



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Modelos Usados en Fitorremediación de Metales Pesados en Suelo,
Revisión Sistemática, 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL

AUTORAS:

Flores Hernandez, Yulisa Lisbeth (ORCID: 0000-0002-9342-4827)

Rodriguez Bernilla, Marilu (ORCID: 0000-0002-9276-263X)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedicamos de manera especial a nuestro padre celestial, él que nos acompaña y nos levanta de todo tropiezo.

A nuestros padres y familiares pues ellos fueron los principales cimientos para nuestros logros.

Agradecimiento

Gracias a Dios por guiarnos y cuidarnos en cada paso dado, ya que gracias a él logramos concluir nuestra carrera.

Agradecemos mucho a nuestros maestros, compañeros y a nuestros familiares que son personas que nos ofrecieron toda su ayuda y su amor incondicional.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Índice de Abreviaturas.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	20
3.1. Tipo y diseño de investigación	20
3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización apriorística	21
3.3. Escenario de estudio.....	24
3.4. Participantes	24
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.6. Procedimientos	25
3.7. Rigor científico	26
3.8. Método de análisis	27
3.9. Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
V. CONCLUSIONES	53
VI. RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS.....	55
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1: Tipo de plantas empleadas en la fitorremediación del suelo.	6
Tabla 2: Matriz de categorización apriorística.....	22
Tabla 3: Base de Datos.	24
Tabla 4: Familia de las plantas usadas en la fitorremediación.....	28
Tabla 5: Procesos de fitorremediación en suelos contaminados.	35
Tabla 6: Clasificación de metales removidos por la fitorremediación.	38
Tabla 7: Clasificación de metaloides removidos por la fitorremediación.....	42
Tabla 8: Modelos de fitorremediación para suelos contaminados.	44
Tabla 9: Modelos usados en la fitorremediación.....	44

Índice de gráficos y figuras

Figura 1: Mecanismos de eliminación de metales pesados.	9
Figura 2: Medios de contención.	9
Figura 3: Los mecanismos de absorción de metales pesados por planta.	11
Figura 5: Sistema radical de la planta frente al contaminante.	12
Figura 6: Diagrama de flujo de selección de información.	26

Índice de Abreviaturas

MP: Metales pesados.

CEC: Capacidad de intercambio Catiónico del suelo.

OPs: Plantas ornamentales.

SL: Soforolípidos.

MO: Materia orgánica

Resumen

La investigación se centró en los modelos de fitorremediación de suelos corrompidos por metales pesados, por ser perjudiciales para los suelos. El objetivo general fue evaluar los modelos usados en los procesos de fitorremediación. El tipo de diseño de investigación consistió en una revisión sistemática de revistas indexadas no menor de 5 años. Los resultados mostraron diversos modelos, los más resaltantes y efectivos son Languor, sigmoides, regresión múltiple, regresión lineal, de freundlich, los cuales resultaron eficientes para remover contaminantes y conocer los porcentajes de metales acopiados en los entrelazados de vegetales. Se concluyó que, de los modelos estudiados, Sigmoide, Freundlich, Langmuir tienen mayor importancia y son los más usados en el mundo científico, debido a su acción de remoción de todo tipo de metales, tales como cadmio (67%), plomo (36%), cobre (56%) acumulados en diferente tipos de suelos, cada uno de estos modelos poseen una situación específica distinta para su aplicación, tales como el pH neutro, la temperatura de 25 a 30 °C y la capacidad de intercambio catiónico, sin embargo, el más transcendental es Langmuir, por ser uno de los modelos fenomenológicos más poderosos y descriptivos del proceso de adsorción.

Palabras clave: Modelos de Fitorremediación, Metales pesados, suelos contaminados.

Abstract

The research focused on phytoremediation models for soils contaminated by heavy metals, as they are harmful to the soil. The general objective was to evaluate the models used in the phytoremediation processes. The type of research design consisted of a systematic review of indexed journals of no less than 5 years. The results showed various models, the most outstanding and effective are Langmuir, sigmoid, multiple regression, linear regression, Freundlich, which were efficient to remove contaminants and know the percentages of metals accumulated in plant tissues. It was concluded that, of the studied models, Sigmoid, Freundlich, Langmuir are more important and are the most used in the scientific world, due to their removal action of all types of metals, such as cadmium (67%), lead (36 %), copper (56%) accumulated in different types of soils, each of these models have a different specific situation for their application, such as neutral pH, temperature from 25 to 30 °C and cation exchange capacity, without However, the most transcendental is Langmuir, as it is one of the most powerful and descriptive phenomenological models of the adsorption process.

Keywords: Phytoremediation models, heavy metals, contaminated soils.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los hechos más llamativos de la sociedad actual es el aumento paulatino de la contaminación del ambiente por contaminantes, especialmente provenientes de las industrias, la minería, la agricultura, la artesanía, las industrias y las actividades del servicio civil (Arthur et al., 2019).

Los metales pesados son sustancias altamente tóxicas en el intermedio cercano como Co, Cr o Cu, Cd, Pb, Hg y elementos no metálicos como As, B y radionúclidos, algunos de los cuales son necesarios hacia la alimentación y incremento de las plantas, como (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn) (Mu et al., 20219). La toxicidad nociva de estos elementos depende de las concentraciones de los componentes en los que están presentes, su forma química y su estabilidad (Mohammadi, et al., 2019).

Los métodos habituales suelen ser costosos y tienen efectos irreversibles en las propiedades del suelo, agua y organismos que viven en ellos (Cao et al., 2021).

El costo creciente y su efectividad limitada de los tratamientos físicos y químicos han impulsado el desarrollo de modelos para reducir los impactos ambientales negativos en los suelos, haciendo de la remediación vegetal una opción sostenible y de menos precio para los ambientes inmediatos afectados por la contaminación natural y antropogénica (Chen et al., 2021).

La fitorremediación es un grupo de técnicas que minimizan las concentraciones de diversos compuestos en los procesos bioquímicos que llevan a cabo las plantas y los microorganismos que las acompañan, tanto in situ como ex situ (Chun et al., 2020), Las plantas cumplen la función de eliminar, reducir, transformar, mineralizar, descomponer, evaporar o estabilizar contaminantes (Gu et al., 2021).

El uso de plantas para eliminar contaminantes del ambiente se basa en el uso de procesos naturales tales como (Rizofiltración, Fitoestabilización, Fitoimmobilización, Fitodegradación, Fitoextracción, Fitovolatilización), estos tratamientos absorben mediante las raíces, la transpiración de las hojas y la actividad enzimática que, en algunas situaciones convierte los contaminantes en elementos útiles para las plantas, eliminándolos del suelo (Ali et al., 2020).

Por lo tanto, se han identificado modelos que predicen la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesado, algunos de ellos, por su alto potencial de acumulación de metales pesados, se conocen como plantas hiperacumuladoras (Kumar et al., 2019).

Se efectúa la fitorremediación sin saber si el método aplicado resulta óptimo o no, es así que nace la necesidad de identificar los modelos más conocidos en la fitorremediación en suelos infectados por metales pesados (Jaskulak et al., 2020). Sin embargo, no todas las acciones de remediación pueden hacer empíricamente, considerando que como consecuencia de las innumerables prácticas estas pueden ser organizadas para establecer modelos de predicción que pueda mejorar la eficiencia de los tratamientos, en ese sentido el presente estudio tiene la necesidad de conocer los modelos usados para fitorremediar suelos impactados con metales pesados, debido a que estos compuestos ocasionan contaminación ambiental y afectación nociva a la salud humana, es por ello que es de relevancia conocer los modelos más eficientes que permiten minimizar la afectación del entorno ambiental (Díaz, 2021).

Por lo tanto, existen diversos modelos para los tratamientos con fitorremediación para metales pesados, sin embargo se enfatiza en las fundamentales y las más utilizadas, tales como los modelos de predicción con mayor regresión lineal ($R^2 > 0.72$), alta eficiencia del modelo (ME: 0.92-0.99), error de normalización promedio bajo (MANE < 0.02) y valores $F > \text{Prob}$ estadísticamente significativos, las pruebas de post hoc de una vía de Kruskal-Wallis indican la cantidad de contenidos de Cd, Cu, Fe, Pb y Zn en las raíces, hojas y toda la planta se ven afectados por la concentración de metales pesados estabilizados (Kumar, et al., 2019). Asimismo, los modelos de modelo sigmoide, Enfoque dinámico del sistema, Modelo de sistema de apoyo a la decisión, Modelos de regresión múltiple, etc., permiten determinar el comportamiento de las plantas, el estrés de las plantas al acumular los metales pesados, entre otros contaminantes (Jaskulak et al., 2020).

La Justificación teórica, Se centra en la interpretación de los principios matemáticos y fisicoquímicos existentes de los modelos de Freundlich, modelos dinámicos, modelos de estado estacionario y mecanismos de acción tales como medios de secuestro (filtración de radicales, fitoestabilización, fitoinmovilización), medios de eliminación (fitodegradación, fitoextracción, fitovolatilización) destinados a reducir contaminantes en el suelo, a través de procesos físicos, químicos y biológicos. Una vez que el tratamiento vegetal con plantas reduce los metales pesados en el suelo, esto pone en riesgo la biodiversidad de especies en la corteza terrestre. **Justificación económica,** La

mala calidad del suelo afecta el desarrollo de las actividades económicas, lo que conduce a una disminución de la productividad productiva debido a la fuerte contaminación mineral, y afecta significativamente la economía popular y el mercado. **justificación metodológica** Se basa en recopilar información de bases de datos como Scopus, Sciencedirect y ebsco. Como investigación cualitativa, se ha realizado una búsqueda de información bibliográfica sobre publicaciones de artículos indexados por varios autores y esto es de fundamental importancia para enriquecer el conocimiento sobre cómo diferentes remedios vegetales ayudan a reducir los minerales en el suelo. Por lo tanto, estos minerales ya están causando una grave degradación del suelo, la destrucción del medio ambiente y todas las actividades agrícolas. **Justificación ambiental**, Se relaciona con la forma en que las plantas presentes de forma natural en el suelo utilizan los patrones y mecanismos de procesamiento de las plantas para mover o eliminar los metales pesados presentes en el suelo, que son perjudiciales para la biodiversidad, la biología disponible y la fertilidad del suelo para uso agrícola. actividad entre otros. El método utilizado es muy respetuoso con el medio ambiente gracias al uso de plantas y no requiere el uso de energía, combustible, etc. construyendo constantemente **problema general:**

PG: ¿Qué modelos son usados en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados, revisión sistemática, 2022?

problemas específicos:

PE1: ¿Qué familias de plantas son usadas en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados?

PE2: ¿Cuáles son los procesos de fitorremediación aplicados en la remoción de metales?

PE3: ¿Cuál es la clasificación y niveles de metales que contaminan los suelos?

PE4: ¿Cuáles son los Modelos de fitorremediación aplicados para predecir proceso de fitorremediación por metales pesados en suelos?

Objetivo general:

OG: Evaluar los modelos usados en la fitorremediación en suelo contaminado por metales pesados, revisión sistemática, 2022.

Los objetivos específicos:

OE1: Analizar las familias de plantas que son usadas en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados.

OE2: Analizar los procesos fitorremediación aplicados en la remoción de metales.

OE3: Analizar la clasificación y niveles de metales que contaminan los suelos.

OE4: Analizar los Modelos de fitorremediación aplicados para predecir proceso de fitorremediación por metales pesados en suelos.

II. MARCO TEÓRICO

FitOrredit utiliza la capacidad de algunas plantas para absorber, acumular, metabólica, evaporado o material estable, por ejemplo, la resistencia de la aplicación es de amplio costo (Delgadillo et al, 2018)

El gran interés en la acumulación de plantas, especialmente en la contaminación del entorno contaminado, también nos ha obligado a resolver otros problemas relacionados con otras regiones, pero esto dependerá del tipo de árbol y la capacidad de tratar sitios infectados y la naturaleza de La naturaleza de las plantas tiene la capacidad de agregar elementos básicos (calcio, magnesio, hierro y hierro, etc.) en el suelo de infertilidad, aunque son contribuciones positivas, también contribuyen negativamente debido a factores como balas, mercurio, cadmio y otros factores que también se producen, debe tenerse en cuenta que las principales características del uso de plantas en el trabajo que mejoran el suelo son las siguientes: minerales y acumulación de rápido crecimiento y alta productividad, que es el hogar de la llanura a la base y fácil, a los Área operativa de la cosecha o el aumento (Pérez y Sulca, 2021). *Medicago sativa* L., mide de 10 a 80 cm, con cambios en el cabello. *Citrus aurantium*, hojas ovadas, borde bastante dentado, pecíolo central, casi todas las masas (Barbosa et al., 2021). La planta acumula contaminantes a través de un proceso catalítico, transformándose en metales elementales utilizando NADPH como donante de electrones (Delgadillo, Prieto y Gonzales, 2021). En la Tabla 1 se presentan las especies de plantas más utilizadas en el tratamiento de plantas cuando el suelo está contaminado con metales pesados, y la clasificación de cada especie descrita en términos de género, división, género, familia y sexo a la que pertenecen y en relación con esta. proceso. ellos.

Tabla 1: Tipo de plantas empleadas en la Fitorremediación del suelo.

TAXONOMÍA DE LAS PLANTAS FITORREMEIADORAS							
Taxonomía	<i>Medicago sativa L</i>	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Lycopersicon</i>	<i>Pistia stratiotes</i>	<i>Raphanus sativa</i>	<i>Sinapis alba</i>	<i>Solanum lycopersicum</i>
Reino:	Plantae	Plantae	Plantae	Plantae	Plantae	Plantae	Plantae
División:	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida	Eudicotyledoneae	Magnoliopsida	Liliopsida	Magnoliopsida	Magnoliopsida	Magnoliopsida
Orden:	Fabales	Asterales	Solanales	Alismatales	Brassicales	Brassicales	Solanales
Familia:	Fabaceae	Asteraceae	Solanaceae	Araceae	Brassicaceae	Brassicaceae	Solanaceae
Género:	Medicago	Helianthus	Solanum	Pistia L.	Raphanus	Sinapis	Solanum
Especie:	Medicago sativa	<i>Helianthus annuus</i>	---	Pistia stratiotes L.	<i>Raphanus sativus</i>	Sinapis alba; L	Solanum lycopersicum

Fuente: Freire y Urtubey, 2019.

El uso de la alfalfa es eficiente y beneficioso para la recuperación de suelos contaminados, es una alternativa de aplicación ante cualquier tecnología de mejoramiento ambiental natural procedimientos de fitorremediación en presencia de contaminación, teniendo presente la eficacia de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) se utilizan para reducir el proceso de absorción variable en el tiempo y para lograr la eficiencia de eliminación (Coyago, 2020).

El *Helianthus annuus* especie con tallo largo, hojas alternas de forma corazón, flores amarillas que se rizan cuando maduran y frutos con muchas semillas negras comestibles para aceite: semillas de girasol; capaz de absorber grandes porcentajes de uranio depositado en el suelo (Cheng et al, 2018).

El *Lycopersicon* es una planta llamada tomate, originaria del continente americano. Los tomates son frutos rojos que se caracterizan por sus semillas carnosas y jugos (Ali et al, 2021).

La *Pistia stratiotes* es una planta flotante que crece naturalmente en estanques y arroyos y puede usarse para decorar acuarios, para remediar aguas contaminadas. *P. stratiotes* se ha considerado una planta prometedora para la remediación de suelos contaminada debido a los cambios que provoca tanto en las características fisicoquímicas del suelo (Cui et al, 2021).

El *raphanus sativa* pertenece a la familia de las crucíferas o crucíferas, tiene hojas grandes, generalmente flores amarillas o blancas, un tallo de unos 80 cm de longitud y raíces suculentas, el color varía según la planta, es una planta de rápido crecimiento y alto rendimiento , íntimamente relacionado con las condiciones ambientales del genotipo; Por el contrario, es un cultivo que permite un manejo intensivo y se utiliza principalmente en cultivos pequeños, sin embargo, poco se sabe sobre su respuesta como extractor de plantas de tipo pesado mineral. (Barbosa et al, 2021).

La *Sinapis alba*, comúnmente conocida como mostaza blanca, ocurre ocasionalmente en Finlandia, las semillas amarillas maduran en sus vainas aplanadas que se pueden usar para hacer mostaza, el tallo es un buen forraje, se usan semillas de mostaza blanca, para mejorar la acidez los encurtidos y las verduras son ácidos porque evitan el crecimiento de moho y bacterias. (Díaz et al, 2020).

La *Solanum lycopersicum* Es una planta dicotiledónea y herbácea, de crecimiento anual por sus frutos, gruesos, dentados, angulosos y verdes, de 2 a 4 cm de ancho, más delgados en la parte superior, cuerpo secundario. Del tallo se forman nuevas hojas e inflorescencias, aparecen nuevos botones florales y hojas. (Priica, 2018).

Medio de contención. la rizofiltración es una tecnología para tratar el agua contaminada basada por potencial de bioabsorción por algunas especies como plantas acuáticas, la industria se enfoca en separar las aguas residuales en 3 corrientes, este mecanismo consiste en contener el contaminante a través de la adsorción, evitando que este se libere (Munive et al, 2018).

La fitoestabilización consiste en fijar al metal pesado presente en la tierra por absorberlo y acumularlo en su raíz o arrebatarlo a la biosfera (Qin et al, 2021).

La fitoinmovilización permite la unión entre el suelo y las raíces, en el proceso de absorción, adsorción o precipitación neutralizan las sustancias tóxicas, provocando la retención (Mahajan et al, 2018).

Medio de eliminación. la fitodegradación se trata de convertir en una molécula simple al agente orgánico, algunos casos se degradan y aceleran el crecimiento de las plantas, en otros casos los contaminantes se biotransforman (Sharma et al, 2018).

La fitoextracción es cuando las plantas absorben al metal pesado por la raíz y lo acumula en forma de biomasa transportada por el aire, eliminando de la tierra a los metales pesados que están presentes a través del proceso de las cosechas (Khalid et al, 2021).

La fitovolatilización ocurre cuando las plantas absorben agentes contaminantes orgánicos y emiten a la atmósfera en condiciones poco tóxico a través de transpiración (Wei et al, 2021).

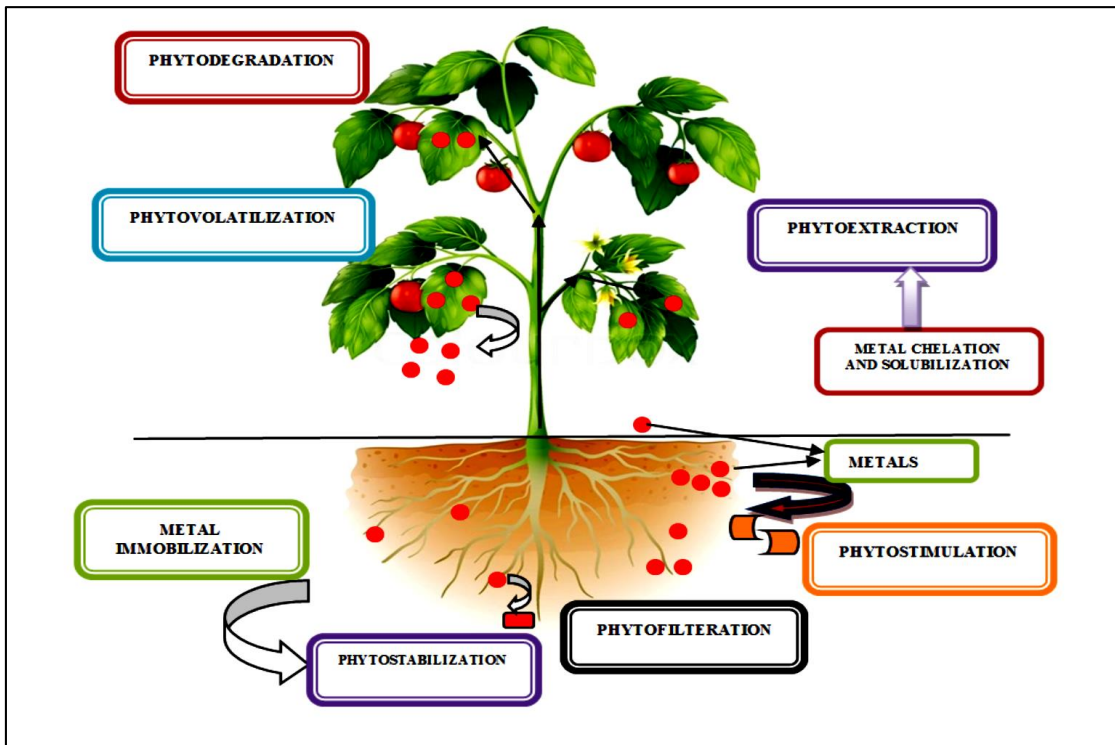


Figura 1: Mecanismos de eliminación de metales pesados. Fuente: Kumar et al., (2019).

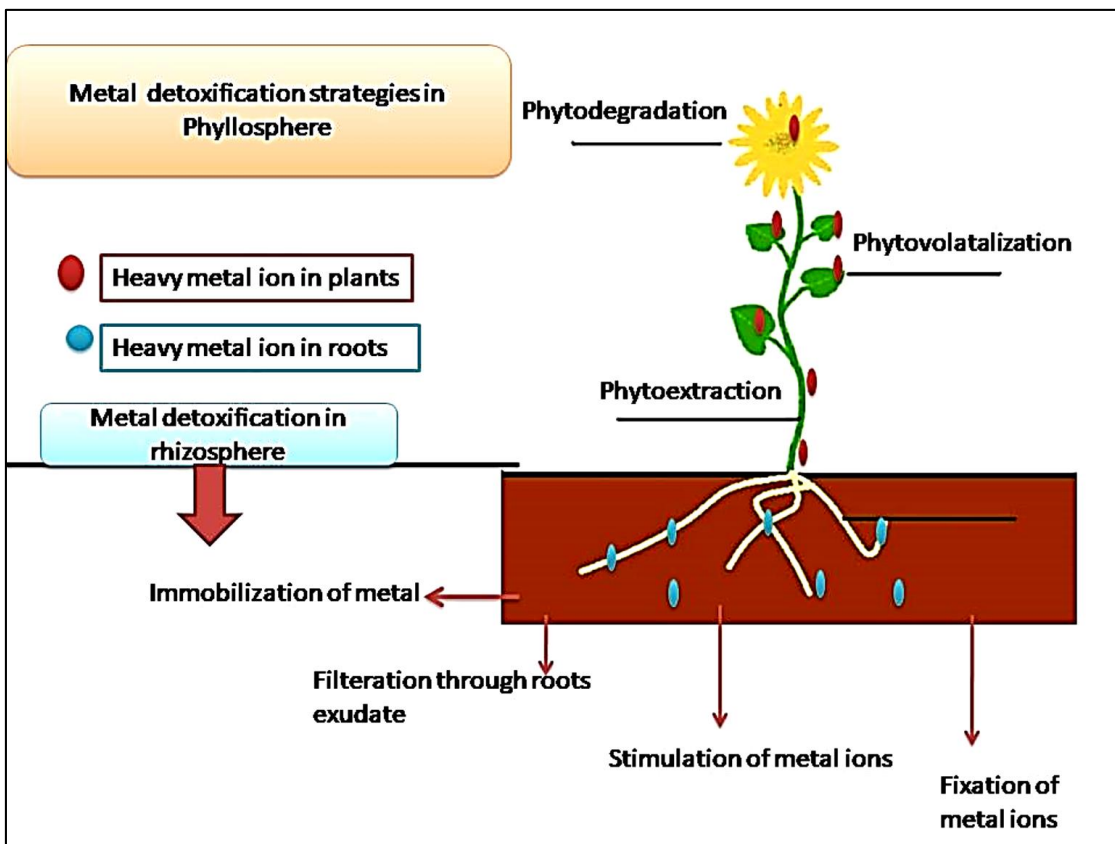


Figura 2: Medios de contención. Fuente: Kumar et al., (2019).

Metales. El plomo, talio y Zinc, se denominan como contaminantes de metales pesados no biodegradable y de larga duración en el medio ambiente, su alta biodisponibilidad es una amenaza para todos los organismos (Lin et al, 2021). Para la tierra es significativo como ecosistema y es uno de los componentes principales receptores de este metal pesado (Liu et al, 2018).

El cadmio, arsénico es una gran parte de la difusión en el ambiente se da por la descomposición y desgaste de las rocas, seguido del transporte por grandes cantidades del metal al océano, donde los niveles de cadmio rondan los 0,1 µg/kg (Lajsner et al, 2021).

El mercurio, bario y berilio son considerados como contaminantes a nivel mundial debido a su persistencia ambiental, toxicidad, reacciones bioquímicas y capacidad de acumulación en los organismos vivos y el ambiente (Sharma et al, 2018).

El cromo, estaño y el vanadio provienen de la principal actividad relacionada con la contaminación, por las mineras industrializadas, todo esto por las aguas residuales emitidas durante los procesos realizados por la empresa (Oliveira et al, 2019). Este metal pesado llega al suelo a través de los relaves mineros, transportándose mediante la escorrentía de estos relaves, para finalmente bioacumularse en el ser humano mediante de la cadena trófica, por medio de la biomagnificación (Díaz, 2021).

Metaloides. El boro se considera como un elemento metálico persistente en el suelo producto de abundante mineral bórax, que es muy peligroso y disminuye la capacidad de calidad del suelo (Sing et al, 2020).

El silicio es un compuesto muy tóxico en cuanto se juntan con el aluminio, asimismo este realiza su función de fijar al CO₂ en el suelo, no liberando al ambiente para así aumentar el efecto invernadero y posterior cambio climático (Sing et al, 2020).

El antimonio contamina principalmente el suelo, pueden viajar largas distancias utilizando aguas subterráneas y superficiales (Oliveira et al, 2019).

El telurio forma humos tóxicos cuando se calienta y reacciona violentamente con haluros o haluros metálicos, creando peligro de incendio, reacciona con zinc y emite una luz incandescente (Cao et al, 2021).

El arsénico se encuentra de forma oriundo en nuestro entorno y también puede ser de origen antropogénico, pero en concentraciones bajas, el riesgo que supone el

As es la movilización de elementos que pueden introducirse en nuestra cadena alimentaria, principalmente las aguas subterráneas (Cameselle y Gouveia, 2019).

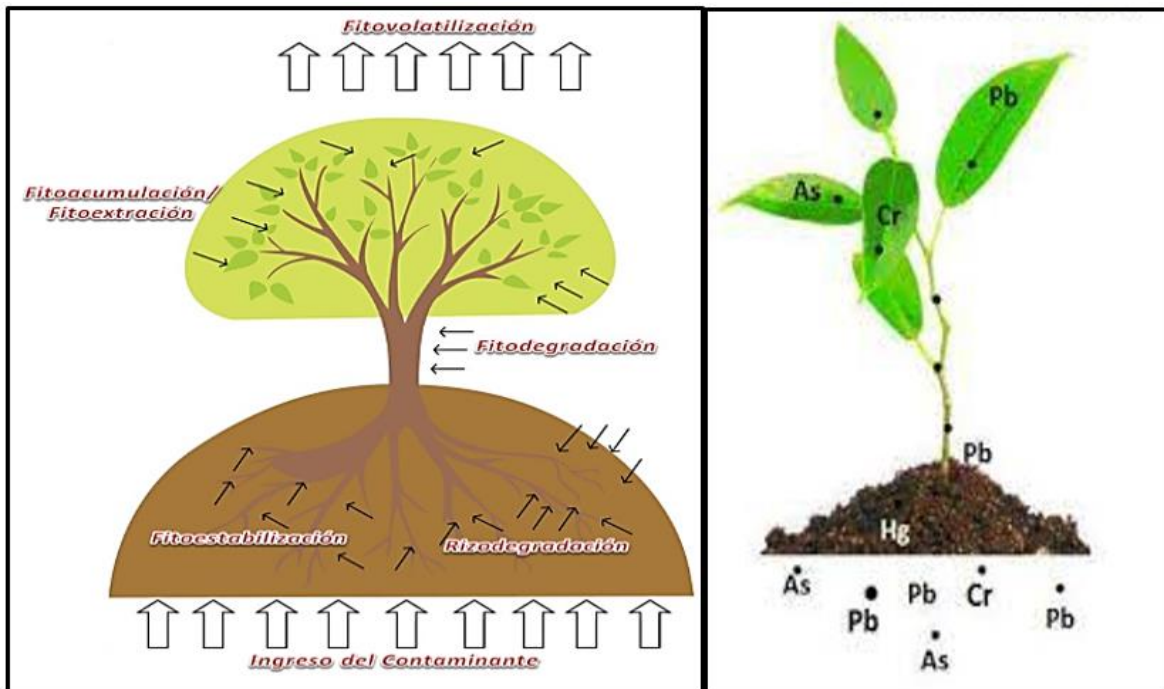


Figura 3: Los procesos de absorción de metales pesados por planta. Fuente: Jaskula et al., (2020).

Los tejidos de las plantas terrestres y raíces que se utilizan para absorber contaminantes en el suelo incluyen diferentes tejidos, dependiendo de las funciones que realizan: tejido de crecimiento (meristema), capa protectora (epidermis y corteza), tejido basal (parénquima), tejido de sostén (parénquima y esclerenquima) y tráquea (floema y xilema) (Jaskula et al, 2020).

El sistema radicular de las plantas está conformado por las raíces principales y secundarias, es el principal órgano que proporciona agua y nutrientes a la parte alta, así como hormonas del tipo de citocininas; positivamente es un órgano en donde se cumplen funciones bioquímicas como la de transformar los fertilizantes nitrogenados en compuestos asimilables para la planta (Díaz, 2018). También las raíces aportan nutrientes importante al suelo: exudados para promover y mantener la actividad microbiana en la rizósfera y proporciona materia al descomponerse en el sitio, este sistema radicular debe estar debe tener igualdad con el sistema aéreo, si la planta tiene pocas raíces y muchas hojas, la planta no podrá adquirir agua del suelo (Díaz, 2018). El metal ingresa a la planta mediante el Xilema, que es el proceso de aprovechamiento de los nutrientes del suelo, de tal manera que lo

distribuye a todos los tejidos de la planta, este proceso se da ya que la planta busca los nutrientes necesarios para su alimentación, asimismo las plantas llegan a tener estrés hídrico cuando existe exceso de líquido, ocasionando que la planta no pueda absorber a los metales del suelo. (Díaz, 2018).



Figura 4: Sistema radical de la planta frente al contaminante. Fuente: Chun et al, (2020).

Factor de Bioconcentración (BFC). Está en relación de acumular los contaminantes que están situados en la tierra y el cuerpo de la planta, el valor del BFC mayores a 1 indican que la planta tiene la capacidad de bioacumular el metal o los metaloides en su biomasa de la planta (Chun et al, 2020).

Factor de bioconcentración. En las raíces de las plantas, también conocido como factor de bioconcentración (FBC), se calculó la relación entre las concentraciones de minerales en las raíces de las plantas y las concentraciones de minerales en el suelo (Valdiviezo, 2019). Díaz (2021) evaluó factores para concentraciones de metales pesados en leguminosas, determinando que estas plantas tienen la capacidad de adherirse a altas concentraciones de metales pesados en sus tejidos. (Chun et al, 2020).

Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta. Acreditada como Factor de acumulación biológica (BAC), es la relación del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo. (Martínez, 2018).

Factor de Translocación (TF). En las raíces de las plantas, también conocido como factor de bioconcentración (FBC), se calculó la relación entre las

concentraciones de minerales en las raíces de las plantas y las concentraciones de minerales en el suelo (Valdiviezo, 2019). Díaz (2021) evaluó factores de concentración de metales pesados en leguminosas, determinando que estas plantas tienen la capacidad de adherirse a altas concentraciones de metales pesados en sus tejidos. 1 (Martínez, 2018).

El modelo de captación sigmoide de metales pesados es un sistema de soporte de decisiones Phyto e Phyto-DSS, en su forma original está destinado estrictamente a la evaluación de la fitoextracción, incluida la evaluación general absorción y distribución de metales seleccionados en tejidos vegetales (Jaskula et al, 2020).

Explicación matemática básica descrita por Jaskula et al. (2020): Absorción total de metales pesados en planta

$$M_{HM\ plant} = \frac{M_{max}}{1 + e^{-K_M(t - t_{0.5M})}} * C_{HM\ SOIL} * BAF_{HM}$$

- M_{max} = La biomasa vegetal máxima (g).
- K_M = constante que determina la curvatura del patrón de crecimiento sigmoide
- t = tiempo (días).
- $t_{0.5}$ = es el tiempo de inflexión en el que la tasa de crecimiento alcanza la mitad de valor máximo.
- BAF = factor de bioacumulación de un metal dado.
- $C_{HM\ SOIL}$ = concentración de metales pesados es suelo.
- $M_{HM\ plant}$ = concentración de metales pesados en la planta.

Los modelos de regresión múltiple en relación con la fitorremediación de la contaminación compleja con metales mixtos, incluidos cadmio, plomo, zinc y cobre, causada por operaciones de fundición, se entiende que los modelos al metal lo absorben mediante los tejidos de la planta, mientras que para el plomo se sobrestimó esos valores (Jaskula et al, 2020).

Modelo básico de captación de metales en plantas

$$\Delta Y = \sum (C_t - C_o) / n$$

El modelo de regresión lineal múltiple que incluye dos variables independientes

$$Y = \beta + \beta_i * X_1 + \beta_j * X_2$$

- ΔY = la absorción de metal calculada (mg/kg DW).
- C_t = concentración del contaminante después del tratamiento (mg/kg DW).
- C_o = concentración de contaminante antes del tratamiento (mg/kg DW).
- β = La regresión constante.
- $\beta_i, \beta_j, X_1, X_2$ = los coeficientes estimados (b) para las variables independientes, y su concentración (X) (mg/L). Por lo general, se refiere al pH del suelo y concentración de metales.

El modelo Freundlich se puede utilizar para evaluar la adsorción de metales pesados del suelo contaminado, se usa para áreas con concentraciones significativamente diferentes de contaminantes, el modelo se basa tanto en la concentración total como disponible del contaminante, admite la no linealidad de la adsorción y tiene en cuenta las diferencias entre las especies de plantas, lo que ayuda durante el proceso de selección de las plantas más adecuadas para un área determinada (Mohammadi et al, 2019).

La cantidad de iones metálicos adsorbidos

$$\rho = KC \frac{1}{n}$$

Su relación lineal

$$\log \rho = \log K + \frac{1}{n} \log C$$

- ρ = la cantidad de iones absorbidos por el solvente (mg/g)
- C, Co = las concentraciones iniciales y restantes de metales disueltos (mg/L)
- K= la constante de equilibrio de Freundlich representa la absorción potencia (mg/g)
- n= la constante de equilibrio de Freundlich que representa la energía de unión del metal y el adsorbente.

Los modelos dinámicos se han implementado varios algoritmos matemáticos de instrumentos para fijar la fitorremediación o para mejorar nuestra comprensión sobre procesos específicos del suelo (Rizwan et al., 2017). Una amplia gama de leyes de difusión y correlaciones estadísticas, dirigidas principalmente a comprender los fenómenos de manera completa, habían sido investigadas, generadas y especializadas intensivamente para fines específicos (Jaskula et al, 2020).

Explicación matemática básica:

Captación y transporte de agua

$$Q_{root} = A_{soil}^{root} L_{soil}^{root} (\varphi^{root} - \varphi^{soil}) Q_{stem} = A_{root}^{stem} L_{root}^{stem} (\varphi^{stem} - \varphi^{root}) Q_{leaf} = A_{stem}^{leaf} L_{stem}^{leaf} (\varphi^{leaf} - \varphi^{stem})$$

Potenciales de agua

$$\begin{aligned} \varphi^{root} &= P^{root} f d - II^{root} + \rho g h^{root} \varphi^{stem} \\ &= P^{stem} f d - II^{stem} + \rho g h^{stem} \varphi^{leaf} \\ &= P^{leaf} f d - II^{leaf} + \rho g h^{leaf} \end{aligned}$$

Las tasas de absorción de contaminantes por las raíces de suelo y transporte desde las raíces hasta los tallos y las hojas

$$\begin{aligned}
M_{rate}^{root} &= Q_{water}^{root} C_{soil} \delta^{root} \beta^{root} M_{rate}^{stem} \\
&= Q_{water}^{stem} C_{root} \delta^{stem} \beta^{stem} M_{rate}^{leaf} \\
&= Q_{water}^{stem} C_{stem} \delta^{leaf} \beta^{leaf} M_{rate}^{vp} \\
&= Q_{water}^{leaf} C_{leaf} \delta^{leaf} \beta^{leaf} f_v
\end{aligned}$$

- Q = los caudales de agua entre compartimentos (cm³ h⁻¹).
- A = las áreas de contacto entre compartimentos (cm²).
- L = las conductancias entre compartimentos (cm h⁻¹ MPa⁻¹).
- Φ = los potenciales de agua (MPa) en los compartimentos.
- P = la presión hidrostática o potencial de presión (MPa).
- fd = factor diurno que caracteriza las variaciones diarias del potencial hidrostático.
- P = el potencial osmótico (MPa).
- ρ = la densidad del agua (g cm³).
- g = la aceleración gravitatoria.
- H = es la altura de las raíces, tallos u hojas con referencia a un dato (cm).
- M = la tasa de absorción de contaminantes (mg h⁻¹).
- C = es la concentración del contaminante (mg cm³).
- β = la pérdida de transformación de contaminante, f_v - la fracción de contaminante en fase de vapor.
- δ = los coeficientes de reflexión (la facilidad con la que un determinado contaminante cruza la membrana entre compartimentos).

Sokolski, et al. 2021, 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, 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.

Shaheen, et al. 2021, evaluó 12 especies nativas, 3 de las cuales (*Poa angustifolia*, *Galium mollugo* y *Stellaria holostea*), en un periodo de dos años, mediante el modelo freundlich, el cual se utilizó para reducir la cantidad de carga del contaminante en suelos arcilloso, teniendo un 80% más efectivo que el modelo dinámico, del mismo modo se aplicó el factor de translocación (TF), permitiendo la acumulación y transporte de los metales hacia la raíz de las plantas hiperacumuladoras, del mismo modo, se tomó en consideración las concentraciones en las plantas, pero no en la biomasa producida, los resultados mostraron que las concentraciones de PTE de la planta fueron dramáticamente elevadas para Cd y Zn en las plantas utilizadas, concluyeron que *A. vulgaris* se comportó como una especie de planta hiperacumuladora en nuestro suelo altamente contaminado, mientras que *G. mollugo* y *S. holostea*, nunca antes estudiadas, también tuvieron un comportamiento hiperacumuladora, especialmente para Cd y Zn.

Mu, et al. 2021, evaluó en un suelo franco arenoso (fluvisoles calcáricos) contaminado por los iones de metales pesados, y se determinaron las condiciones y capacidades solubles en agua en el suelo, usaron como modelo a la regresión

múltiple, el cual permitió la fitorremediación de metales más complejos, obteniendo un 55% de eficiencia en comparación con el modelo de freundlich, del mismo modo examinaron y luego se realizaron experimentos en macetas para eliminar Ca^{2+} , Mg^{2+} y NO_3^- mediante dos halófitas (*Sedum aizoon L.*, *Sesbania cannabina Pers.*) integradas con la aplicación γ -PGA, lograron mostrar que bajo las condiciones de adición de 1000 mg L^{-1} de γ -PGA (pH 7) y $25 \text{ }^\circ\text{C}$, las eficiencias de unión de Ca^{2+} y Mg^{2+} fueron 51.59% y 68.03%, respectivamente, concluyeron que, en el futuro será necesario estudiar más a fondo el mecanismo de efecto conjunto y la investigación a escala de campo.

Shah, & Daverey. 2021, evaluaron los efectos de la modificación de soforolípidos (SL) en suelos infectados con metales tóxicos sobre el crecimiento de *Medicago sativa* y *Bidens pilosa*, así como el efecto de la absorción de minerales y la interacción con el estrés mineral interno. *B. pilosa*, utilizaron el modelo de sigmoide, el cual utilizaron para analizar la adsorción y distribución de metales en suelos arcillosos, siendo efectivo en un 52 % en comparación con el modelo dinámico, lograron determinar que las condiciones de cultivo fueron por un periodo de 40 días la cual es más eficaz para la acumulación del contaminante y a una temperatura promedio de $25 \text{ }^\circ\text{C}$, concluyeron que el aumento de SL es una opción viable para inducir la fitorremediación, ya que aumenta la acumulación de Cd y el crecimiento de las plantas, mejora la actividad microbiana del suelo y reduce el estrés por metales en *B. pilosa*.

Ali, et al. 2021, evaluó la concentración de los metales pesados a través de la fitorremediación, mediante el modelo de captación de metales en plantas en suelos franco arenoso, siendo este un 65% más efectivo que el modelo de captación de sigmoide, del mismo modo se estudió las ventajas de aplicabilidad, los métodos para mejorar la tolerancia de los OP con una mayor absorción de metales pesados, los desafíos en el campo y las perspectivas de aplicación futura, se realizó con plantas ornamentales (OPs) en el campo de la fitorremediación es escasamente reportado, y los impactos de las HMs sobre las OPs tampoco han sido investigados en profundidad, la remediación de HM mediada por OP puede eliminar simultáneamente los contaminantes y mejorar la estética del sitio, lograron discutir los estudios de casos relacionados con la aplicación práctica de los PO de China,

Irán, India, Omán, Pakistán y Turquía, concluyeron que este trabajo busca las características interdisciplinarias y la comprensión para el tratamiento sostenible de los HM de una manera nueva y novedosa, a la que no se ha centrado ninguna revisión anterior.

Sriyanthi, et al. 2021, evaluó los potenciales de fitorremediación de *Crotalaria retusa L.* e *Impatiens balsamina* para suelos franco arenosos contaminados con ULO, el modelo empleado fue de sigmoide, siendo un 75% más efectivo que otros modelos, mediante el factor de translocación, usaron como método un experimento en macetas de bloques aleatorios para cada especie en condiciones de invernadero en suelo contaminado con ULO a una concentración de 5000 mg kg⁻¹ (0,5 % p/p)-30 000 mg kg⁻¹ (3 % p/p), lograron revelar una correlación positiva significativa ($p < 0,05$) de la concentración de P extraíble y una correlación negativa significativa ($p < 0,05$) del pH del suelo con el porcentaje de degradación de ULO, concluyeron que el mayor potencial de fitorremediación fue la *C. Retusa* que el de *L. balsamina* para suelos contaminados con ULO.

Cui, et al. 2021, evaluó el método que permita que regular la eficiencia de la fitorremediación, ese realizó un experimento de fitoextracción con grano de amaranto (*Amaranthus Hypochondriacus L.*) en seis suelos agrícolas contaminados con Cd a largo plazo del sur de China, el modelo empleado fue el de captación de metales en plantas, el cual logró atraer los metales pesados a la raíz de las plantas, obteniendo un 75% de eficiencia en comparación con el modelo de Freundlich en suelos franco arenosos, logró mostrar que además del Cd disponible en el suelo, la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CEC) afectó en gran medida el crecimiento de las plantas y la cantidad de extracción total de Cd. Concluyó que estos hallazgos resaltan que mantener una producción regular de biomasa vegetal es vital para garantizar la eficiencia de la fitorremediación, y la baja CIC del suelo es una barrera sustancial que debe preocuparse y abordarse aún más para la fitorremediación eficiente de los suelos contaminados con Cd.

Lu, et al. 2021, evaluaron macetas de plantas para establecer cuatro gradientes diferentes de contaminación por plomo metálico (0, 2, 3 y 5 ‰ p/p) y se establecieron índices de crecimiento de cultivos, junto con los cambios en el contenido de Pb del suelo en diferentes tejidos y órganos antes y después de la

siembra, el modelo empleado fue el de freundlich, el cual permitió la adsorción de metales pesados del suelo franco arcillosos contaminados, se usa para áreas con concentraciones significativamente diferentes de contaminantes, se alcanzó un 65% de efectividad en comparación con el modelo sigmoide, los hallazgos permitieron descubrir que el ajeno y el plátano tienen un gran potencial como plantas de remediación para la contaminación por plomo metálico del suelo en las áreas mineras áridas y semiáridas del noroeste de China, concluyeron mostrando que existe diferencia significativa en la cantidad de Pb acumulado en relación al nivel de contenido de Pb en el suelo.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación.

En cuanto al tipo de investigación, existe un tipo básico de investigación desde la búsqueda de una nueva generación de conocimiento, centrándose en la evaluación de modelos predictivos asociados al examen de la literatura científica y técnica. Diferencia. (Hernández et al. 2018) es aplicable, porque pretende brindar a la sociedad el conocimiento de que se utilizan modelos para desarrollar una realidad particular, y de igual manera, este estudio se basa en teorías obtenidas de investigaciones relevantes, por lo que a través de la investigación se aplicación de conocimientos científicos uso de técnicas de procesamiento Resolución de Problemas de Plantas Se utilizaron teorías que involucran modelos matemáticos e industriales para determinar el comportamiento de las plantas en el tratamiento vegetativo de metales pesados en pisos. (Lozada, 2014, p.35).

Diseño de investigación.

El diseño de esta investigación fue no experimental, ya que se basó en la revisión de los artículos: REVISION SISTEMÁTICA nos permitió recolectar información de un tema específico, y explicar las relaciones encontradas en el uso de técnicas de remediación vegetal para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesado, (Asunción y Rondo, 2021).

3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 2: Matriz de categorización apriorística.

Matriz de categorización apriorística: Modelos Usados en la Fitorremediación de Metales Pesados en Suelo, Revisión Sistemática, 2022					
Objetivo específico	Problema específico	Categoría	subcategoría	Indicadores	Referencias
Analizar las familias de plantas que son usadas en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados	¿Qué familias de plantas son usadas en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados?	Familias	Género	<ul style="list-style-type: none"> • Taxonomía • Clasificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Barbosa et al. (2021) • Cheng et al (2018)
			Especies	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Medicago sativa L.</i> • <i>Helianthus annuus</i> • <i>Lycopersicon</i> • <i>Pistia stratiotes</i> • <i>Raphanus sativa</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Chun et al. (2021) • Bañuelos et al. (2019) • Iqbal et al (2018)
Analizar los procesos fitorremediación aplicados en la remoción de metales	¿Cuáles son los procesos fitorremediación aplicados en la remoción de metales?	Procesos en la Fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Medio de contención • Medio de eliminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Rizofiltración, Fitoestabilización, Fitoinmovilización. • Fitodegradación, Fitoextracción, Fitovolatilización 	<ul style="list-style-type: none"> • Munive et al. (2018) • Mahajan et al. (2018)
Analizar la clasificación y niveles de metales que contamina los suelos	¿Cuál es la clasificación y niveles de metales que contamina los suelos?	Clasificación y niveles de metales	<ul style="list-style-type: none"> • Concentraciones (inicial y final). 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación baja (ECA suelo) • Contaminación alta (ECA suelo) 	<ul style="list-style-type: none"> • Sokolski (2021)
			<ul style="list-style-type: none"> • Metales. • Metaloides. 	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo, Cadmio, Mercurio y Cromo • Boro, Silicio, Antimonio, Telurio y Arsénico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oliveira et al. (2019) • Singh et al. (2020)
Analizar los Modelos de fitorremediación aplicados para	¿Cuáles son los Modelos de fitorremediación		<ul style="list-style-type: none"> • Modelado de regresión múltiple 	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación 	

predecir proceso de fitorremediación por metales pesados en suelos	aplicados para predecir proceso de fitorremediación por metales pesados en suelos?	Modelos de fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de captación sigmoide de metales pesados • Modelo Freundlich • Modelos dinámicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorción • Estimulación • Eliminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Jerez et al. (2018) • Saleem et al. (2019)
			<ul style="list-style-type: none"> • Modelos de estado estacionario • Modelo MINTEQA2/P • RODEFA2 	<ul style="list-style-type: none"> • Inmovilización 	

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.3. Escenario de estudio

Fue un estudio virtual, se recopiló artículos científicos de medio nacional e internacional, donde se analizaron los diferentes modelos de fitorremediación de metales pesados en la superficie terrestre, los artículos fueron extraídos de la biblioteca virtual UCV, extrayendo de revistas indexadas de relevancia en el mundo científico, tales como SCOPUS, SCIENCEDIRECT, EBSCO.

3.4. Participantes

Se recolectó documentos, conformado especialmente por artículos de alto interés, de nivel nacional y universal, los mismos se seleccionaron de bases de datos científicos, los cuales son: ScienceDirect, Ebsco, Scopus, entre otras de interés. Se eligieron una cantidad mayor de 50 artículos, todos ellos fueron relacionados con las metodologías de fitorremediación utilizadas en superficie terrestre alterados con metales pesados, en relación con el tema estudio”.

Tabla 3: Base de Datos.

BASE DE DATOS	Dirección
• SCOPUS	https://www.scopus.com/sources.uri
• SCIENCEDIRECT	https://www.sciencedirect.com/
• EBSCO	https://www.ebsco.com

Fuente: Elaboración propia, 2022.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Emplearon técnicas utilizando la revisión literaria, se empleó toda la información requerida como técnica de revisión, la cual se basó en fuentes documentales, es decir se recopiló y analizó la documentación, esto se regió por explorar, estudiar e indagar artículos científicos, entre otras publicaciones realizadas por el mundo científico de forma virtual (Escudero

y Cortez, 2018, p. veinte). Para los instrumentos se utilizaron matrices de recolección de información, en el cual se obtuvo información necesaria sobre artículos indexados, para luego ser procesada en y tablas, entre otros según cada subcategoría, un archivo para cada subcategoría, y la base de datos de excel para generar tablas que respondan a las subcategorías de qué tan efectivos son los tratamientos de fitorremediación que se realizaron por cada autor del artículo. (Gómez y Amaya, 2018).

3.6. Procedimientos

En cuanto al Procedimiento que se ha seguido para el desarrollo de la presente investigación, se contó con la evaluación de la base de datos constó de 3 fases, la cual fueron fundamentales para la recopilación de información, donde la extracción del contenido fue sujeta a una secuencia ordenada, objetiva y sistemática. (ScienceDirect, Ebsco, Scopus) se alcanzó recolectar y procesar un total de 59 artículos de investigación respectivamente (Hernández et al.,2018).

A continuación, se presenta el flujo de elección de información

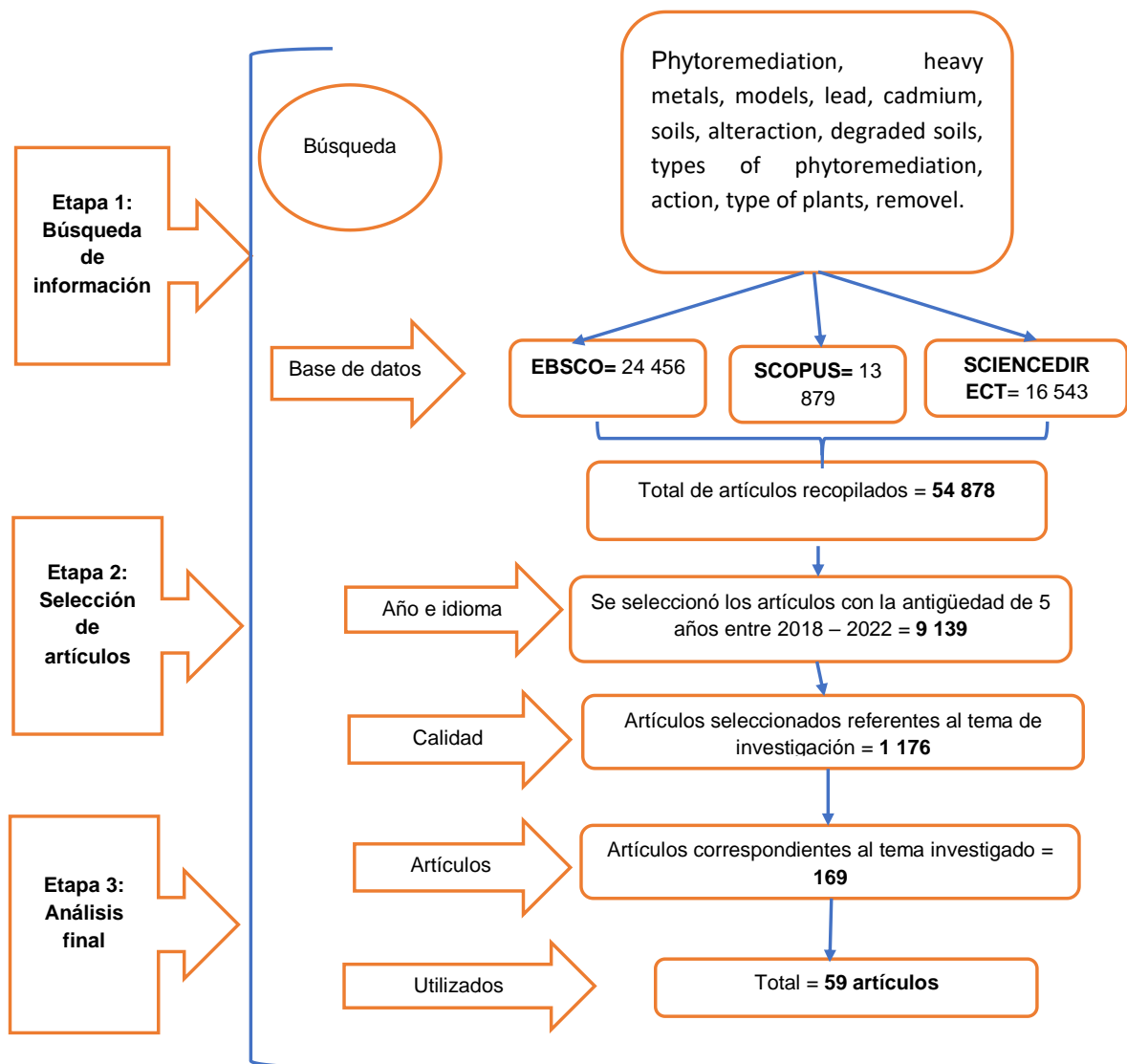


Figura 5: Diagrama de flujo de selección de información.

Fuente : elaboración propia, 2022.

3.7. Rigor científico

Contó con un alto rigor científico, que permitió certificar la legitimidad y veracidad por medio que se respetó los juicios de firmeza, fe y autenticidad que se mostró en relación de la investigación, la información se recolecto y analizo en orden lógico con fines de que los resultados se compararon con otros autores. Elizalde, (2019) afirmó que: la consistencia orienta el nivel de

diversos individuos que recopilan información semejante, realizan los mismos análisis y generaron resultados semejantes, en consecuencia, se relacionó con la estabilidad de los datos obtenidos, de igual modo el trabajo de cada artículo examinado fue derivado de revistas indexadas sobre modelos de fitorremediación de metales pesados en la superficie de la tierra.

3.8. Método de análisis

El análisis de los artículos científicos se inició con la clasificación y reducción de la información, agrupando y categorizando en una matriz, enfocándose en los objetivos y objetivo general de la investigación (evaluar los modelos usados en la fitorremediación en suelo contaminados por metales pesados), y luego un análisis cualitativo que sirvió de base para el método de la búsqueda que se relacionó con su objetivo mediante palabras clave y filtros para obtener los mejores resultados, cada artículo científico fue analizado, comparado y revisado para verificar su confiabilidad de acuerdo con sus similitudes y diferencias, y el análisis crítico es el requisito previo más importante para las interpretaciones correctas que condujeron al desarrollo apropiado de revisiones sistemáticas (Almeida, 2020).

3.9. Aspectos éticos

La integridad científica de los hallazgos de la investigación se centró en respetar los valores y buenas prácticas de los autores para implementar y aplicar resultados probados, honestos, veraces y referenciales a la Universidad César Vallejo ISO 690 por el autor de cada categoría. Asimismo, se aplicó la integridad de la encuesta en las fases de formulación, propuesta e implementación del cuestionario. Comité de la Universidad Cesar Valeo sobre pautas de estándares científicos relacionados con los investigadores, ejerciendo el derecho a los resultados de otros investigadores con el programa Turnitin para mantener los resultados transparentes con rendición de cuentas. Responsabilidad del investigador, según RVI N° 011-2020 pautas de preparación de disertaciones durante la elaboración de la tesis Se respeta el proyecto existente y se hace referencia a la información

utilizada por cada agente para los artículos, y el informe se relaciona con el tema de investigación de los modelos utilizados en el procesamiento vegetativo de metales pesados de la tierra.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Obtenga los resultados problemáticos de la vida real utilizados en la investigación actual. Arreglado el primer gol. Determina el tipo de planta utilizada para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Tabla 4: Familia de las plantas usadas en la fitorremediación.

FAMILIA DE PLANTAS USADAS EN FITORREMEDIACIÓN				
Tipo de planta	Taxonomía	Tipo de contaminante	% de remoción	fuentes

FAMILIA DE PLANTAS USADAS EN FITORREMEDIACIÓN				
<i>Grano de amaranto</i>	Reyno: Plantae, Familia: Amaranthaceae, Genero: Amaranthus L., Clase: Magnoliopsida, División: Magnoliophyta	Cadmio, plomo, magnesio	Se lograron remover 90% Cd, 80% Pb y 58% Mg contaminantes que se encontraban presentes en el suelo	Cui et al. (2021)
<i>Echinacea purpurea</i>	Reyno: Plantae, Familia: Asteraceae, Genero: Echinacea, Clase: Magnoliopsida, División: Magnoliophyta	Cadmio	Se lograron remover Cd un 59.40% presente en el suelo con el uso de <i>Echinacea purpurea</i>	Chen et al. (2021)
<i>Medicago sativa</i>	Reyno: Plantae, Familia: Fabaceae, Genero: Medicago, Clase: Magnoliopsida, División: Magnoliophyta	Los tipos de contaminantes presentes en el suelo fueron As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb y Zn	Se lograron remover 2.11% As, 0.94% Cd, 1.83% Cr, 1.18% Cu, 2.30% Hg, 5.26% Mo, 1.83% Ni, 1.32% Pb y 2.54% Zn	Chun et al. (2020)
<i>Vetiveria zizanioides</i>	Reyno: Plantae, Familia: Poaceae, Genero: Chrysopogon, Clase: Liliopsida, División: Magnoliophyta	Arsénico	Se lograron remover el contaminante As un porcentaje de 62.20% que se encontraron acumulados en el agua	Fonseca. (2021)
<i>Zea mays</i>	Reyno: Plantae, Familia: poaceae, Genero: zea, Clase: liliopsida	Plomo y Cadmio	Se lograron remover 2 contaminantes como un 80% Plomo y 91% Cadmio que se encontraban perjudicando la fertilidad del suelo	Munive et al. (2018)
<i>Eichhornia crassipes</i>	Reyno: Plantae, Familia: Pontederiaceae, Genero: Eichhornia, Clase: Liliopsida, División: Magnoliophyta	Los contaminantes presentes en el suelo fueron el Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn en altos porcentajes	se logró conocer la efectividad que tuvieron para remover los contaminantes del suelo en cuanto a Cd 19%, Cr 2.7%, Cu	Oliveira. (2019)

FAMILIA DE PLANTAS USADAS EN FITORREMEDIACIÓN				
			1.9%, Ni 9%, Pb 27%, Zn 90%	
<i>Trifolium repens</i>	Reyno: Plantae, Familia: Faboideae, Genero: Trifolium, Clase: Magnoliopsida, División: Magnoliophyta	Cadmio y Plomo	Porcentaje que lograron remover en cuanto a Cadmio fueron de 19.37% y para Plomo 86.53%	Lin et al. (2021)
<i>Helianthus annuus</i>	Reyno: Plantae, Familia: Asteraceae, Genero: Helianthus, Clase: Eudicotyledoneae, División: Magnoliophyta	Plomo	Se conoció la eficiencia de remoción que lograron en un 19.46% de Plomo generando problemas al suelo	Saleem et al (2019)
<i>Brassica juncea</i>	Reyno: Plantae, Familia: Brassicaceae, Genero: Brassica, Orden: Brassicales	Los contaminates presentes en el suelo fueron As, Cd, Pb, Hg, Cr	Lograron remover los contaminates en cuanto a As 5.73%, Cd 8.64%, Pb 11.35%, Hg 13.55%, Cr 7.81%	Seshadri et al (2018)
<i>Sinapis alba</i>	Reyno: Plantae, Familia: Magnoliophyta, Genero: Sinapis, Orden: Brassicales	Cadmio	Logró remover 28% de Cadmio en suelo	Boros-Lajszner et al., 2019
<i>Thlaspi arvense</i>	Reyno: Plantae, Familia: Brassicaceae, Genero: Thlaspi, Orden: Brassicales	Cadmio	Logró remover 28, 5% de Cadmio en suelo	Drozdova et al., 2019
<i>Arundo donax</i>	Reyno: Plantae, Familia: Poaceae, Genero: Arundo, Orden: Poales	Cadmio	Logró remover 50% de Cadmio en suelo	Cristaldi et al., 2020
<i>Tradescantia fluminensis</i>	Reyno: Plantae, Familia: Commelinaceae, Genero: Tradescantia, Orden: Commelinales	Cadmio	Logró remover 11,24 % de Cadmio en suelo	Cay, Engin, Uyanik, Cay y Guney, 2019)

FAMILIA DE PLANTAS USADAS EN FITORREMEDIACIÓN				
<i>Helianthus annuus</i>	Reyno: Plantae, Familia: Asteraceae, Genero: Helianthus, Orden: Asterales	Cadmio	Logró remover 29,6 % de Cadmio en suelo	Reátegui y Reátegui, 2018
<i>Thlaspi arvense</i>	Reyno: Plantae, Familia: Brassicaceae, Genero: Thlaspi, Orden: Brassicales	Cadmio	Logró remover 28,5 % de Cadmio en suelo	Drozдова et al., 2019

OE1: De acuerdo al objetivo 1, el análisis de las familias de plantas que son usadas en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados se encontró que Según Cui et al. (2021), la taxonomía de la planta usada para el tratamiento de contaminantes presentes en el suelo, en tal caso para Grano de amaranto Reyno: Plantae, Familia: *Amaranthaceae*, Genero: *Amaranthus L.*, Clase: *Magnoliopsida*, División: *Magnoliophyta*, esta planta actuó frente a los contaminantes como Cadmio, Plomo y Magnesio, donde lograron conocer su efectividad del 90% Cd, 80% Pb y 58% Mg contaminantes que se encontraban causando severos daños al suelo para el desarrollo de cualquier actividad agrícola. Que al comparar con otras investigaciones según Chun et al (2020), determinó la taxonomía de la planta *Medicago sativa*, Reyno: Plantae, Familia: *Fabaceae*, Genero: *Medicago*, Clase: *Magnoliopsida*, División: *Magnoliophyta*, donde fue utilizada para remover contaminantes como As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb y Zn, donde se lograron remover 2.11% As, 0.94% Cd, 1.83% Cr, 1.18% Cu, 2.30% Hg, 5.26% Mo, 1.83% Ni, 1.32% Pb y 2.54% Zn, volviendo a su estado natural del suelo, para ser aprovechado por cualquier actividad agrícola que se pueda desarrollar.

Asimismo, según Oliveira (2019), se corrobora que la taxonomía de la planta *Eichhornia crassipes*, es Reyno: Plantae, Familia: *Pontederiaceae*, Genero: *Eichhornia*, Clase: *Liliopsida*, División: *Magnoliophyta*. utilizada para remover contaminantes como fueron el Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn en altos porcentajes, donde se logró conocer la efectividad que tuvieron para remover los contaminantes del suelo en cuanto a Cd 19%, Cr 2.7%, Cu 1.9%, Ni 9%, Pb 27%, Zn 90%. Donde al comparar con otras investigaciones según Seshadri et al. (2018), determinaron la

taxonomía de la planta *Brassica juncea*, en cuanto a su Reyno: Plantae, Familia: *Brassicaceae*, Genero: Brassica, Orden: Brassicales. El cual mediante el uso de la planta lograron remover los contaminantes en cuanto a As 5.73%, Cd 8.64%, Pb 11.35%, Hg 13.55%, Cr 7.81%

Asimismo, según su investigación de Chen et al (2021), usaron la especie vegetal *Echinacea purpurea* en la remoción de Cadmio en suelo contaminado por desechos industriales, el vegetal fue clasificado de acuerdo a sus características taxonómicas como Reyno: Plantae, Familia: Asteraceae, Genero: Echinacea, Clase: Magnoliopsida, División: Magnoliophyta. Logrando remover al cadmio (Cd) un 59.40% del total acumulado en el suelo con el uso de Echinacea purpurea así mejorando la calidad del suelo superando su estado natural. Que al comparar con otra investigación según Lin et al. (2021), evaluaron la remoción de cadmio y plomo en suelos contaminados por metals pesados mediante el uso de la especie *Trifolium repens*. Donde se establecieron las características taxonómicas de la planta, Reyno: Plantae, Familia: Faboideae, Genero: Trifolium, Clase: Magnoliopsida, División: Magnoliophyta. Asimismo, este vegetal logró remover los porcentajes de los metales pesados acumulados en los suelos en cuanto a Cadmio fueron de 19.37% y para Plomo 86.53%, fortaleciendo la calidad del suelo para el desarrollo de actividades agrícolas entre otros.

Seguidamente, en su investigación Saleem, et al. (2019), determinaron la remoción del plomo en suelo contaminado mediante el uso de la planta *Helianthus annuus*, para ello establecieron las características taxonómicas de la especie como para el Reyno: Plantae, Familia: Asteraceae, Genero: Helianthus, Clase: Eudicotyledoneae, División: Magnoliophyta. Llegando a lograr una eficiencia de remoción en un 19.46% de plomo que normalmente generaba problemas al suelo por el alto índice de toxicidad. Asimismo, al relacionar con otras investigaciones según Munive et al. (2018), evaluaron el uso de la planta *Zea mays* para la fitorremediación de los suelos contaminados por plomo y cadmio. Establecieron sus características taxonómicas de la planta Reyno: Plantae, Familia: poaceae, Genero: zea, Clase: liliopsida considerando una especie muy eficientes. El cual lograron remover 2 contaminantes como en 80% para plomo y 91% de cadmio que se encontraban perjudicando la fertilidad del suelo.

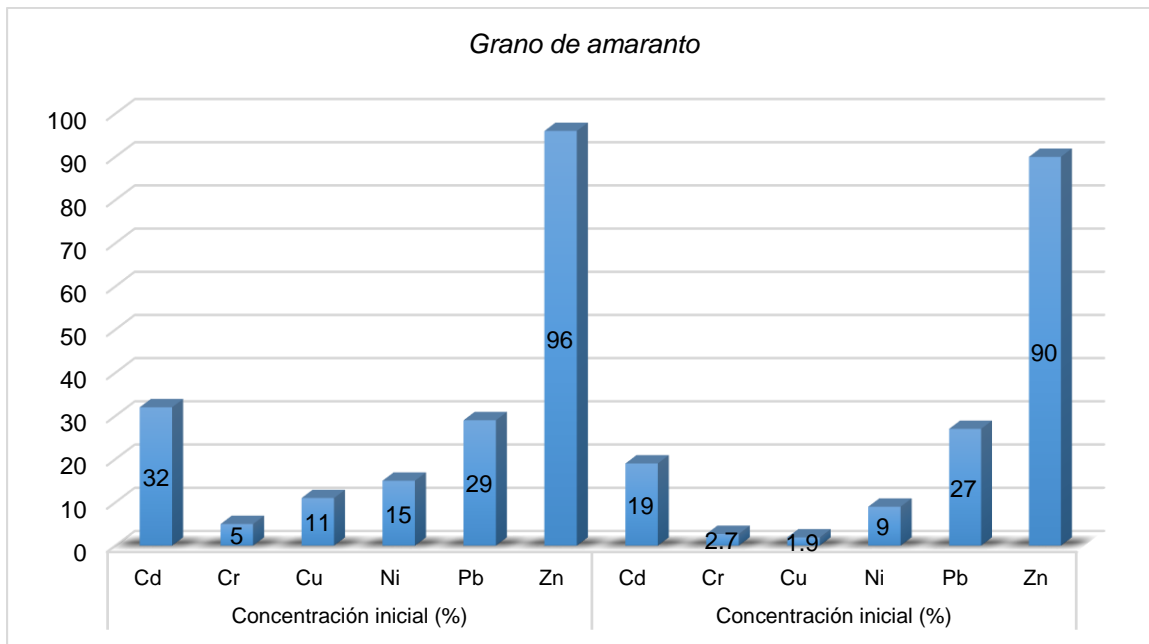


Gráfico 1: Concentración inicial y final de los metales pesados con la especie *Grano de amaranto*.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

El gráfico adjunto, muestra la concentración inicial y final obtenida de la fitorremediación de los metales pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) con la especie *Grano de amaranto*, según CUI, Xiaoying et al (2021) demostró diferencias significativas en la reducción de la concentración en el Cd, Pb y Zn, esta variación se conjetura que se origina por tiempo de crecimiento de la planta, el cual es un factor determinante, a mayor desarrollo, mayor capacidad de remover compuestos contaminantes.

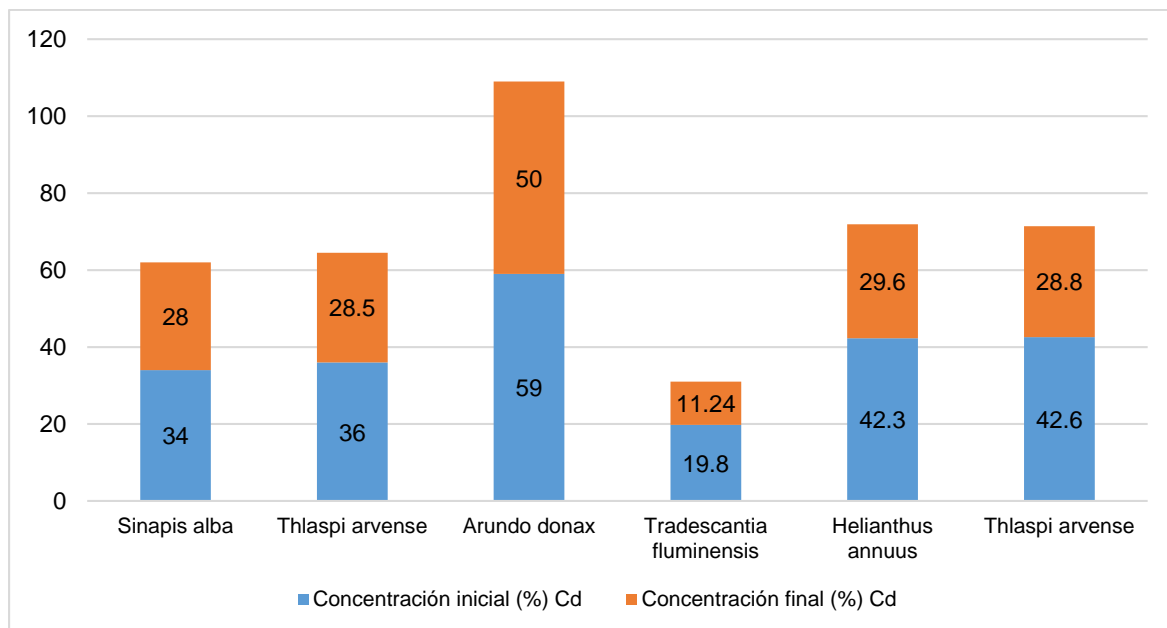


Gráfico 2: Concentración inicial y final del cadmio con diferentes especies de plantas.
Fuente: Elaboración propia, 2022.

El gráfico 2 muestra la concentración inicial y final del cadmio con diferentes especies de plantas, tales como la *Sinapis alba*, *Thlaspi arvense*, *Arundo donax*, *Tradescantia fluminensis*, *Helianthus annuus* y *Thlaspi arvense*, los cuales mostraron diferencias significativas con las especies, *Helianthus annuus* y *Thlaspi arvense*, de los cuales se evidencia casi un 50% de efectividad en la depuración de este metal pesado (Cd), Reátegui y Reátegui (2018) y Drozdova et al. (2019), afirmaron que estas especies son plantas especialistas en remover Cadmio de cualquier tipo de suelo, siendo los más utilizados a nivel mundial para la adsorción de este tipo de contaminante.

OE2: De acuerdo al objetivo 2, el análisis de los procesos de fitorremediación aplicados en la remoción de metales permitió determinar las plantas, tipo de contaminantes, procesos utilizados como (fitorremediación, Fitoextracción, Fitoacumulación y Fitoestabilización), tiempo y la eficiencia, es así que contrastando con Munive et al. (2018), estableció que efectivamente las plantas descritas líneas arriba demostraron una efectividad de 85% en remover metales pesados en hojas mediante el proceso fitoestabilización .

Procesos de Fitorremediación.

Tabla 5: Procesos de fitorremediación en suelos contaminados.

PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN						
Plantas	Tipo de contaminante	Procesos utilizados	Medio contención	Tiempo de remoción	Eficiencia	Referencia
Las plantas fitorremediadoras son la <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Arrhenatherum elatius</i> .	Los contaminantes removidos por las plantas fueron Plomo, Cobre, Zinc, Níquel	Los procesos de fitorremediación fue el aprovechamiento de la capacidad de las plantas mediante la capacidad absorción, seguido de la acumulación, luego metabolismo, para último volatilizarlo o estabilizarlo a los contaminantes que se encontraron presentes en el suelo con metales pesados.	Rizofiltración	El tiempo de remoción abarcó 2 años, una evaluación en el primer año con plantas sin flores y la segunda evaluación en el año 2 cuando las plantas contenían flores.	La eficiencia de remoción de metales para <i>Alopecurus pratensis</i> en las hojas (22.81 mg/kg de Cu, 5.96 mg/kg de Ni, 1.03 mg/kg de Pb, 640 mg/kg de Zn), en la flor (0.83 mg/kg de Cu y 311.8 mg/kg de Zn). Para <i>Arrhenatherum elatius</i> en las hojas (10.81 mg/kg de Cu, 6.50 mg/kg de Ni, 0.92 mg/kg de Pb, 211.5 mg/kg de Zn en la flor (8.23 mg/kg de Ni, 0.17 mg/kg de Pb, 178.1 mg/kg Zn)	Antoniadis, Vasileios et al(2021)
Las plantas usadas en la <i>Thlaspi</i> , <i>Brassica</i> , <i>Sedum alfredii H.</i> y <i>Arabidopsis</i>	Los contaminantes removidos por las plantas fueron Arsénico (As) Cadmio (Cd), Plomo, Cobre (Cu)	En el proceso la planta uso la Fitoextracción, también llamada Fitoacumulación, se empleó por la capacidad de las plantas para absorber y extraer el contaminante del suelo, principalmente Arsénico (As) Cadmio (Cd), Plomo, Cobre (Cu), y llevarlo a acumularlo en sus tallos.	Fitoestabilización	El tiempo empleado para remoción de contaminantes Arsénico (As) Cadmio (Cd), Plomo, Cobre (Cu) curso un tiempo de evaluación de 8 meses de evaluación en los tallos de la planta	La eficiencia de remoción mediante los tallos de las plantas <i>Thlaspi</i> , <i>Brassica</i> , <i>Sedum alfredii H.</i> y <i>Arabidopsis</i> . Frente a los contaminantes As, Cd, Cu en suelos contaminados con concentraciones que oscilan entre 5 y 50 mg/L, y se observó la máxima absorción por las plantas que fue de 26, 108 y 327 mg/kg del contaminante.	IQBAL, Mohammad et al (2018)
Las plantas usadas en la fitorremediación de suelos contaminados son <i>Artemisia capillaris</i> ,	El contaminante evaluado y removido por las plantas es Plomo (Pb)	Los procesos de fitorremediación por la capacidad de las plantas fue absorber, seguido de la acumulación del contaminante plomo en los tallos y hojas que se	Rizofiltración	El tiempo utilizado en la remoción del metal pesado Plomo (Pb) fue de 90 días de acumulación en la planta	La eficiencia de remoción de metales para <i>Artemisia capillaris</i> en los tallos hojas (0.160 mg/kg y 0.040 mg/kg de plomo acumulado. Para <i>Taraxacum mongolicum</i> en los tallos hojas (0.248 mg/kg y 0.010 mg/kg de	Lu, Nan et al (2021)

PROCESOS DE FITORREMEDIACIÓN

Plantas	Tipo de contaminante	Procesos utilizados	Medio contención	Tiempo de remoción	Eficiencia	Referencia
<i>Taraxacum mongolicum</i> , <i>Medicago sativa</i> , <i>Plantago asiatica L.</i>		encontró presentes en el suelo.			plomo acumulado. Para la <i>Medicago sativa</i> en los tallos hojas (0.293 mg/kg y 0.030 mg/kg de plomo acumulado. Para la <i>Plantago asiatica L</i> en los tallos hojas (0.462 mg/kg y 0.020 mg/kg de plomo acumulado	
Las plantas usadas en la investigación en la concentración y acumulación de metales fueron <i>Medicago sativa</i> y <i>Bidens pilosa</i>	El contaminante Cadmio por contar con altas concentraciones en el suelo	Los procesos de fitorremediación por la capacidad de las plantas fue absorber, seguido de la acumulación del contaminante cadmio en las raíces se concentró y brotes se acumuló el metal presente en el suelo.	Fitoestabilización	El tiempo utilizado en la remoción por del cadmio presente en el suelo fue durante un periodo de 60 días	La eficiencia de remoción del cadmio en las raíces y brotes por la planta fueron la <i>Medicago sativa</i> concentración en raíces 66.80±25.1 mg/kg, acumulación en brotes 15.3 y 6.30 mg kg y <i>Bidens pilosa</i> concentración en raíces 40.09±0.02 mg/kg, acumulación en brotes 20. Y 10.5 mg/kg	Shah, V. & Daverey, A. (2021)
Las plantas evaluados para fitorremediar los suelos contaminados fueron la <i>Alternanthera sessilis</i> y <i>Ipomoea aquatica</i>	Los tipo de contaminantes como los metales entre ellos el Plomo (Pb), Cromo (Cr) y Fierro (Fe)	Los procesos de fitorremediación por la capacidad de las plantas fue absorber, los contaminantes en las raíces por tener un alto grado de concentración en el suelo.	Fitoestabilización	El tiempo utilizado en la absorción por del Plomo (Pb), Cromo (Cr) y Fierro (Fe) presentes en el suelo fue durante un periodo de 45 días	La eficiencia de absorción en las raíces por la planta fueron la <i>Alternanthera sessilis</i> (Pb 0,03–0,08 µg/g, Cr 0,001 µg/g y Fe 78–96 µg/g) y <i>Ipomoea aquatica</i> (Pb 30 a 300 µg/g, Cr 199–218 µg/g y Fe 6910– 6105 µg/g)	Mazumdar, Kisholay & DAS, Suchismita (2021)

En este sentido, continuando con el análisis de la Meta 2 del proceso de fitorremediación, Antonia disetal. (2021), utilizando las plantas *Alopecurus pratensis*, *Arrhenatherum elatius*, lograron la remoción de metales de *Alopecurus pratensis* en las hojas a través de un proceso de filtración de la zona radicular para impurezas como plomo, cobre, zinc y níquel (22,81 mg/kg). Cu, 5,96 mg/kg Ni, 1,03 mg/kg Pb, 640 mg/kg Zn), en flores (0,83 mg/kg Cu y 311,8 mg/kg Zn). En el caso de *Arrhenatherum elatius* en las hojas (10,81 mg/kg Cu, 6,50 mg/kg Ni, 0,92 mg/kg Pb, 211,5 mg/kg Zn en las flores (8,23 mg/kg Ni, 0,17 mg/kg Pb, 178,1 mg/kg Zn) Luego, en comparación con otros estudios realizados por Lu, Nan et al (2021), usando plantas de *Artemisia capillaris*, *Taraxacum mongolicum*, *Medicago sativa*, *Plantago asiatica* L y usando filtración de la zona radicular para contaminantes como el plomo. Eficiencia de remoción de metales de *capillaris* (0,160 mg/kg y 0,040 mg/kg de plomo acumulado, Petiol *Taraxacum mongolicum* (0,248 mg/kg y 0,010 mg/kg de plomo concentrado, tallo y hoja de *Medicago sativa*) (Para 0,293 mg/kg y 0,030 mg/kg plomo concentrado), *Plantago asiatica* L en tallos y hojas (0,462 mg/kg y 0,020 mg/kg de plomo concentrado).

Asimismo, en su investigación de Shah y Daverey. (2021), utilizaron las especies vegetales *Medicago sativa* y *Bidens pilosa* para la remoción de Cadmio por contar con altas concentraciones en el suelo, donde la planta utilizó el proceso de Fitoestabilización. Logrando La eficiencia de remoción del cadmio en las raíces y brotes por la planta fueron la *Medicago sativa* concentración en raíces 66.8 y 25.1 mg/kg, acumulación en brotes 15.3 y 6.30 mg/kg y *Bidens pilosa* concentración en raíces 40.09 y 0.02 mg/kg, acumulación en brotes 20.7 y 10.5 mg/kg. Que al igual con otra investigación según Mazumdar y Das. (2021), evaluaron la fitorremediación de los suelos contaminados con las especies *Alternanthera sessilis* y *Ipomoea aquatica*, empleando el proceso de Fitoestabilización. Logrando eficiencia de absorción en las raíces por la planta fueron la *Alternanthera sessilis* (Pb 0,03–0,08 µg/g, Cr 0,001 µg/g y Fe 78–96 µg/g) y *Ipomoea aquatica* (Pb 30 a 300 µg/g, Cr 199–218 µg/g y Fe 6910– 6105 µg/g)

OE3: De acuerdo al objetivo 3, en el análisis de la clasificación y niveles de metales que contaminan los suelos se obtuvo a los tipos de metales, especie, técnica y resultados.

Categoría 3: Clasificación de metales.

Tabla 6: Clasificación de metales removidos por la fitorremediación.

CLASIFICACIÓN DE METALES				
Tipos de metales	Especie	Técnica	Resultados	Referencia
Los tipos de metales que fueron evaluados fueron el Cromo (Cr), plomo (Pb) y el cadmio (Cd)	La especie utilizada para la remoción de los metales del suelo contaminado fue <i>Brassica rapa</i>	Se realizó una fitorremediación de forma Electrofitorremediación de suelos mixtos contaminados	Se logró remover los metales pesados Cromo (Cr), plomo (Pb) y el cadmio (Cd) con la especie <i>Brassica rapa</i> donde 400 mg/kg de Cr, 500 mg/kg de Pb y 50 mg/kg Cd.	Cameselle & Gouveia (2019)
El tipo de metal que fue evaluado consistió en cadmio (Cd)	La especie utilizada para la absorción del metal pesado en el suelo contaminado fue <i>Amaranthus Hypochondriacus</i> L.	Se realizó el experimento de fitoextracción en suelo del campo contaminado con Cd.	Se logró absorber el metal pesado Cadmio (Cd) con la especie <i>Amaranthus Hypochondriacus</i> L. la cantidad de 47 mg/kg Cd.	CUI, Xiaoying et al (2021)
Los tipos de metales que fueron	La especie utilizada en la remoción	La fitorremediación se definió	Se logró remover los metales pesados Cromo Cr, Mercurio	

<p>evaluados fueron el Cromo Cr, Mercurio Hg</p>	<p>de los metales fue la <i>Medicago sativa L.</i></p>	<p>como el uso de la planta para remover los contaminantes del ambiente o hacerlos inocuos</p>	<p>Hg con la especie <i>Medicago sativa L.</i> 182.65 mg/kg de Cr y 4.56 mg/kg Hg.</p>	<p>CHUN, Lou et al (2020)</p>
<p>Los tipos de metales que fueron evaluados son el Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Cobalto (Co)</p>	<p>La especie utilizada en la remoción de los metales fueron la <i>Brassica napus</i>, <i>Elymus elongatus</i> y <i>Zea mays</i></p>	<p>la fitorremediación en base a la biomasa de las partes de la raíces y la capacidad de acumulación de metales, bioacumulación, bioconcentración y traslocación en las partes de las raíces</p>	<p>Se logró concentrar los metales pesados en las raíces de las plantas Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Cobalto (Co) con las especies <i>Brassica napus para Ni un 1.100 mg/kg, Cd 0.27 mg/kg, Co 0.073 mg/kg, Elymus elongatus para Ni un 8.570 mg/kg, Cd 0.330 mg/kg, Co 0.069 mg/kg y Zea mays para Ni un 8.300 mg/kg, Cd 0.160 mg/kg, Co 0.064 mg/kg</i></p>	<p>Lajszne, et al (2021)</p>
<p>Los tipos de metales que fueron evaluados son el Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Cobre</p>	<p>La especie utilizada en la remoción de los metales fue la <i>Salix</i></p>	<p>la fitorremediación en base a la biomasa de las partes de la raíces y la capacidad de</p>	<p>Se logró concentrar los metales pesados en las raíces de las plantas Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb) con la especie <i>Salix</i></p>	<p>XIAO, Jiang et al (2021)</p>

(Cu), Plomo (Pb)	<i>psammophila</i>	acumulación de metales, bioacumulación, bioconcentración de las raíces	<i>psammophila</i> para Zn un 2107.79 mg/kg, Cd 59.02 mg/kg, Co 113.70 mg/kg, Pb 212.24 mg/kg	
Los tipos de metales que fueron evaluados son el Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cromo (Cr)	La especie utilizada en la remoción de los metales fue la <i>Medicago sativa</i>	fitoestabilización Las plantas utilizan principalmente su propio metabolismo, incluida la interacción con los microorganismos, para reparar su entorno ecológico	Se logró concentrar los metales pesados en las raíces de las plantas Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cromo (Cr) con la especie <i>Medicago sativa</i> para Hg un 215 mg/kg, Cd 70.25 mg/kg, Cu 162 mg/kg, Pb 191 mg/kg y Cr 7.4 mg/kg	WEI, Zihan., et al (2021)

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Es así que de acuerdo al objetivo 3, se demuestra que la toxicidad de metales pesados va a depender directamente del tipo de contaminante, la persistencia, la bioacumulación y la biotransformación en el suelo y organismo, el cual origina que se encuentren en ecosistemas por periodos muy largos y prolongados, del mismo modo que su degradación natural se vuelva más difícil, es así que según Cameselle & Gouveia (2019) determinaron la toxicidad y los tipos de metales que fueron evaluados, tales como como el Cromo (Cr), plomo (Pb) y el cadmio (Cd), los cuales demostraron ser persistentes en el suelo y que se bioacumulan, biotransforman al transcurrir el tiempo, además de ser tóxicos para la salud humana en

concentraciones mayor a 0.05 ppm, asimismo, estos metales pesados fueron removidos mediante la técnica de Fitorremediación de forma Electrofitorremediación de suelos mixtos contaminados, lográndose remover los metales pesados Cromo (Cr), plomo (Pb) y el cadmio (Cd) con la especie *Brassica rapa* donde 400 mg/kg de Cr, 500 mg/kg de Pb y 50 mg/kg Cd, al contrastar con otras investigaciones en cuanto a Chun et al (2020), determinaron los tipos de metales que fueron evaluados como el Cromo Cr, Mercurio Hg, usando la técnica de fitorremediación se definió como el uso de la planta para remover los contaminantes del ambiente o hacerlos inocuos, Logrando remover los metales pesados Cromo Cr, Mercurio Hg con la especie *Medicago sativa L.* donde, 182.65 mg/kg de Cr y 4.56 mg/kg Hg.

Asimismo, según Lajszne et al (2021), determinaron los tipos de metales que fueron evaluados son el Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Cobalto (Co). Usaron una técnica de la fitorremediación en base a la biomasa de las partes de las raíces y la capacidad de acumulación de metales, bioacumulación, bioconcentración y traslocación en las partes de las raíces, logrando una eficiencia de concentrar los metales pesados en las raíces de las plantas Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Cobalto (Co) con las especies *Brassica napus* para Ni un 1.100 mg/kg, Cd 0.27 mg/kg, Co 0.073 mg/kg, *Elymus elongatus* para Ni un 8.570 mg/kg, Cd 0.330 mg/kg, Co 0.069 mg/kg y *Zea mays* para Ni un 8.300 mg/kg, Cd 0.160 mg/kg, Co 0.064 mg/kg. Al igual con su investigación Wei et al (2021), evaluaron los tipos de metales como el Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cromo (Cr), utilizando la técnica de Fitoestabilización con plantas principalmente su propio metabolismo, agregado a la interacción con los microorganismos, para recuperar su entorno ecológico, logrando eficiencia en remover metales pesados en las raíces de las plantas Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cromo (Cr) con la especie *Medicago sativa* para Hg un 215 mg/kg, Cd 70.25 mg/kg, Cu 162 mg/kg, Pb 191 mg/kg y Cr 7.4 mg/kg.

Tabla 7: Clasificación de metaloides removidos por la fitorremediación.

CLASIFICACIÓN DE METALOIDES				
Tipos de metales	Especie	Técnica	Resultados	Referencia
Los tipos de metaloides que fueron evaluados fueron el Arsénico As, Antimonio Sb	La especie utilizada en la remoción de los metaloides fue la <i>Medicago sativa L.</i>	La fitorremediación se definió como el uso de la planta para destruir los contaminantes del ambiente o hacerlos inocuos	Se logró remover los metaloides, tales como Arsénico (As), Antimonio (Sb), con la especie <i>Medicago sativa L.</i> donde 150.36 mg/kg de As, 182.65 mg/kg de Sb.	CHUN, Lou et al (2020)
Los tipos de metaloides que fueron evaluados son Boro B y Astató At	La especie utilizada en la remoción de los metaloides fue la <i>Salix psammophila</i>	La fitorremediación en base a la biomasa de las partes de las raíces y la capacidad de acumulación de los metaloides se dio en la bioacumulación, bioconcentración de las raíces	Se logró concentrar los metaloides en las raíces de las plantas Boro (B) y Astató (At) con la especie <i>Salix B</i> de un 3205.04 mg/kg y At 75.09 mg/kg	XIAO, Jiang et al (2021)

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Del mismo modo, con el desarrollo de la investigación según CHUN, Lou et al (2020) determinaron los tipos de metaloides que fueron evaluados como el Arsénico (As) y el Antimonio (Sb). Siendo removidos mediante la técnica de fitorremediación de forma Electrofitoremediación de suelos mixtos contaminados, lográndose remover los metales pesados con la especie *Brassica rapa* donde 150.36 mg/kg de

As, 500 mg/kg y de Antimonio 182.65 mg/kg, al contrastar con otras investigaciones en cuanto a Chun et al (2020), determinaron que no existen muchas investigaciones referentes a la fitorremediación de metaloides, por tratarse de compuestos no muy tóxicos para el suelo y ambiente en general. Chun et al (2020)

Finalmente, mediante el desarrollo de su investigación de XIAO, Jiang et al (2021) establecieron 2 tipos de metaloides removidos, siendo el Boro (B) y el Astatato (At), con la especie *Salix B* de un 3205.04 mg/kg para B y At 75.09 mg/kg. De igual modo afirma que existen pocas o nulas investigaciones con metaloides, por ser de poco interés ambiental.

Categoría 4: Modelos de Fitorremediación.

Tabla 8: Modelos de fitorremediación para suelos contaminados.

MODELOS DE FITORREMEDIACIÓN				
Modelos	Discusión	Tipo de contaminantes	Resultados	Fuente
<p>Modelo de adsorción de Langmuir, se calculó La cantidad de iones metálicos adsorbidos mediante la fórmula:</p> $\rho = \frac{\rho_m * K_l * C}{(1 + K_l * C)}$ <p>Asimismo, se calculó la Su relación lineal en la fórmula:</p> $\frac{C}{\rho} = \frac{1}{(\rho_m * K_l)} + \left(\frac{C}{\rho_m}\right)$ <p>Estimando que ρ = La cantidad de iones absorbidos por el sorbente (mg/g), ρ_m = La concentración de metal requerida para la formación de</p>	<p>Que mediante el uso de las plantas con la especie <i>Ricinus communis</i> para Cadmio un 30 mg/kg, para Helianthus annus Cr 0.1 mg/kg, para la panta Brassica napus Zn 4.30 mg/kg⁻¹</p>	<p>Determina la conducta favorable de adsorción cuando los ácidos están en solución acuosa, teniendo la ventaja de poder seleccionar el adsorbente adecuado, a condiciones establecidas.</p> <p>Los contaminantes evaluados Cadmio (Cd) por la planta</p>	<p>Se determinó el porcentaje de acumulación en los brotes de las plantas que para la especie <i>Ricinus communis</i> para Cadmio un 30 mg/kg, para Helianthus annus Cr 0.1 mg/kg, para la panta Brassica napus Zn 4.30 mg/kg</p>	<p>Kumar, et al., 2018. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126489</p>

<p>una capa (mg/g), C, Co= son las concentraciones iniciales y restantes de metales disueltos (mg/L), K_l = La constante de equilibrio en Langmuir depende de la absorción energía (mg/L)</p>		<p>Ricinus communis mediante la fitoextracción en brotes, Cromo (Cr) por la planta Helianthus annuus mediante fitoextracción brotes, Zinc (Zn) por la planta Brassica napus mediante la fitoextracción brotes</p>		
<p>Se utilizó el modelo de captación de metales pesados sigmoides con la el uso de la fórmula:</p> $M_{HM\ plant} = \frac{M_{max}}{1 + e^{-K_M(t - t_{0.5M})}}$ <p>* C_{HM SOIL} * BAF_{HM} M_{max}= La biomasa vegetal</p>	<p>Mediante el uso de la planta con la especie <i>Helianthus annuus</i> L. para Cadmio un 33.22 mg kg⁻¹, Níquel 6.55 mg kg⁻¹, Plomo 370.15 mg</p>	<p>Se utiliza para referirse a la captación de metales que lleva a cabo una biomasa completa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como</p>	<p>Se logró el porcentaje de acumulación en la raíz de la planta <i>Helianthus annuus</i> L. para Cadmio un 33.22 mg/kg, Níquel 6.55 mg/kg, Plomo 370.15 mg/kg, Zn 218.34 mg/kg.</p>	<p>Zhao et al., 2019</p>

<p>máxima (g), K_M = constante que determina la curvatura del patrón de crecimiento sigmoide, t = tiempo (días), $t_{0.5}$ = es el tiempo de inflexión en el que la tasa de crecimiento alcanza la mitad de valor máximo, BAF = factor de bioacumulación de un metal dado, $C_{HM\ SOIL}$ = concentración de metales pesados es suelo, $M_{HM\ plant}$ = concentración de metales pesados en la planta</p>	<p>kg⁻¹, Zn 218.34 mg kg⁻¹</p>	<p>la adsorción o el intercambio iónico. Los contaminantes evaluados fueron Cadmio (Cd), Níquel (Ni), plomo (Pb) Zinc (Zn) por la planta <i>Helianthus annuus</i> L.</p>		
<p>El modelo usado fue una metodología de superficie de respuesta (RSM) y una red neuronal artificial (ANN) en la fórmula:</p> $MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{i,e} - Y_{i,p})^2$	<p>Método estadístico que usa información cuantitativa de experimentos apropiados para determinar y</p>	<p>Los contaminantes evaluados fueron Cadmio (Cd), Níquel (Ni), por la planta de sorgo.</p>	<p>Se logró el porcentaje de acumulación en la raíz de la planta Sorgo para para Cadmio un 42.43 mg/kg, Níquel 28.3 mg/kg.</p>	<p>Fonseca et al., 2018</p>

$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_{i,e} - Y_{i,p} $ <p>Y_{i,e} es el valor experimental del i-ésimo experimento, Y_{i,p} es el valor predicho del i-ésimo Experimento por el modelo, MAE: es una puntuación lineal, MSE da un peso relativamente alto a los errores grandes.</p>	<p>resolver ecuaciones multivariantes. Mediante el uso de la planta con la especie Sorgo. para Cadmio un 42.43 mg kg⁻¹, Níquel 28.3 mg kg⁻¹</p>			
<p>Se utilizó el modelo de captación de metales pesados sigmoides con la el uso de la fórmula:</p> $M_{HM\ plant} = \frac{M_{max}}{1 + e^{-K_M(t - t_{0.5M})}}$ <p>* C_{HM SOIL} * BAF_{HM}</p> <p>M_{max}= La biomasa vegetal máxima (g), K_M = constante que determina la curvatura del</p>	<p>Mediante el uso de la planta con la especie Sorgo. para Mercurio (Hg) un 4.21 mg/kg, Plomo 26.7 mg/kg</p>	<p>Los contaminantes evaluados fueron Mercurio (Hg), Plomo (Pb), por la planta <i>Cajanus cajan</i>.</p>	<p>Se logró determinar el porcentaje de acumulación en la raíz de la planta <i>Cajanus cajan</i> para Mercurio (Hg) un 4.21 mg/kg, Plomo 26.7 mg/kg.</p>	<p>Jerez et al., 2018</p>

<p>patrón de crecimiento sigmoide, t = tiempo (días), $t_{0.5}$ = es el tiempo de inflexión en el que la tasa de crecimiento alcanza la mitad de valor máximo, BAF = factor de bioacumulación de un metal dado, $C_{HM\ SOIL}$ = concentración de metales pesados es suelo, $M_{HM\ plant}$ = concentración de metales pesados en la planta</p>				
---	--	--	--	--

Fuente: Elaboración propia, 2022.

OE4: En el análisis de los Modelos de fitorremediación aplicados para predecir proceso de fitorremediación por metales pesados en suelos se obtuvieron los modelos, tipos de contaminantes y los resultados, de los cuales los cuales los modelos más utilizados por su eficiencia fueron el modelo de Langmuir, el de captación de metales pesados sigmoides, los cuales adsorbieron y eliminaron los metales pesados, es así que, realizando el contraste con autores, se obtiene que según Dobrosz et al., (2018), los modelos de Langmuir y Freundlich son de las más frecuentemente utilizadas por su efectiva capacidad de capturar y remover metales pesados del suelo, teniendo un porcentaje de eficiencia del 80 %.

Continuando con el OE 4, se tiene que en el presente estudio se encontró que el modelo de Langmuir, es el más trascendental por ser uno de los modelos fenomenológicos más poderosos y descriptivos del proceso de adsorción, asimismo al realizar el contraste con Cáceres (2020), estableció que el equilibrio de adsorción se ajustó de manera óptima al modelo de Langmuir, con una capacidad máxima de remoción de 103,09 mg/g, del mismo modo agrega que la adsorción fue muy rápida en los primeros 15 min logrando el equilibrio a partir de los 25 min.

OG: De acuerdo al objetivo general, la evaluación de los modelos usados en la fitorremediación en suelo contaminados por metales pesados.

Tabla 9: Modelos usados en la fitorremediación.

Modelos usados en la fitorremediación			
Tipo de modelos	Metales pesados	Eficiencia	Fuentes
<p>El modelo usado fue la captación sigmoide de metales pesados, de terminado por la siguiente formula:</p> $C_{Hojas} = \left(\frac{Ber * Brs * Bsl * Cs}{K_{ew}} + \frac{Bal * Ktw * C}{K_{aw}} \right) * \frac{M_i}{P_i}$ <p>El cual calcular los porcentajes de los metales pesados acumulados en los tejidos de las plantas usadas en la fitorremediación.</p>	<p>Los metales evaluados fueron Mn, Cd, Cu, Fe, Pb, and Zn</p>	<p>Mediante la estimación y cálculos adecuados lograron demostrar los porcentajes removidos en cuanto al Cadmio un 67%, Cobre un 56%, Fierro un 85%, plomo un 36% y zinc un 65% de eficiencia por la planta <i>Helianthus</i></p>	<p>Jaskulak et al. 2020</p>

		<i>annuus</i> L en suelos contaminados	
<p>Utilizaron el modelo Freundlich con la siguiente formula:</p> $ME = 1 - \left(\frac{\sum (C_{model} - C_{measured})^2}{(model - C)^2} \right)$ <p>para determinar la cantidad de metales pesados acumulados en los tejidos de la planta <i>Ricinus communis</i> en suelos contaminados por desechos de minería.</p>	Los metales pesados evaluados fueron el Cadmio, Zinc y plomo acumulados en los suelos.	Lograron conocer la cantidad de remoción de metales pesados mediante el modelo Freundlich, en cuanto al cadmio tuvieron una eficiencia de 80%, Zinc 80% y plomo un 42% del total de los contaminantes acumulados en el suelo.	Grobelak et al. 2020
<p>El modelo que usaron fue Langmuir a través de la formula:</p> $\rho = \left(\frac{\rho_m * K_1 * C}{1 + K_1 * C} \right)$ <p>La cual fue fundamental para determinar la cantidad de remoción de los contaminantes del suelo.</p>	Los metales evaluados fueron el cadmio, plomo y cromo acumulados en el suelo.	Se logró conocer la eficiencia de remoción de metales pesados a través del del modelo Langmuir en la fitorremediación con la especie <i>Brassica napus</i> en cuanto al cadmio un 25%, plomo un 37% y plomo un 76%.	Vandelbucke et al. 2019
<p>Los modelos usados fueron el Phyto-DSS en la siguiente formula:</p> $M \propto \int_0^t T dt \propto [C]$ <p>Para determinar la cantidad de metales pesados depositados</p>	Los metales evaluados fueron el fierro, manganeso, cobre y Níquel	Lograron remover los porcentajes de los metales pesados acumulados en los suelos como para el Fe un 45%, Mn un 65%, Cu un 32% y Ni	Fan et al. 2018

en los suelos por actividades industriales.		un 87% de eficiencia de remoción.	
Usaron el modelo de consumo de metal pesado a través de la formula: $M_{HM\ plant} = \frac{M_{max}}{1+e^{-km(t-t_{0.5M})}} * C_{HM\ soil} * BAF_{HM}$ en la remoción del contaminante arsénico en suelos contaminados por relaves mineros.	El metal pesado evaluado fue el arsénico (As)	Mediante la fitorremediación y remediación de los suelos contaminados se logró una eficiencia de remoción de arsénico (As) en un 85%	Han et al. 2018

De acuerdo al objetivo general, se tiene que en cuanto a Jaskulak et al. (2020), emplearon un modelo sigmoide para la captación de metales pesados, de terminado por la siguiente formula: $C_{Hojas} = \left(\frac{Ber * Brs * Bsl * Cs}{K_{ew}} + \frac{Bal * Ktw * C}{K_{aw}} \right) * \frac{M_i}{P_i}$ El cual calcular los porcentajes de los metales pesados acumulados en los tejidos de las plantas usadas en la fitorremediación. Logrando la estimación y cálculos adecuados los porcentajes removidos en cuanto al Cadmio un 67%, Cobre un 56%, Fierro un 85%, plomo un 36% y zinc un 65% de eficiencia por la planta *Helianthus annuus* L en suelos contaminados. Al igual que en su investigación de Zhao et al. (2019), usaron el modelo de captación de metales pesados sigmoides con la el uso de la fórmula: $M_{HM\ plant} = \frac{M_{max}}{1+e^{-K_M(t-t_{0.5M})}} * C_{HM\ SOIL} * BAF_{HM}$ Donde la M_{max} = La biomasa vegetal máxima , K_M = constante que determina la curvatura del patrón de crecimiento sigmoide, t = tiempo (días), $t_{0.5}$ = es el tiempo de inflexión en el que la tasa de crecimiento alcanza la mitad de valor máximo, BAF = factor de bioacumulación de un metal dado, $C_{HM\ SOIL}$ = concentración de metales pesados es suelo, $M_{HM\ plant}$ = concentración de metales pesados en la planta. El cual logró remover los porcentajes de metales pesados por acumulación en la raíz de la planta *Helianthus annuus* L. para Cadmio un 33.22 mg/kg, Níquel 6.55 mg/kg, Plomo 370.15 mg/kg, Zn un 218.34 mg/kg.

Asimismo, en cuanto a su investigación Grobelak et al. (2020), Utilizaron el modelo

Freundlich con la siguiente formula: $ME = 1 - \left(\frac{\sum (C_{model} - C_{measured})^2}{(model - C)^2} \right)$ para determinar la cantidad de metales pesados acumulados en los tejidos de la planta *Ricinus communis* en suelos contaminados por desechos de minería. Logrando conocer la cantidad de remoción de metales pesados mediante el modelo Freundlich, en cuanto al cadmio tuvieron una eficiencia de 80%, Zinc 80% y plomo un 42% del total de los contaminantes acumulados en el suelo. Al igual que otras investigaciones como Kumar, et al. (2018), usaron el modelo de adsorción de Langmuir, se calculó La cantidad de iones metálicos adsorbidos mediante la fórmula: $\rho = \frac{\rho_m * K_l * C}{(1 + K_l * C)}$ Asimismo, se calculó la Su relación lineal en la fórmula: $\frac{C}{\rho} = \frac{1}{(\rho_m * K_l) + \left(\frac{C}{\rho_m}\right)}$ Donde llegaron a estimar que $\rho =$ La cantidad de iones absorbidos por el sorbente (mg/g), $\rho_m =$ La concentración de metal requerida para la formación de una capa (mg/g), C, Co= son las concentraciones iniciales y restantes de metales disueltos (mg/L), $K_l =$ La constante de equilibrio en Langmuir depende de la absorción energía (mg/L). Logrando conocer el porcentaje de acumulación en los brotes de las plantas que para la especie *Ricinus communis* en cuanto al cadmio un 30 mg/kg, para *Helianthus annuus* Cr 0.1 mg/kg, para la panta *Brassica napus* Zn 4.30 mg/kg.

V. CONCLUSIONES

OE1: Mediante la fitorremediación se conocieron los tipos de plantas usadas en los suelos contaminados por metales pesados, tales como el *Grano de amaranto*, *Echinacea purpurea*, *Medicago sativa*, *Pasto vetiver*, *Zea mays*, *Trébol Blnaco*, *Mostaza inidia*, *Alopecurus pratensis*, *Arrhenatherum elatius*), siendo las más usadas en el mundo científico

OE2: Mediante el uso de plantas en la fitorremediación de los suelos contaminados por metales pesados se consideraron los procesos de fitorremediación usados como Fitoextracción, Fitoacumulación, Fitoimmobilización, Rizofiltración, Fitodegradación y Fitoestabilización. Empleados por la planta en las raíces, tallos y hojas acumulando a los metales pesados absorbidos por el vegetal.

OE3: Mediante la fitorremediación por uso de especies vegetales se conocieron los principales metales pesados removidos tales como el cadmio (Cd), plomo (Pb), cromo (Cr), mercurio (Hg), zinc (Zn), cobalto (Co), cobre (Cu), arsénico (As), siendo estos los más persistentes y que son fácilmente removidos en grandes concentraciones por las plantas fitorremediadoras.

OE4: En la fitorremediación los modelos más usados en la remoción de los metales pesados fueron Modelo de adsorción de Langmuir, modelo de captación de metales pesados sigmoides, modelo de superficie de respuesta (RSM) aplicados en adsorción y la captación de los iones de los metales, acumulación y bioacumulación en los tejidos de las plantas como la raíz, tallos y hojas.

OG: Mediante el desarrollo de la investigación se conocieron los modelos usados como modelo sigmoide, modelo Freundlich modelo Langmuir en la determinación de la cantidad de porcentajes de remoción de los metales pesados como cadmio un 67%, plomo un 36%, cobre un 56% acumulados en el suelo mediante el uso de especies vegetales que absorbieron a los contaminantes y los acumularon en los tejidos de las plantas.

VI. RECOMENDACIONES

OE1: Se recomienda a los estudiantes seguir investigando más sobre plantas fitorremediadoras en los suelos contaminados con metales pesados, con la finalidad de plantear alternativas que permitan reducir estos contaminantes que ponen en riesgo la calidad del suelo y la biodiversidad de especies que habitan en el planeta tierra.

OE2: Se recomienda a las instituciones públicas y privadas realizar más investigaciones y estudios sobre los diversos procesos de fitorremediación aplicados en la remoción, del mismo modo incentivar a las autoridades a realizar viveros de estas especies para que se utilicen como fitorremediadoras de suelos.

OE3: Se recomienda a la universidad Cesar Vallejo ahondar más estudios a los tesisistas en otros tipos de metales pesados que pueden ser removidos por las especies vegetales con capacidad de efecto remediador.

OE4: Se recomienda a la universidad Cesar Vallejo, para los tesisistas profundizar en los modelos de fitorremediación de metales pesados aplicados, conocer y saber todos los existente, para que de tal forma se apliquen en investigaciones experimentales.

OG: A los alumnos de diferentes universidades que usan modelos de fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados enriquecer esta investigación con otros modelos empleados por diferentes autores

REFERENCIAS

1. ARTHUR, Ellen et al. Phytoremediation—An Overview [En Línea] *Critical Reviews in Plant Sciences* Volume 24, 2019 - Issue 2, [Fecha de consulta: 10 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1080/07352680590952496>.
2. ALI, Aqib et al. Ornamental plants for the phytoremediation of heavy metals: Present knowledge and future perspectives [En Línea] *Environmental Research* Volume 195, April 2021, 110780, [Fecha de consulta: 10 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110780>. ISSN: 110-780
3. ALI, Daniah et al., Utilisation of an aquatic plant (*Scirpus grossus*) for phytoremediation of real sago mill effluent [En Línea] *Environmental Technology & Innovation* Volume 19, August 2020, 101033 [Fecha de consulta: 28 de febrero de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101033>
4. ANTONIADIS Vasileios et al. Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil [En Línea] *Environment International* Volume 146, January 2021, 106233, [Fecha de consulta: 10 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106233>. ISSN: 106-233
5. ASUNCIÓN Y RONDO. Efectividad de las técnicas de biorremediación en suelos contaminados con metales pesados usando microorganismos [En Línea] Universidad César Vallejo, 2021 [Fecha de consulta: 10 de enero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/81191>
6. BARBOSA, Érica et al. *Alcaligenes faecalis* associated with *Mimosa calodendron* rhizosphere assist plant survival in arsenic rich soils [En Línea] *Journal of soil science and plant nutrition* On-line version, 2021 ISSN 0718-9516 , [Fecha de consulta: 10 de enero de 2022] Disponible: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400019>
7. BAÑUELOS, G & TERRY N. *Phytoremediation of Contaminated Soil and Water* [En Línea] Published June 19, 2019 by CRC Press, [Fecha de consulta:

10 de enero de 2022] Disponible: www.routledge.com/Phytoremediation-of-Contaminated-Soil-and-Water/Terry-Banuelos/p/book/9780367399436

8. Boros-Lajszner, E., Wyszowska, J. y Kucharski, J. (2019). Application of white mustard and oats in the phytostabilisation of soil contaminated with cadmium with the addition of cellulose and urea. *Journal of Soils and Sediments*, 20, 931-942. doi:10.1007/s11368-019-02473-6
9. CAO, Xuerui et al. Phytoremediation of Cd-contaminated farmland soil via various *Sedum alfredii*-oilseed rape cropping systems: Efficiency comparison and cost-benefit analysis [En Línea] *Journal of Hazardous Materials* Volume 419, 5 October 2021, 126489, Fecha de consulta: 13 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126489>. ISSN: 126-489
10. CAMESELLE C. & GOUVEIA S. Phytoremediation of mixed contaminated soil enhanced with electric current [En Línea] *Journal of Hazardous Materials* Volume 361, 5 January 2019, Pages 95-102, Fecha de consulta: 13 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.062>
11. Cay, S., Engin, M., Uyanik, A., Cay, C. y Guney, S. (2019). Phytoremediation of cadmium in soil and hydroponics by *Tradescantia fluminensis*. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 14(2), 269-274. doi:10.26471/cjees/2019/014/078
12. COYAGO, L. Determinación de organoclorados por bioacumulación en dos especies vegetales (*Lactuca sativa* L) y (*Medicago sativa*) en procesos de fitorremediación en suelos agrícolas en la parroquia de Perucho del D.M.Q. en el periodo de marzo 2019 – febrero 2020. [En Línea] Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC) [Fecha de consulta: 13 de enero de 2022] Disponible: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6779>
13. CUI, Xiaoying et al. Phytoremediation of cadmium contaminated soils by *Amaranthus Hypochondriacus* L.: The effects of soil properties highlighting cation exchange capacity [En Línea] *Chemosphere* Volume 283, November 2021, 131067, Fecha de consulta: 15 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131067>. ISSN: 131-067

14. CHEN, Jianjun et al. Enhanced phytoremediation of PAHs and cadmium contaminated soils by a Mycobacterium [En Línea] Science of The Total Environment Volume 754, 1 February 2021, 141198, [Fecha de consulta: 14 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141198>. ISSN: 141-198
15. CHENG, Shuiping. Metales pesados en plantas y fitorremediación [En Línea] Investigación en Ciencias Ambientales y Contaminación volumen 10, paginas 335–340 (2018) [Fecha de consulta: 14 de enero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1065/espr2002.11.141.3>. ISSN: 335–340.
16. CHUN, Lou et al. The effect of sodium hydrogen phosphate/ citric acid mixtures on phytoremediation by alfalfa & metals availability in soil [En Línea] Journal of soil science and plant nutrition On-line version, 2020 ISSN 0718-9516 , [Fecha de consulta: 10 de enero de 2022] Disponible: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162011000200008>
17. Cristaldi, A., Oliveri, G., Cosentino, S., Mauromicale, G., Copat, C., Grasso, A., Ferrante, M. (2020). Phytoremediation potential of *Arundo donax* (Giant Reed) in contaminated soil by heavy metals. Environmental Research, 185. doi:10.1016/j.envres.2020.109427
18. Drozdova, I., Alekseeva-Popova, N., Dorofeyev, V., Bech, J., Belyaeva, A. y Roca, N. (2019). A comparative study of the accumulation of trace elements in Brassicaceae plant species with phytoremediation potential. Applied Geochemistry, 108. doi:10.1016/j.apgeochem.2019.104377
19. FONSECA, Kalina. Phytoremediation of arsenic-contaminated waters by artificial floating island: Literature review [En Línea] Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), 2021 [Fecha de consulta: 10 de enero de 2022] Disponible: DOI:10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n1.10
20. FREIRE, Susana y URTUBEY, Estrella. Sistemática de Embryophyta [En Línea] libro de catedra, Universidad Nacional de la Plata, 2019 [Fecha de consulta: 28 de febrero de 2022] Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/301099926.pdf>

21. GU, Haiping et al. Perspectives on phytoremediation of zinc pollution in air, water and soil [En Línea] Sustainable Chemistry and Pharmacy Volume 24, December 2021, 100550 [Fecha de consulta: 13 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100550>. ISSN: 100-550
22. HERNANDEZ, Ismael et al. Fitorremediación de un suelo contaminado con petróleo extra pesado con *Megathyrsus maximus* [En Línea] Rev. Int. Contam. Ambie. 33 (3) 495-503, 2017 [Fecha de consulta: 14 de enero de 2022] Disponible: DOI: 10.20937/RICA.2017.33.03.12
23. HERNÁNDEZ & HERNÁNDEZ. Metodología de la investigación, 2014 [Fecha de consulta: 12 de enero de 2022] Disponible en: https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf
24. IQBAL, Mohammad et al. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: Progresses and perspectives [En Línea] Review Published: 19 March 2018 [Fecha de consulta: 16 de enero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1631/jzus.B0710633>
25. INTAGRI. ¿Sistema Radical o Sistema Radicular?. Serie Suelos Núm. 34. México [En Línea] Artículos Técnicos [Fecha de consulta: 16 de enero de 2022] Disponible: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/sistema-radical-o-sistema-radicular>
26. JASKULAK, Marta et al. Modelling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy metals e Main opportunities, limitations, decision making and future prospects [En línea] Chemosphere – volume 249, 2020 [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126196>
27. JEREZ, J. & ROMERO, R. Evaluation of *Cajanus cajan* (pigeon pea) for phytoremediation of landfill leachate containing chromium and lead [En Línea] International Journal of Phytoremediation Volume 18, 2018 - Issue 11 [Fecha de consulta: 15 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1080/15226514.2016.1186592>

28. JASKULAK, Marta. Modelling assisted phytoremediation of soils contaminated with heavy metals e Main opportunities, limitations, decision making and future prospects [En Línea] Chemosphere Accepted 11 February 2020 [Fecha de consulta: 22 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126196>
29. KUMAR, Vinod et al. Heavy metal uptake by water lettuce (*Pistia stratiotes* L.) from paper mill effluent (PME): experimental and prediction modeling studies [En Línea] Environ Sci Pollut Res Int 2019 May 26 (14):14400-1441 [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: DOI: 10.1007/s11356-019-04766-2
30. KHALID, Muhammad et al. Advances in fungal-assisted phytoremediation of heavy metals: A review [En Línea] Pedosphere Volume 31, Issue 3, June 2021, Pages 475-495, [Fecha de consulta: 12 de Enero de 2022] Disponible: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(20\)60091-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(20)60091-1)
31. LU, Nan et al. Phytoremediation Potential of Four Native Plants in Soils Contaminated with Lead in a Mining Area [En Línea] Land 2021, 10(11), 1129, [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.3390/land10111129>
32. LAJSZNER, Edyta et al. Phytoremediation of soil contaminated with nickel, cadmium and cobalt [En Línea] International Journal of Phytoremediation Volume 23, 2021 - Issue 3 [Fecha de consulta: 12 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1807907>
33. LIN, Hai et al. *Trifolium repens* L. regulated phytoremediation of heavy metal contaminated soil by promoting soil enzyme activities and beneficial rhizosphere associated microorganisms [En Línea] Journal of Hazardous Materials Volume 402, 15 January 2021, 123829 [Fecha de consulta: 14 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123829>. ISSN: 123-829
34. LIU, Jiany et al. Phytoremediation of contaminated soils using ornamental plants [En Línea] Environmental Reviews 14 September 2018 [Fecha de

consulta: 14 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1139/er-2017-0022>

35. MARTÍNEZ, Marta et al. Soil fungal diversity and functionality are driven by plant species used in phytoremediation [En Línea] *Soil Biology and Biochemistry* Volume 153, February 2021, 108102 [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108102>. ISSN: 108-102
36. MARTINEZ, Luis. Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación [En Línea] Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: <https://docplayer.es/152571252-Universidad-nacional-de-san-agustin-de-arequipa-escuela-de-posgrado-unidad-de-posgrado-de-la-facultad-de-ciencias-naturales-y-formales.html>
37. MAHAJAN, P. & KAUSHAL, J. Role of Phytoremediation in Reducing Cadmium Toxicity in Soil and Water [En Línea] *Review Article Open Access* Volume 2018 [Article ID 4864365 [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1155/2018/4864365>
38. MOHAMMADI, farzaneh et al. Modelling and optimizing pyrene removal from the soil by phytoremediation using response surface methodology, artificial neural networks, and genetic algorithm [En Línea] *Chemosphere* 2019 Dec;237:124486. [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.124486
39. MUNIVE, Rubén et al. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de *Stevia* en suelos degradados por contaminación con metales pesados [En Línea] *Scientia Agropecuaria* [online]. 2018, vol.9, n.4, pp.551-560. ISSN 2077-9917 [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11>.
40. MAZUMDAR, Kisholay & DAS, Suchismita. Phytoremediation of soil treated with metalliferous leachate from an abandoned industrial site by *Alternanthera sessilis* and *Ipomoea aquatica*: Metal extraction and biochemical responses

[En Línea] Ecological Engineering Volume 170, November 2021, 106349, [Fecha de consulta: 15 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106349>. ISSN: 106 349

41. MU, Yei. Phytoremediation of secondary saline soil by halophytes with the enhancement of γ -polyglutamic acid [En Línea] Chemosphere Volume 285, December 2021, 131450 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131450>
42. OLIVEIRA, Helena. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology [En Línea] Vol. 6 No. 3, Issue of December 15, 2019 [Fecha de consulta: 13 de Enero de 2022] Disponible: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071734582003000300012&script=sci_arttext.
43. QIN, Yiting et al. Influence of Planting Density on the Phytoremediation Efficiency of *Festuca arundinacea* in Cd-Polluted Soil [En Línea] Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology Published: 08 April 2021 Fecha de consulta: 16 de enero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00128-021-03173-z>
44. Reategui, L. y Reátegui, C. (2018). Capacidad de absorción del *Helianthus annuus* en suelos agrícolas contaminados con cadmio (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Callao, Callao.
45. ROSSI, Lorenzo et al. Using artificial neural network to investigate physiological changes and cerium oxide nanoparticles and cadmium uptake by *Brassica napus* plants [En Línea] Environ Pollut 2019 Mar;246:381-389 [Fecha de consulta: 16 de enero de 2022] Disponible: DOI: 10.1016/j.envpol.2018.12.029
46. SALEEM, Muhammad et al. Evaluation of lead tolerant plant growth promoting rhizobacteria for plant growth and phytoremediation in lead contamination [En Línea] Rev. Int. Contam. Ambie. 35 (4) 999-1009, 2019, [Fecha de consulta: 16 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.18>
47. SESHADRI B, et al. Rhizosphere-induced heavy metal(loid) transformation in relation to bioavailability and remediation [En Línea] Journal of soil science

and plant nutrition On-line version ISSN 0718-9516, 2018 [Fecha de consulta: 11 de enero de 2022] Disponible: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000043>

48. SRIYANTHI, Sumudu et al. Comparative phytoremediation potentials of *Impatiens balsamina* L. and *Crotalaria retusa* L. for soil contaminated with used lubricating oil [En Línea] *Environmental Advances* Volume 5, October 2021, 100095, 9516 [Fecha de consulta: 17 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100095>. ISSN: 100-095
49. SRIVASTAVA, Sudhakar et al. Arsenic Remediation through Sustainable Phytoremediation Approaches [En Línea] *Minerals* 2021, 11(9), 936, [Fecha de consulta: 15 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.3390/min11090936>
50. SONNE, Chistian et al. Phytoremediation of radionuclides in soil, sediments and water [En Línea] *Journal of Hazardous Materials* Volume 407, 5 April 2021, 124771, [Fecha de consulta: 16 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124771>. ISSN: 124-771
51. 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.
52. 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.
53. SHAO, Xin et al. Mathematical estimation of heavy metal accumulations in *Helianthus annuus* L. with a sigmoid heavy metal uptake model [En Línea] *Chemosphere* Volume 220, April 2019, Pages 965-973 [Fecha de consulta: 13 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.210>

54. SINGH, V., SHARMA, A. & LAL, A. Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review [En Línea] *Environmental Science and Pollution Research* volume 27, pages44835–44860 (2020). [Fecha de consulta: 11 de enero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-10713-3>. ISSN: 44835–44860.
55. SHAH, V. & DAVEREY, A. Effects of sophorolipids augmentation on the plant growth and phytoremediation of heavy metal contaminated soil [En Línea] *Journal of Cleaner Production* Volume 280, Part 1, 20 January 2021, 124406, [Fecha de consulta: 11 de enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124406>. ISSN: 124-406
56. PÉREZ Y SULCA. Revisión Sistemática de la Identificación de Especies Vegetales con Potencial de Remediación (Fitorremediación) de Suelos Contaminados por Metales Pesados, 2021 [En Línea] Universidad César Vallejo, [Fecha de consulta: 11 de enero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/65596>
57. XIAO, Jiang et al. Impacts of bamboo biochar on the phytoremediation potential of *Salix psammophila* grown in multi-metals contaminated soil [En Línea] *International Journal of Phytoremediation* Volume 23, 2021 - Issue 4 Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1816893>
58. WEI, Zihan., et al. A review on phytoremediation of contaminants in air, water and soil [En Línea] *Journal of Hazardous Materials* Volume 403, 5 February 2021, 123658 [Fecha de consulta: 17 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123658>. ISSN: 123-658
59. YANG, Zi et al. Heavy metal transporters: Functional mechanisms, regulation, and application in phytoremediation [En Línea] *Science of The Total Environment* Volume 809, 25 February 2022, 151099 [Fecha de consulta: 14 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151099>. ISSN: 151-099

60. ZHAO, Xin et al. Mathematical estimation of heavy metal accumulations in *Helianthus annuus* L. with a sigmoid heavy metal uptake model [En Línea] *quimiosfera* Volumen 220 , abril de 2019 , páginas 965-973 [Fecha de consulta: 14 de Enero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.210>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Problema	Objetivo	Categorías	Subcategorías	Indicadores	Escala
PG: ¿Qué modelos son usados en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados, revisión sistemática, 2022?	OG: Evaluar los modelos usados en la fitorremediación en suelo contaminados por metales pesados, revisión sistemática, 2022.	Familias	Género	<ul style="list-style-type: none"> • Taxonomía • Clasificación 	Nominal
			Especies	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Medicago sativa L.</i> • <i>Helianthus annuus</i> • <i>Lycopersicon</i> • <i>Pistia stratiotes</i> • <i>Raphanus sativa</i> 	Nominal
Problema específico	Objetivo Específicos				
PE1: ¿Qué familias de plantas son usadas en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados?	OE1: Analizar las familias de plantas que son usadas en la fitorremediación en suelos contaminados por metales pesados.	Procesos en la fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Medio de contención • Medio de eliminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Rizofiltración, Fitoestabilización, Fitoimmobilización. • Fitodegradación, Fitoextracción, Fitovolatilización 	Discreto
PE2: ¿Cuáles son los procesos de fitorremediación aplicados en la remoción de metales?	OE2: Analizar los procesos fitorremediación aplicados en la remoción de metales.				
PE3: ¿Cuál es la clasificación y niveles de metales que contaminan los suelos?	OE3: Analizar la clasificación y niveles de metales que contaminan los suelos.	Clasificación y niveles de metales	<ul style="list-style-type: none"> • Concentraciones (inicial y final). 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación baja (ECA suelo) • Contaminación alta (ECA suelo) 	Nominal
PE4: ¿Cuáles son los Modelos de fitorremediación aplicados para predecir proceso de fitorremediación por metales pesados en suelos?	OE4: Analizar los Modelos de fitorremediación aplicados para predecir proceso de fitorremediación por metales pesados en suelos.	Modelos de fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Modelado de regresión múltiple • Modelo de captación sigmoide de metales pesados • Modelo Freundlich • Modelos dinámicos • Modelos de estado estacionario • Modelo MINTEQA2/PRODEFA2 	<ul style="list-style-type: none"> • Absorción • Inmovilización • Estimulación • Liberación • Eliminación 	Nominal