capacidad fitorremediadora de las especies vegetales altoandinas se ve modificada tras ser expuestas a un suelo con mayor concentración de metales y/o diferentes dosificaciones de biochar					

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título: Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021.					
Palabras clave: Técnicas de fitorremediación					
Bibliografía: CHUPTAYA, Glenny Marilyn; MOLINA, Julio Cesar. Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021. Universidad Peruana					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2021	Canta-Lima 2021. Universidad				LIBRO
Recuperado de: http://hdl.handle.net/20.500.12840/5355					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías: Experimental.					
Método					
Cualitativa					
Objetivos: Evidenciar la capacidad fitorremediadora de Lupinus mutabilis Sweet "chocho o tarwi" en suelos contaminados con cadmio, mediante el análisis de distribución del contaminante en los diferentes órganos de la					
Conclusiones: Las muestras de suelo analizadas para ambas especies presentaron un alto contenido de metales pesados, superando la normativa ambiental peruana e internacional en el caso del As, Cd, Cu, Pb y Zn;					

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título: Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros El Sinchao, Distrito de Chuqur, Provincia de Hualqavoc, Cajamarca – Perú 2017.					
Palabras clave:					
Bibliografía: DÁVILA, Nancy Karina; WALTER, Lorena Chabeli. Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros El Sinchao, Distrito de					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2017	Universidad Privada del Norte.				TESIS
Recuperado de: https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/13482					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías: Descriptiva					
Método					
Cualitativas					
Objetivos: Determinar la capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros El Sinchao, distrito de Chuqur, provincia de Hualqavoc.					
Conclusiones: Se indentificó 63 especies de flora herbácea en la zona de estudio El Sinchao, con un total de 1673 individuos en las 15 parcelas establecidas.					

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título: Evaluación de la biorremediación y fitorremediación para la absorción de PB en suelos contaminados por relave minero.					
Palabras clave:					
Bibliografía: HUERTA, Katya Vannesa. Evaluación de la biorremediación y fitorremediación para la absorción de PB en suelos contaminados por relave minero. Universidad Científica del Sur. 2019.					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2019	Universidad Científica del Sur.				TESIS
Recuperado de: https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/1015					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías: Descriptivo					
Método					
Cualitativa					
Objetivos: Mostrar diversas opciones en la aplicación de las técnicas de fitorremediación y biorremediación utilizando gran variedad de especies de plantas y hongos nativos del Perú, y especies internacionales, con el fin					
Conclusiones: Existe un incremento en la eficiencia de remediación si se combina con otras técnicas como la biorremediación, que utiliza microorganismos					

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título:Factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de MESAPATA, en condiciones de invernadero. 2015					
Palabras clave:					
Bibliografía:Torres, Adelia Mercedes. Factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de MESAPATA, en					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2018	Universidad Nacional Santiago				TESIS
Recuperado de: http://www.repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2110					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías:Experimental.					
Método					
cualitativo					
Objetivos:Determinar el factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la Planta Concentradora de Mesapata, en condiciones de					
Conclusiones:Se determinó la concentración promedio de metales pesados en suelo, raíz y parte aérea de las especies vegetales altoandinas expuestas a tratamiento con suelo proveniente de la concentradora polimetálica					

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO					
Título:Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa					
Palabras clave:					
Bibliografía:Cisterna, Francisco. Categorización y triangulación como procesos de validación del conocimiento en investigación cualitativa. Theoria. 2005. vol. 14. p. 61-71.					
Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2005	Universidad Nacional Santiago				TESIS
Recuperado de: https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=80bbfa4e-5df2-482e-bf0b-efce69bdabb3%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=22865357&db					
Parámetros de elaboración					
Tiempo de adsorción		pH		T°	
Metodologías:Descriptiva					
Método					
Cualitativa					
Objetivos:Proponer					
criterios para la elaboración de tipologías que permitan recopilar organizadamente la información de campo					
Conclusiones:Se determinó la concentración promedio de metales pesados en suelo, raíz y parte aérea de las especies vegetales altoandinas expuestas a tratamiento con suelo proveniente de la concentradora polimetálica					

FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO

Título:Modelo predictivo para la absorción de cadmio por granos de maíz y arroz sobre la base del factor de bioconcentración y los gradientes de difusión en la técnica de películas delgadas.

Palabras clave:

Bibliografía:CHEN, Rui, et al. Predictive model for cadmium uptake by maize and rice grains on the basis of bioconcentration factor and the diffusive gradients in thin-films technique. Environmental Pollution, 2021, vol.

Año de publicación	Lugar de publicación	Doi	Página	ISBN	Tipo de documento
2021					

Recuperado de:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117841>

Parámetros de elaboración

Tiempo de adsorción	pH	T°
---------------------	----	----

Metodologías:Experimental.

Método		
Cualitativas		

Objetivos:En este estudio, los datos del cadmio biodisponible

(Cd) en suelos determinados por la absorción de contenido de DGT y Cd en granos de arroz y maíz

Conclusiones: . El patrón general de enriquecimiento de la concentración de metales pesados en varias partes del arroz y el maíz fue: raíces > tallos u hojas > granos, lo que puede estar fuertemente

ANEXO 2: Matriz de Categorización apriorística

MATRIZ DE CATEGORIZACION APRIORISTICA “Eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados, basado en artículos científicos en el periodo 2017 - 2022”

Problema General	Problemas Específicos	Objetivo General	Objetivos Específicos	Categoría (Variables)	Subcategoría (Dimensiones)	Aspectos (Indicadores)	Item	Unidad de análisis	Metodología
¿Cómo será la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados basado en artículos científicos en el periodo 2017 - 2022?	¿En qué medida la efectividad de las técnicas de fitorremediación contribuye a la eficiencia de la remoción de metales pesados?	Evaluar la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados basado en artículos científicos en el periodo 2017 – 2022	Determinar la efectividad de diferentes técnicas de fitorremediación en la remediación de suelos contaminados con metales pesados basado en artículos científicos en el periodo de 2017 - 2022	Técnicas de fitorremediación utilizadas	Fitoimmobilización, Fitoextracción, Fitoestabilización y Fitolatilización	Excluyentes, Indicadoras y Acumuladoras	Identificar especies, indicadoras, excluyentes y acumuladoras	Análisis documental de artículos científicos.	Enfoque cualitativo. Diseño no experimental de Tipo básica, Transversal y retrospectivo
	¿Qué factores influyen en la eficiencia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados?		Analizar los factores que influyen en la eficacia de las técnicas de fitorremediación en metales pesados, basado en artículos científicos en el periodo de 2017 - 2022	Concentración de metales pesados	Tipos de metales pesados, Áreas geográficas y Métodos de medición	Factor de Translocación (FT) Factor de Bioconcentración (FBC)	Identificar los factores de traslocación y de bioconcentración en especies vegetales	Análisis documental de artículos científicos.	Población: artículos científicos publicados desde el 2017 al 2022 Muestreo no probabilístico por conveniencia
	¿Cuáles son las especies más efectivas para la fitorremediación de metales pesados?		Identificar las especies de plantas más efectivas para la fitorremediación de metales pesados en suelos y aguas contaminadas, basado en artículos científicos en el periodo de 2017 - 2022	Selección de especies de plantas	Selección de especies para mitigación de impactos ambientales y Selección de especies bioacumuladoras	De acuerdo a su potencial De acuerdo a su fácil disponibilidad	Identificar el potencial y disponibilidad de especies vegetales	Análisis documental de artículos científicos.	Técnica: Análisis documental Instrumento: Ficha de análisis documental

ANEXO 3: Matriz de Datos

N°	Autor (año), edicion, editorial,	Titulo	Objetivo	Metodologia	Conclusiones	Aportes/Resumen	Link
1	FDW, Anthony Jeanpier. Ancash. Tesis de pregrado. Universidad Nacional del Callao. 2021	Evaluación de la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con Biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca en la microcuenca Quillocayhuanca, Ancash	Evaluar la capacidad fitorremediadora de tres especies vegetales altoandinas asistidas con biochar en suelos contaminados por drenaje ácido de roca.	Experimental.	La capacidad fitorremediadora de las especies vegetales altoandinas se ve modificada tras ser expuestas a un suelo con mayor concentración de metales y/o diferentes dosificaciones de biochar	Se realizó la detección de un proceso avanzado de Drenaje Ácido de Roca (DAR) con altas concentración es de metales como Al, Cu, Fe, Mn, y Zn, luego se identificó cinco especies predominantes en la zona y se escogió tres de ellas por su alta capacidad fitorremediadora, las cuales son Calamagrostis spp., Paranehelius ovatus y Werneria	http://hdl.handle.net/20.500.12952/15812
2	MAGUIÑA, Luisa Fernanda. Determinación de la capacidad fitorremediadora de Lupinus mutabilis Sweet "chocho o tarwi" en suelos contaminados con cadmio (Cd). Universidad Ricardo Palma. 2017.	Determinación de la capacidad fitorremediadora de Lupinus mutabilis Sweet "chocho o tarwi" en suelos contaminados con cadmio (Cd).	Evidenciar la capacidad fitorremediadora de Lupinus mutabilis Sweet "chocho o tarwi" en suelos contaminados con cadmio, mediante el análisis de distribución del contaminante en los diferentes órganos de la planta.	Experimental.	Se determinó una reducida capacidad fitorremediadora de Lupinus mutabilis Sweet mediante la acumulación de cadmio en los órganos de la planta, durante los 65 días de exposición, la cual fue evidenciada en todos los tratamientos, con un rango entre 44.75 y 11 mg/kg de cadmio.	Se realizó ensayos en un invernadero bajo condiciones controladas, las plantas fueron sometidas a cuatro tratamientos con diferentes dosis, luego se evaluó los efectos del cadmio, evaluando los daños, los índices de tolerancia, la concentración de cadmio, la tasa de supervivencia.	http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1708
3	CHUPTAYA, Glennly Marilyn; MOLINA, Julio Cesar. Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021. Universidad Peruana Unión. 2022.	Potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha, en suelos contaminados con metales pesados en Canta-Lima 2021.	Evaluar el potencial de fitorremediación de Schinus molle y Acacia macracantha en suelos contaminados con metales pesados en Canta - Lima.	Experimental.	Las muestras de suelo analizadas para ambas especies presentaron un alto contenido de metales pesados, superando la normativa ambiental peruana e internacional en el caso del As, Cd, Cu, Pb y Zn; mientras que Ba, Cr, Ni, Se, Tl y Hg cumplan con las normativas.	Se obtuvieron 8 muestras de suelo y 18 sub muestras vegetales (raíz, tallo y hojas) extraídas de 6 muestras de plantas, que fueron analizadas por el laboratorio. El potencial de fitorremediación de las plantas se halló calculando el factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación (FT).	http://hdl.handle.net/20.500.12840/5355
4	ROMERO, Maggy Belén; BRAVO, Sebastian Cossi. Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2021.	Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros.	Comparar y analizar el potencial de Fitorremediación de especies vegetales, a escala de laboratorio, para la remoción de metales pesados en pasivos ambientales mineros (PAM) provenientes de la zona norte del país.	Experimental.	Se evidencia que las especies Ichu y Cortadera presentan diferente capacidad de remoción de los metales estudiados. Para el experimento sin topsoil, el Ichu es más eficiente para recuperar Fe (363.96), Cu (39.99), Cd (11.90) y Pb(3.54). La especie Cortadera resultó ser más eficiente para recuperar Zn (116.84), Cd (11.39) y Cr (137.21).	Se recolectan muestras de estas especies y de suelos de zonas específicas de la provincia de Hualgayoc, Cajamarca. A partir de eso, se construyen celdas a escala de laboratorio, en donde se siembran las plantas sobre las muestras de suelo. Una vez terminado el ciclo de 8 meses, se procede a retirar las especies y determinar las concentraciones finales de los metales pesados en la raíz y en las partes aéreas de la planta. En base a la información recopilada y al análisis realizado se concluye que las plantas presentan diferentes capacidades de acumulación de metales.	http://hdl.handle.net/20.500.12404/19519
	JARA, Enoc Efer. Evaluación de Lupinus	Evaluación de Lupinus	Conocer la calidad de las semillas de Lupinus		En las tres especies estudiadas los	Se estudió la viabilidad de las semillas y evaluar el desarrollo en suelos contaminados con cadmio,	

Matriz Categ. Apriorística

Instrumento

Procedimiento

Base de Datos

FT

FBA

FBR

Matriz de Triangulación 1

Matriz de Triangulaci...

A	B	C	D	E	F	G	H	I
7	5	JARA, Enoc Efer. Evaluación de <i>Lupinus condensiflorus</i> C.P.Sm., <i>L. ballianus</i> C.P. Sm. y <i>Astragalus garbancillo</i> Cav. (Fabaceae) en la restauración de suelos que contienen plomo, cadmio y zinc. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2018.	Evaluación de <i>Lupinus condensiflorus</i> C.P.Sm., <i>L. ballianus</i> C.P. Sm. y <i>Astragalus garbancillo</i> Cav. (Fabaceae) en la restauración de suelos que contienen plomo, cadmio y zinc.	Conocer la calidad de las semillas de <i>Lupinus ballianus</i> , <i>L. condensiflorus</i> y <i>Astragalus garbancillo</i> , y evaluar el desarrollo de estas tres especies promisorias en la fitorrestauración de suelos contaminados con cadmio, plomo y zinc en condiciones controladas.	Experimental.	En las tres especies estudiadas los valores del factor de bioconcentración y de transferencia para plomo y zinc fueron menores a uno, pero el factor de bioconcentración de cadmio fue mayor a uno.	Se estudió la viabilidad de las semillas y evaluar el desarrollo en suelos contaminados con cadmio, plomo y zinc y el uso potencial de especies en la fitorremediación de suelos contaminados. Se realizaron evaluaciones en el crecimiento, en las repeticiones por cada tratamiento, se midió la acumulación de los metales pesados en los tejidos de las plantas mediante el método de absorción atómica.	https://hdl.handle.net/20.500.12672/3406
8	6	Corpus, M. Y. Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo., 2018.	Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016.	Evaluar la eficiencia fitorremediadora de <i>Calamagrostis recta</i> (Kunth) Trin. Ex Steud., <i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine) Stapf y <i>Festuca glyceriantha</i> Pilg. para suelos contaminados con metales pesados en condiciones de invernadero, 2015-2016.	Experimental.	Las especies altoandinas evaluadas bajo condiciones de invernadero, <i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine) Stapf, <i>Calamagrostis recta</i> (Kunth) Trin. Ex Steud. y <i>Festuca glyceriantha</i> Pilg., mostraron una alta eficiencia fitorremediadora para el mecanismo de fitoestabilización, por su alta tasa de propagación por semillas y alta biomasa en la raíz y parte aérea, así como su capacidad de acumular más metales pesados en la raíz que la parte aérea.	Se evaluó tres especies altoandinas con alto potencial para ser utilizadas como fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados. <i>Calamagrostis recta</i> (Kunth) Trin. Ex Steud., <i>Cortaderia jubata</i> (Lemoine) Stapf y <i>Festuca glyceriantha</i> Pilg. la investigación se desarrolló en dos etapas: la etapa de propagación y la etapa de tratamiento donde se evaluó la biomasa, la concentración, la capacidad de acumulación y el factor de distribución a los diferentes órganos vegetativos de cadmio, cobre, níquel, plomo y zinc.	http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3339
9	7	ARCE, Siles Nilo; CALDERÓN, Julia Marilú; JARECCA, Yesith. Optimización del proceso de Fito remediación con <i>Festuca Dolichophylla</i> y tiosulfato de amonio para mejorar la eficacia de la absorción del mercurio de suelos contaminados con mercurio por la minería del distrito de Ananea Puno-Perú. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas. 2021, vol. 24, no 48, p. 69-76.	Optimización del proceso de Fito remediación con <i>Festuca Dolichophylla</i> y tiosulfato de amonio para mejorar la eficacia de la absorción del mercurio de suelos contaminados con mercurio por la minería del distrito de Ananea Puno-Perú.	Determinar la eficacia de fitorremediación de la <i>Festuca Dolichophylla</i> en suelos que están contaminados con mercurio por actividades mineras del distrito de Ananea Puno-Perú bajo condiciones semi-controladas del uso de tiosulfato de amonio como acelerador químico.	Experimental Diseño factorial.	Los datos presentados en este trabajo sugieren que el tiosulfato de amonio puede aumentar la solubilidad de THg y, por lo tanto, mejorar la absorción de mercurio por la <i>Festuca Dolichophylla</i> . Esto se logra mediante la adición de tiosulfato a razón de 2 g de químico por kg de suelo, cinco días antes de la cosecha de las plantas. La mayor acumulación se da en las hojas, seguido por la raíz y el tallo.	Se realizó la fitorremediación con <i>Festuca Dolichophylla</i> , una especie nativa altoandinas con alto potencial para ser utilizada como fitorremediadora de suelos contaminados con mercurio. Se utilizó el diseño factorial, que tuvo como respuesta: la concentración de mercurio total en el suelo y en el tejido vegetal, y como factores el nivel de tiosulfato de amonio en el suelo y el tiempo de crecimiento de la planta.	https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i48.21765
	8	CRUZADO-TAFUR, Edith; TORRÓ, Lisard; BIERLA, Katarzyna; SZPUNAR, Joanna; TAULER, Esperanza. Heavy metal contents in soils and native flora inventory at Mining Environmental Liabilities in the Peruvian Andes. Journal	Heavy metal contents in soils and native flora inventory at Mining Environmental Liabilities	Evaluar la calidad ambiental de los suelos desde una perspectiva geoecológica, e inventariar la flora nativa alrededor de	Experimental.	Los índices geoquímicos aplicados clasificaron algunos de los suelos como extremadamente contaminados y por lo tanto los MEL estudiados representan un riesgo ecológico muy alto. Veintidós especies de flora nativa pertenecientes a 12 familias de	Se determinaron las concentraciones de seis elementos potencialmente tóxicos (Pb, Zn, As, Cu, Ag y Cd). Se identificaron 22 especies de flora que tienen potencial para ser utilizadas	https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03105331/

Matriz Categ. Apriorística

Instrumento

Procedimiento

Base de Datos

FT

FBA

FBR

Matriz de Triangulación 1

Matriz de Triangulación ...



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
11		9	CHANG, José; GONZALES, María J; PONCE, Olga; RAMÍREZ, Lorena; LDAYZA-MURO, Raúl. Accumulation of heavy metals in native Andean plants: potential tools for soil phytoremediation in Ancash (Peru). <i>Environ Sci Pollut Res</i> . 2018. vol. 25, no. 34, p. 33957-33966.	Accumulation of heavy metals in native Andean plants: potential tools for soil phytoremediation in Ancash (Peru)	Fue caracterizar nueve especies de plantas nativas, previamente identificadas como potenciales hiperacumuladoras, de áreas impactadas por relaves mineros en la región Ancash.	Experimental.	Nuestros resultados sugieren que estas especies de plantas tienen un gran potencial para la fitorremediación de suelos, dada su capacidad para acumular y transferir metales y su tolerancia a ambientes altamente contaminados por metales en la región andina.	Se eligieron nueve especies de plantas, de acuerdo con reportes previos sobre su capacidad de acumulación de metales y de especies relacionadas.	https://www.proquest.com/docview/2115553003/FFEA746A0E92468CPO1?accountid=37408
12		10	FUTUGHE, Anthony E.; PURCHASE, Diane; JONES, Huw. (2020). Phytoremediation Using Native Plants. <i>Phytoremediation. Concepts and Strategies in Plant Sciences</i> . 2020. Vol. 1, p. 285-327.	Phytoremediation Using Native Plants	Comparar una planta nativa, <i>Chromolaena odorata</i> , de tierras contaminadas con petróleo crudo en Nigeria con una planta de referencia, <i>Medicago sativa</i> , para la mediación de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP).	Experimental	Las plantas nativas que crecen en varios sitios contaminados a nivel mundial son fitorremediadores potenciales que pueden remediar una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos y pueden aumentar drásticamente la aplicación de la tecnología a nivel mundial. El estudio de caso concluye que <i>C. odorata</i> se desempeñó igual de bien que la planta de referencia, <i>M. sativa</i> (Alfalfa), en términos de potencial de fitorremediación.	Se realizó una comparación entre una planta nativa y una no nativa, en tierras contaminadas con petróleo crudo.	https://www.researchgate.net/publication/340261439_In_Situ_Phytoremediation_of_Metals
13		11	CEPEDA, Ingrid Katherine; ECHAVARRIA, Monika Cristina. Determinación de la capacidad bioremediadora de las especies <i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers Y <i>Verbesina crassiramea</i> SF Blake sobre suelos contaminados con arsénico. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2018.	Determinación de la capacidad bioremediadora de las especies <i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz & Pav.) Pers Y <i>Verbesina crassiramea</i> SF Blake sobre suelos contaminados con arsénico	Determinar la capacidad bioremediadora de dos especies de Asteráceas sobre suelos contaminados con arsénico.	Experimental.	Se puede concluir que las dos especies son aptas para recuperar áreas que presenten concentraciones de arsénico, cumpliendo diferentes funciones.	Se determinaron las concentraciones del Arsenico (As) un elemento potencialmente tóxicos, con dos especies <i>Baccharis latifolia</i> y <i>Verbesina crassiramea</i> .	http://hdl.handle.net/11349/115324
		12	WU, Bohan; PENG, He; SHENG, Mingping; LUO, Huanyan; WANG, Xitong; ZHANG, Rong; XU, Fei; XU, Heng. Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China. <i>Ecotoxicology and</i>	Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area	Investigar la distribución espacial de los metales pesados del suelo en esta región; para medir el contenido de metales en las plantas nativas dominantes; para evaluar los potenciales de	Experimental	En el estudio de campo se observaron 73 plantas (34 familias), principalmente herbáceas y gramíneas. Estas plantas se pueden utilizar para establecer una cobertura de aislamiento ecológico en esta área por acumulación o evitar la migración y difusión de metales pesados con la pendiente	Se determinaron las concentraciones en el área de estudio de cuatro elementos contaminantes (Cr, Cd, Ni, Cu). Se identificaron 73 especies de flora, donde se puede ver que <i>P. capitatum</i> tiene una buena capacidad de fitoextracción, <i>B.nivea</i> , <i>C.indicum</i> , <i>M.floridulus</i> , <i>C.canadensis</i> , <i>R.setchuenensis</i> , <i>S.scandens</i> , y <i>A. hispidus</i> mostraron notables habilidades de	https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368

Matriz Categ. Apriorística

Instrumento

Procedimiento

Base de Datos

FT

FBA

FBR

Matriz de Triangulación 1

Matriz de Triangulación 2

+

:

◀

A	B	C	D	E	F	G	H	I
14	ASHRAF, Saad; ALI, Qasim; ZAHIR, Zahid; Ahmad; ASHRAF, Sahib; ASGHAR, Hafiz; Hussain; Phyto remediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Environmental and Environmental Safety, 2019, vol. 174, p. 714-727.	Phyto remediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Environmental and Environmental Safety, 2019, vol. 174, p. 714-727.	Phyto remediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Environmental and Environmental Safety, 2019, vol. 174, p. 714-727.	Analizar la fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados como un herramienta confiable y necesaria para hacer accesible el recurso tierra para la producción de cultivos.	Descriptiva	Se puede concluir que la fitoremediación de suelos contaminados con metales pesados es un herramienta confiable y necesaria para hacer accesible el recurso tierra para la producción de cultivos.	Hace un análisis sobre la fitoremediación como una forma ambientalmente amigable para la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, muestra los diferentes tipos de fitoremediación. Resalta el uso de plantas para evitar el crecimiento de la flora, la efectividad de la tierra para la producción de cultivos.	http://dx.doi.org/10.1016/j.aesps.2019.02.003
15	GUERRA, Beatriz E.; MUÑOZ, Joider; ZOKOLSKI, Sergio. Phyto remediation of Heavy Metals in Tropical Soils. Overview, Sustainability, 2021, vol. 13, no. 5, p. 2574.	Phyto remediation of Heavy Metals in Tropical Soils. Overview, Sustainability, 2021, vol. 13, no. 5, p. 2574.	Phyto remediation of Heavy Metals in Tropical Soils. Overview, Sustainability, 2021, vol. 13, no. 5, p. 2574.	El objetivo es proporcionar una visión general de la fitoremediación en suelos tropicales, haciendo especial hincapié en el factor que afecta este proceso.	Descriptiva	Las ritmos de adaptación que las plantas han desarrollado para crecer en este tipo de suelo y la gran diversidad de especies de plantas que alteran los suelos tropicales, son razones suficientes para continuar e incrementar la actividad de fitoremediación.	La edición constante de los suelos, nuevas contaminaciones emergentes y necesarias que contienen trazas de metales pesados que interfieren con el proceso de fitoremediación en suelos tropicales, una posibilidad que requiere de investigación para comprenderlos adecuadamente.	http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467954210347409
16	GONZÁLEZ MIRANDA, María Isabel. Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas de suelos contaminados por actividad minera en Puchuncaví y Quintero, 2017.	Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas de suelos contaminados por actividad minera en Puchuncaví y Quintero, 2017.	Mejoramiento de la fitoextracción en plantas nativas de suelos contaminados por actividad minera en Puchuncaví y Quintero, 2017.	Obtener una metodología eficiente y rentable para la fitoextracción en plantas nativas de suelos contaminados por actividad minera en Puchuncaví y Quintero, Chile.	Experimental	Se concluye que no fue posible obtener una metodología ambiental, social y económica rentable para la fitoextracción en plantas nativas de suelos contaminados por actividad minera en Puchuncaví y Quintero, Chile.	Como base para desarrollar la metodología de fitoextracción se seleccionaron tres especies nativas identificadas anteriormente en el área: Baccharis linearis, Arceuthobium chilense y Oenothera spicata. Las altas concentraciones de Cu halladas en las muestras de suelo de estas especies en un mostrador exploratorio (promedio 395 y 254 y 400 mg/kg, respectivamente) y su adaptación a la zona, y su alta producción de biomasa las definieron como especies con potencial para la fitoextracción.	http://hdl.handle.net/2465/112002
17	HASHAOU, Said El, et al. Screening of native plants growing in Pb/Zn mining area in eastern Morocco: Perspectives for phyto remediation. Plant, 2020, vol. 9, no. 11, p. 45.	Screening of native plants growing in Pb/Zn mining area in eastern Morocco: Perspectives for phyto remediation. Plant, 2020, vol. 9, no. 11, p. 45.	Screening of native plants growing in Pb/Zn mining area in eastern Morocco: Perspectives for phyto remediation. Plant, 2020, vol. 9, no. 11, p. 45.	La detección de plantas nativas que crecen en un área contaminada en las cercanías de un área minera de Pb/Zn en el este de Marruecos y su identificación de plantas tolerantes y/o hiperacumuladoras para usar en fitoremediación.	Experimental	Se concluye que entre las 14 especies de plantas recolectadas en esta zona, solo cuatro plantas se identificaron como hiperacumuladoras de Pb.	En este estudio, evaluar la tolerancia y la acumulación de metales pesados en plantas nativas y determinar qué especies crecen en un área minera abandonada de Pb/Zn en el este de Marruecos. Muestras de terreno y plantas nativas fueron recolectadas y analizadas para determinar las concentraciones de As, Cd, Cu, Ni, Sb, Pb y Zn.	http://dx.doi.org/10.3390/plants9110145
18	García Márter, Maribel; Lizbeth, Flavia; Yamil, Vilques León. Identificación De Especies Vegetales Con Potencial Para La Remedación De Suelos Contaminados Por Actividad Minera.	Identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos contaminados por actividad minera.	Identificación de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos contaminados por actividad minera.	Identificar las especies vegetales con potencial para la remediación de suelos contaminados por actividad minera.	Descriptiva	Se concluye que hay una variedad de especies vegetales con potencial para la remediación de suelos contaminados por actividad minera.	Se hizo una comparación de las concentraciones de metales pesados en los suelos provenientes de un primer ambiente de minería con los Exándor de Calidad Ambiental Nacional para Suelos Agrícolas Aprobados por el Decreto Supremo 011-	http://hdl.handle.net/11537/22382

J	A	B	C	D	E	F	G	H	I
19	Martinez Manchaca, Luis Antonio. Evaluación De Efecto De Contaminación De Suelos Contaminados Por La Reforestación El Medial - Arequipa Y Propuesta De Fitorremediación, 2018.	Evaluación de los efectos de contaminación de suelos contaminados por la reforestación El Medial - Arequipa y propuesta de Fitorremediación.	Determinar el estado de conservación de suelos contaminados por la reforestación El Medial - Arequipa y propuesta de Fitorremediación.	Las plantas nativas de la Reforestación "El Medial", han ocasionado que las tierras sean convertidas en cultivos agrícolas y de viviendas, lo que ocasiona un problema de contaminación del suelo.	Experimental	Se concluye que las plantas nativas de la Reforestación "El Medial", han ocasionado que las tierras sean convertidas en cultivos agrícolas y de viviendas, lo que ocasiona un problema de contaminación del suelo.	Para el desarrollo de la investigación se identificó y evaluó las especies vegetales que crecen en las tierras contaminadas como producto de la actividad minera, se concluyó que en las tierras se encuentran especies de plantas nativas.	http://repositorio.unica.edu.pe/handle/UNSA/1739	
20	CHINCHAY, Milay; CHAMORRO, Kenyalea. Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) mediante plantas nativas Maíz "Ze mays L" en la minería. Universidad Peruana Unión, 2020.	Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) mediante plantas nativas Maíz "Ze mays L" en la minería.	El objetivo de este trabajo es presentar una revisión de la literatura sobre la capacidad de Fitorremediación de la planta nativa Zea mays L. en la minería.	La planta nativa del maíz "Ze mays L" resulta eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por Plomo y Cadmio en la minería.	Descriptiva	Se requiere más investigación en estudios sobre la interacción de plantas fitorremediadoras para contribuir a la sostenibilidad del ambiente y en la medida que esta investigación incrementa el conocimiento de esta especie y de su capacidad de fitorremediación.	Se requiere más investigación en estudios sobre la interacción de plantas fitorremediadoras para contribuir a la sostenibilidad del ambiente y en la medida que esta investigación incrementa el conocimiento de esta especie y de su capacidad de fitorremediación.	http://repositorio.unica.edu.pe/handle/UNSA/1840/1515	
21	Leon Mancha, Vladimir Alfonso. Capacidad de Fitorremediación de Especies Altas de Suelos Contaminados Por Metales Pesados (Plomo y Cadmio) mediante plantas nativas Zea mays L. en la minería. Universidad Peruana Unión, 2015 - 2016.	Capacidad de Fitorremediación de Especies Altas de Suelos Contaminados Por Metales Pesados (Plomo y Cadmio) mediante plantas nativas Zea mays L. en la minería.	Evaluar el potencial de fitorremediación de especies altas de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) mediante plantas nativas Zea mays L. en la minería.	Se concluye que las especies altas de Zea mays L. (Kunth) DC., Werneria rubicunda Kunth y Junca acicular Willd. evaluadas en condiciones de invernadero, presentaron alta capacidad de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) en la minería.	Experimental	Se concluye que las especies altas de Zea mays L. (Kunth) DC., Werneria rubicunda Kunth y Junca acicular Willd. evaluadas en condiciones de invernadero, presentaron alta capacidad de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) en la minería.	Para el desarrollo de la investigación se realizó un estudio de campo de preparación (Siembra y tratamiento) de las especies altas de Zea mays L. (Kunth) DC., Werneria rubicunda Kunth y Junca acicular Willd. en condiciones de invernadero. Los resultados de la investigación muestran que las especies altas de Zea mays L. (Kunth) DC., Werneria rubicunda Kunth y Junca acicular Willd. presentaron alta capacidad de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) en la minería.	http://repositorio.unica.edu.pe/handle/UNSA/161900	
22	Soto Caro, Katherine Giamara. Eficiencia De La CAIOPHORA CIRSIIFOLIA C. PRESL En La Fitorremediación Y La Acumulación De Plomo En Suelos Contaminados Por Actividad Minera. Universidad Peruana Unión, 2019.	Eficiencia de la CAIOPHORA CIRSIIFOLIA C. PRESL En La Fitorremediación Y La Acumulación De Plomo En Suelos Contaminados Por Actividad Minera.	Definir la importancia de la especie y su capacidad de fitorremediación de la Caisophora Cirsiifolia C. Presl para tratar los suelos contaminados por metales pesados para disminuir su impacto.	Se concluye que las plantas nativas de la Caisophora Cirsiifolia C. Presl presentaron alta capacidad de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) en la minería.	Descriptiva	Se concluye que las plantas nativas de la Caisophora Cirsiifolia C. Presl presentaron alta capacidad de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) en la minería.	Se evaluó la planta, su capacidad de preparación (Siembra y tratamiento) de las especies altas de Zea mays L. (Kunth) DC., Werneria rubicunda Kunth y Junca acicular Willd. en condiciones de invernadero. Los resultados de la investigación muestran que las especies altas de Zea mays L. (Kunth) DC., Werneria rubicunda Kunth y Junca acicular Willd. presentaron alta capacidad de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) en la minería.	http://hdl.handle.net/2465/12840/2460	
23	COVARRUBIAS, Sergio Abraham; OBRIALES, Juan José Peña. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. Revista Inter nacional de Contaminación Ambiental, 2017, vol. 33, p. 7-21.	Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación.	Analizar la problemática de contaminación por metales pesados en México.	En México, se han identificado especies vegetales con capacidad de absorción de metales pesados y especies de alto potencial de acumulación de metales pesados en suelos contaminados por actividad minera.	Descriptiva	Una estrategia para mejorar el proceso de fitorremediación de metales pesados es a través de la investigación de microorganismos de suelo.	Una estrategia para mejorar el proceso de fitorremediación de metales pesados es a través de la investigación de microorganismos de suelo.	http://dx.doi.org/10.26937/RICA.2017.33.007.010	