



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Revisión Sistemática Técnicas de Remediación para Suelos  
Contaminados por Metales Pesados**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL

**AUTORES:**

Aquino Mallma Karen Karol (ORCID: 0000-0002-1272-5928)

Checcori Vargas Carla Milagros (ORCID: 0000-0002-4735-6368)

**ASESOR:**

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA-PERÚ

2021

## **DEDICATORIA:**

Dedicamos este trabajo a nuestras familias que han sido nuestro soporte para poder cumplir con nuestros objetivos y que nos han impulsado a la realización de esta tesis de investigación para llegar a ser profesionales

### **AGRADECIMIENTO:**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, y por guiarnos a lo largo de nuestra carrera. También agradecemos a la Universidad César Vallejo Lima Este por habernos abierto las puertas para poder estudiar la carrera de Ingeniería Ambiental, y por ultimo agradecemos a nuestro asesor de tesis Doctor Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi, por habernos tenido paciencia para guiarnos durante todo el desarrollo de la tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización.....	17
3.3. Escenario de estudio.....	18
3.4. Participantes.....	18
3.5. Técnicas e instrumento de recolección de datos.....	18
3.6. Procedimiento .....	20
3.7. Rigor científico.....	22
3.8. Método de análisis de datos.....	24
3.9. Aspectos éticos.....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
V. CONCLUSIONES .....	51
VI. RECOMENDACIONES.....	51
Referencias .....	52

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal es presentar las técnicas de remediación para suelos contaminados por los metales pesados como Cadmio, Mercurio, Zinc y Níquel, mediante las técnicas físicas, químicas y biológicas, los cuales involucran agentes remediadores, como temperatura, EDTA, NaOH, plantas, hongos y lombrices; y con ello diferentes aplicaciones como la desorción térmica, lavado de suelo, lixiviación química, remediación electrocinética, fitorremediación, fitoestabilización, y fitoextracción para la remediación de diferentes concentraciones de metales ya mencionados en el suelo.

La metodología utilizada es aplicada porque tuvo la finalidad el emplear toda la información acerca de las técnicas de remediación de suelos, consiguiendo así un cambio en la sociedad que nos rodea. El diseño de investigación es narrativo de tópicos, se refiere a la investigación que utiliza o analiza material narrativo, como las características y estos datos que se pueden recopilar en forma de historias o de diversas formas, también hay de tópicos donde es para recolectar datos sobre un tema específico.

Llegamos a concluir que la técnica más utilizada para la remediación de suelos contaminados por metales pesado como el Cd, Hg, Ni y Zn fue la fitoremediación de la técnica biológica. Del total de 45 artículos de la técnica biológica, 27 artículos emplearon la fitoremediación con porcentajes diferentes de eficiencia dentro de los cuales los artículos más resaltantes son los siguientes: según Ghadiri.J, utilizó uso el *Pasto Vetiver y la Festuca*, para la remediación de Cd obteniendo un 88,9% de eficiencia y en el Zn un 67% de eficiencia en la remediación, tratando el metal desde una concentración inicial de 800 mg/kg para Cd y con una concentración inicial de 37mg/kg para Zn, se llegó a obtener una remediación quedando una concentración final de 10.5mg/kg para Cd y una concentración final de 15.91 mg/kg para Zn.

Palabras clave: metales pesados, fitoremediacion de suelos, micorremediación en suelos.

## ABSTRACT

The main objective of this research work is to present the remediation techniques for soils contaminated by heavy metals such as Cadmium, Mercury, Zinc and Nickel, through physical, chemical and biological techniques, which involve remediation agents, such as temperature, EDTA , NaOH, plants, fungi and worms; and with it different applications such as thermal desorption, soil washing, chemical leaching, electrokinetic remediation, phytoremediation, phytostabilization, and phytoextraction for the remediation of different concentrations of metals already mentioned in the soil.

The methodology used is applied because it was intended to use all the information about soil remediation techniques, thus achieving a change in the society that surrounds us. The research design is narrative of topics, it refers to the research that uses or analyzes narrative material, such as the characteristics and this data that can be collected in the form of stories or in various ways, and there are also topics where it is to collect data on a specific topic.

We came to conclude that the most used technique for the remediation of soils contaminated by heavy metals such as Cd, Hg, Ni and Zn was the phytoremediation of the biological technique. Of the total of 45 articles of the biological technique, 27 articles used phytoremediation with different percentages of efficiency within which the most outstanding articles are the following: according to Ghadiri.J, he used Vetiver Grass and Fescue, for the remediation of Cd obtaining 88.9% efficiency and 67% efficiency in remediation for Zn, treating the metal from an initial concentration of 800 mg / kg for Cd and with an initial concentration of 37mg / kg for Zn, it was reached to obtain a remediation leaving a final concentration of 10.5mg / kg for Cd and a final concentration of 15.91 mg / kg for Zn.

Keywords: heavy metals in soils, soil phytoremediation, miremediation in soils.

## **I. INTRODUCCIÓN**

El suelo es el elemento esencial que constituye al ecosistema, aquí se proporciona la base para la productividad vegetal y animal, es decir, apoya la permanencia y el desarrollo de los seres vivos (Wang et al, 2015). Sin embargo, este medio, es constantemente afectado por la contaminación antropogénica, siendo los metales pesados algunos de los agentes más peligrosos para el ambiente, lo cual se agravaba debido al aumento intensivo de la industria extractora, principalmente la minería (Chaoua et al, 2018).

A nivel internacional se registra un incremento de la presencia de contaminación por metales pesados; esta liberación de metales pesados se origina a través de desechos industriales y urbanos, los cuales están afectando la salud y al ambiente (Reyes et al, 2016). La liberación y los vertimientos de estos contaminantes son nocivos para el ambiente, alteran el suelo y su ciclo natural provocando grandes pérdidas en su capacidad para sostener la vida y la biodiversidad (Petelka y Abraham, et al, 2019).

La contaminación del suelo con metales pesados genera un gran daño en el entorno ya sean macro y micro contaminación. A nivel macro estos contaminantes pueden ocasionar la pérdida de hábitats enteros, volviéndolos insostenible para la vida, y a nivel micro, generan cambios en la estructura molecular de los individuos afectados (Arzoo y Bihari, 2019).

Además, existe una alta persistencia de metales en el ambiente, los que contienen una menor solubilidad que se biomagnifican y se convierten en agentes cancerígenos y mutagénicos (Peña. S, Beltrán, A, 2017). Los metales pesados, a diferencia de la materia orgánica, son altamente tóxicos porque no se biodegradan, solo cambian su estado oxidativo y son altamente muy estables con vida media superior a 20 años (Jan et al, 2015).

A pesar de que el suelo tiene propiedades remediadoras, la concentración de metales pesados puede afectar a la actividad productora de los microorganismos del suelo (Shah y Achlesh, 2020); la presencia de metales pesados afecta en la caracterización de suelo y sus propiedades debido a los procesos industriales que generan relaves

mineros y otros tipos de residuos que contienen metales pesados; es necesario que las empresas de este rublo se hagan responsables de las externalidades que afectan a las comunidades aledañas a las actividades industriales y al ecosistema que los rodea (Preston et al, 2016).

Durante la investigación se encontraron artículos de revisión que tratan de manera general las técnicas de remediación para suelos; como también se encontró una gran cantidad de artículos independientes sobre técnicas para el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados; sin embargo, no se halló algún artículo de revisión u otra disertación académica que incluya una revisión sistemática que agrupe las técnicas remediadoras para los suelos contaminados por metales pesados.

Por lo que, se formuló el problema general de nuestra investigación: ¿Cuáles son las técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados?

Planteando como problemas específicos ¿Cuál es la técnica más usada de los suelos contaminados por metales pesados? ¿Cuáles son los metales pesados que se encuentran con mayor frecuencia en los suelos contaminados? y ¿Cuáles son los agentes remediadores utilizados en los suelos contaminados por metales pesados?

La justificación social de nuestro trabajo, la planteamos en base al abanico de posibilidades que se otorgan a la comunidad científica para poder remediar los suelos contaminados por las actividades industriales, dando alternativas para solucionar la contaminación que afecta a los pobladores y las actividades que desarrollan a los lugares aledaños de las actividades industriales.

Nuestra justificación teórica se da por la variedad de técnicas de remediación de suelos; por ello, es necesario realizar estudios específicos sobre las técnicas empleadas en suelos contaminados por metales pesados el cual nos describa los tipos de contaminantes, los agentes remediadores y el grado de eficiencia que tienen estas técnicas.

La justificación metodológica se debe a la variedad de técnicas que se han venido desarrollando por distintos autores para otorgar medidas de solución ante la



contaminación de metales pesados; pues, es indispensable agrupar todas estas investigaciones de manera sistemática, que nos permita un estudio resumido y agrupado mediante una estrategia para una mejor comprensión.

Por lo tanto, el objetivo general de esta investigación es describir las técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados. Además, se planteó los objetivos específicos: determinar la técnica más usada de suelos contaminados por metales pesados, identificar los metales pesados que se encuentran con frecuencia en los suelos contaminados y por último identificar los agentes remediadores que se aplica en los suelos contaminados por metales pesados.

## **II. MARCO TEÓRICO**

La contaminación por metales pesados es una de las más críticas preocupaciones ambientales ya que los metales son extremadamente tóxicos para las plantas y animales, ya que suprimen la composición de calidad y cantidad de las comunidades microbianas donde son influenciadas por la actividad metabólica y la diversidad (Sharma. P, 2020). Dentro de las diferentes variedades de metales pesados considerados para la presente investigación fueron los siguientes metales como el cobre, hierro, plomo, arsénico, mercurio, plata, cromo, zinc y cadmio (Aziz et al, 2017; Sumiahadi y Acar, 2018).

Los metales pesados no son fijados permanentemente por el suelo, pero interactúan y se distribuyen por los componentes del suelo mediante varios métodos como el intercambio iónico, adsorción, precipitación y tez. Debido a su no degradabilidad, los metales pesados están presentes en el suelo durante un largo período de tiempo (Chandrasekaran et al.2015). Aquí podemos observar contaminación del suelo por metales pesados, su distribución en el suelo y las técnicas de remediación o técnicas correctivas que se llevan a cabo (Lianwen y col. 2018).

El metal cadmio se libera como producto de desecho en el refinado de plomo y zinc; La emisión de mercurio también ocurre durante la desgasificación de la tierra su corteza (Sumiahadi y Acar 2018). Los metales pesados ingresan al medio ambiente a partir de una variedad de fuentes en forma de deposición atmosférica de minas de metales, vertederos, aplicación de fertilizantes, estiércol animal, combustión de carbón, productos petroquímicos y gasolina con plomo (Huang y col.2016).

El suelo de diferentes maneras es útil para comprender el proceso de movimiento y biodisponibilidad del metal (Emenike et al, 2018). Se considera que las formas de metales intercambiables y solubles en agua están disponibles para las plantas. Estas formas de metales pesados deben ser remediadas del suelo debido a su toxicidad ambiental (Zeng et al.2017). La principal preocupación de la legislación ambiental son los suelos contaminados por metales pesados y la forma en que se remediarán (Emenike et al, 2018).

Hay tres estrategias de remediación básicas se pueden utilizar por separado o junto, para remediar las áreas más contaminadas: demolición o transformación de los contaminantes y este tipo de tecnología intenta cambiar la estructura química de los contaminantes (Zeng et al.2017). Extracción o separación, consiste en que se separan y/o extraen los contaminantes del fragmento afectado, Teniendo las propiedades químicas o físicas y llegando a aprovecharlas (volatilización, solubilidad o carga eléctrica) y por último la separación del mencionado son normalizados, solidificados o contienen métodos físicos o químicos (Kumar K, et al, 2016).

Los tipos de técnicas de remediación se clasifican en los siguientes enfoques: in situ, son aplicaciones donde sin necesidad de escarbar la tierra la contaminación es removida. En otras palabras, la contaminación se elimina o remueve desde el lugar donde se encuentre (Emenike et al, 2018). Ex situ, en esta tecnología, es necesario perforar, degradar, o emplear cualquier procedimiento para extraer el suelo afectado por la contaminación antes de ser tratado (Kumar K, Helmy M, Dhankher OP 2016).

Las técnicas de remediación física es una metodología que a través de técnicas físicas incluyen el lavado del suelo, la extracción del suelo, la solidificación del suelo, la estabilización del suelo de metales pesados, y desorción térmica (Yang et al, 2018). El beneficio de este método es la mejoría completa de los metales pesados a través de eliminación de la capa de suelo contaminada, y lo que contra resta esta técnica es que amerita invertir tiempo trabajoso, y no es económicamente un método viable (Bolan et al. 2015).

El lavado de suelos consiste en la implementación de solventes y métodos mecánicos para limpiar el suelo contaminado con metales pesados (Ashraf. S, 2019. p. 5). La porción de suelo se separa del suelo grueso que causa una reducción en el volumen de suelo contaminado. El volumen reducido de suelo contaminado se puede tratar con otras limpiezas, tecnologías, mientras que un mayor volumen de suelo limpio se puede gestionar utilizando como relleno (Kumpiene et al, 2017).

La sustitución y la excavación del suelo implican en la remoción del suelo contaminado y colocarlo en otro suelo. La técnica antes mencionada es muy adecuada para terrenos en áreas pequeñas con contaminación (Zeng et al.2017). En cambio, la excavación profundiza el suelo contaminado, que provoca la propagación del contaminante en los sitios profundos y alcanza la meta de dilución y degradación natural. La importación de nuevas tierras consiste en agregar una gran cantidad de suelo puro en lugar del suelo contaminado (Huang y col.2016).

La solificación y estabilización son técnicas de limpieza que evitan o retardar la liberación de metales pesados u otros contaminantes. Los métodos evitan que los metales pesados se lixivien mediante la unión. Solidificación implica la mezcla de material contaminado con un agente aglutinante que hace que el material contaminado se fije entre sí (Xia et al., 2018)

La desorción térmica consiste en llevar a cabo sobre la base de la volatilidad de las partículas contaminantes que incluye el calentamiento del suelo contaminado utilizando vapor, microondas, radiación infrarroja para convertir el contaminante en forma volátil (Huan et al.2017). Para lograr el objetivo de eliminar los metales pesados, los metales pesados volátiles se recogen mediante el uso de presión negativa de vacío o gas portador. Con base en diferentes temperaturas, la desorción térmica se produce en la desorción a alta temperatura (320-560 ° C) y desorción a baja temperatura (90-320 °C) (Lianwen y col.2018).

Las técnicas de remediación química tratan de la vitrificación (Vitrification) la cual consiste en hacer que el suelo contaminado con metales se calienta a altas temperaturas aumentando a un rango de 1400-2000° C. La energía se puede suministrar quemando combustibles fósiles o calentando directamente con microondas, electrodos y plasma para reducir la movilidad de los metales pesados (Roychowdhury et al, 2018).

La ventaja de manejar esta técnica es que la eliminación de contaminantes a través de la intemperie de materia orgánica manteniendo alta temperatura directamente en el suelo. Este Método es altamente eficiente en la mejora de suelo contaminado por eliminando metales pesados. La desventaja de dicha tecnología es que es muy compleja, y requiere de mayor energía de fusión, económicamente es cara y su aplicación es limitada (Goswami y Das 2015).

La lixiviación química es el lavado de suelos contaminados con agua, químicos, reactivos y otros fluidos o gases capaces de eliminar el contaminante del suelo. Los metales pesados del suelo se transfirieron a la fase líquida a través de precipitación, intercambio iónico, quelación y adsorción (Yang.L, et al 2016). La ventaja de esta técnica es que los metales pesados se lixivian hacia abajo desde la capa superior facilitando que las plantas crezcan favorablemente. Y la desventaja es que no es la solución permanente para cultivos de raíces profundas (Wang-dong N, Hui W 2015)

La fijación química es la adición de reactivos o materiales al suelo contaminado, para así formar materiales ligeramente insolubles, lo que reduce el movimiento de metales pesados hacia cuerpos de agua, plantas y otros medios ambientales que causan la remediación del suelo (Huang et al. 2016). La ventaja de esta técnica es da como resultado la estabilización de la descontaminación, que incluye la transferencia de metal a una forma inactiva (Bilgin y Tulun, 2016). La desventaja es que los metales pesados se liberan en el suelo bajo condiciones propicias condiciones para meteorización.

La remediación electrocinética consiste en aplicar alto voltaje para crear gradiente de campo eléctrico en los dos lados. En este proceso, los contaminantes cargados se movieron a los polos a través del proceso de electromigración y flujo electro-osmótico (Rafique E, 2015). La ventaja de esta técnica es beneficioso para los suelos que tienen baja permeabilidad con bajo costo y fácil instalación, conservando la composición original del suelo. La desventaja de la misma es la baja eficiencia, incapaz de controlar el pH, incapaz de utilizar la membrana de intercambio iónico para mejorar la migración (Fasani et al.2017).

Técnica de remediación biológica consiste en la biorremediación utilizando microorganismos (bacterias y hongos) y la fitorremediación (especies de plantas) son técnicas de rehabilitación biológica importantes que incluyen procesos anteriores o posteriores o una combinación de ambos. Estos procesos incluyen el método utilizado por microorganismos o plantas (Tiwari et al.2013).

La remediación microbiana es el proceso de eliminar o inmovilizar metales a través de microorganismos, estos microorganismos descomponen contaminantes orgánicos en productos metabólicos finales o en intermedios que se utilizan como sustratos para la proliferación celular. Hay varios métodos de microorganismos para remediar los metales, como la unión, la inmovilización y la transformación por oxidación (Agarry. S, et al, 2018).

La biosorción implica varios procesos, como la complejación, las interacciones electrostáticas, el intercambio iónico, la adsorción física y química, la adsorción superficial, la difusión, la quelación y la microprecipitación. Este proceso ocurre principalmente en la pared celular (Agarry S, et al. 2018)

La bioacumulación se refiere a los contaminantes que se unen al citoplasma a través de la membrana celular y someten al metabolismo celular. La bioacumulación depende de los mecanismos físicos, químicos y biológicos combinados. La bioacumulación ocurre cuando la concentración en la biosfera es mucho más alta que en el ambiente circundante (Mercado-Borrayo.B, et at, 2017).

La biodegradación es la degradación microbiana de plaguicidas significa el uso de enzimas de microorganismos eficaces para descomponer plaguicidas en compuestos de bajo peso molecular. Un gran número de cepas bacterianas del suelo tiene la asombrosa capacidad de degradar los pesticidas. El gen que degrada los plaguicidas reside en un plásmido anti-catabólico y codifica las enzimas de degradación de contaminantes (Kumar.S, et al, 2018).

La fitoremediación consiste en cultivar plantas en suelos contaminados, en plantas verdes para eliminar metales pesados. Esta técnica está basada en plantas es operativamente simple, estéticamente preferible, económicamente viable y ampliamente aceptado. A diferencia de los métodos físicos y químicos que alteran irreversiblemente las propiedades de los suelos, la fitoremediación generalmente mejoran las propiedades físicas, calidad química y biológica de los suelos contaminados (Sarwar.K, et al, 2017).

La fitoextracción y la fitoestabilización es una técnica donde el metal es absorbido por la raíz de la planta acumulándose en el tanto en el tallo como en las hojas, para este proceso es obligado seleccionar una planta en un buen estado en función de su crecimiento (Delgadillo.L, et al, 2015). En cambio, el otro proceso mencionado detiene el movimiento de la contaminación de la tierra por medio de filtración y acumulación

por parte de la planta. Es utilizada para superficie de suelos cuya textura sea fina y que posea materia orgánica, se caracteriza por su bajo costo, su aplicación no es difícil y es estéticamente agradable (Reeves.F, et al 2017).

La fitovolatilización son los contaminantes absorbidos por las plantas se han convertido en formas volátiles (o la forma original en volátiles) dentro las plantas y se liberan a la atmósfera por la transpiración (Shingh.T, et al. 2017). En cambio, la fitoestimulación degrada los contaminantes orgánicos por microorganismos rizosféricos en la rizosfera vegetal. La rizosfera es un hábitat activo alrededor de la zona de las raíces del suelo que se extiende de 1 a 2 mm desde las raíces de las plantas y generalmente comprende un número aumentado (10-100 veces) de microorganismos mayores que el suelo a granel (Cheraghi M, et al. 2016).

Según Ghadiri.J, et al (2018) se realizó una investigación donde el objetivo fue analizar la composición del *pasto vetiver* y la *festuca alta* para finiquitar la contaminación de los suelos a causa de cadmio, cobre y zinc. Implementando un invernadero donde se realizaron 2 pruebas una distinta a la otra, y el esquema aleatoriamente incluía 7 niveles distintos de contaminantes de metales como cadmio cobre y zinc. Cuando se midieron las cantidades de cadmio en el peso fresco y seco de los brotes, las cantidades de cobre en el peso fresco y seco de los brotes y raíces y las cantidades de zinc en los pesos frescos y secos de los brotes y raíces en *festuca* no fueron como lo esperaban a comparación del proceso control. Las concentraciones máximas de Cd, Cu y Zn en *Vetiver* relacionadas con el tratamiento de 800 mg kg se encontraron en 591, 298 y 356 mg kg. Además, se midió el contenido máximo de Cd (96 mg kg), Cu (27 mg kg) y Zn (37 mg kg) en *Festuca* en suelos contaminados con 800 mg kg – 1. Comparando los tratamientos estudiados se comprobó que el cadmio fue el metal más absorbido por los brotes y raíces de las plantas. También se demostró que el *Vetiver* es más efectivo que el *Fescuca* para la remediación de suelos contaminados.

Según (Reátegui.C, 2018) Realizó un estudio con *Pleurotus ostreatus* para medir el nivel de absorción de metales en el suelo. El diseño que se utilizó fue experimental

unifactorial, donde se evalúa por medio de 4 tratamientos cada 1 con 3 repeticiones. Fueron 25 los días en donde se cultivaron en macetas de 1 kg. Cada maceta tuvo una dosis distinta de *Pleurotus ostreatus* y con relación al suelo contaminado en cantidades de 50, 100, 150 y 200 gr de la planta mencionada. Como resultado se obtuvo un nivel de absorción del 50 % de algunos metales pesados, pero en otros no presentó ningún cambio.

Según (Santoyo.L, 2020), Realizó un estudio dónde utilizó *Vachelia campechiana* y *Crotalaria pumila* para evaluar el nivel de acumulación de metales pesados bajo condiciones del invernadero. También se evaluó la germinación de semillas de dichas especies expuestas a la contaminación donde los resultados para la *Vachelia campechiana* arrojaron que es una especie con un gran potencial para fitorremediar espacios contaminados ya que posee un nivel de absorción increíble donde se comprobó que en los tejidos de la raíz se almacenaron 0.83mg/ kg de cromo, 0.37 mg/kg de cobre y 4.23 mg/kg de plomo y en el tejido foliar 2.75 mg/kg de cromo, 0.35 mg/kg de cobre y 4,75 mg/kg de plomo. Comparándola con la *C. Pumilia* almacena 0.45mg/kg en ambos tejidos con relación al cobre. Esta investigación concluyó en que la bioacumulación de metales pesados por dichas especies de plantas es considerable y que pueden ser utilizados para remediación y fitorremediación de sitios que estén contaminados por metales pesados.

Eltaher, et al (2019) en su investigación trabajó con la *Pluchea dioscorudis* en dónde su objetivo fue la remediación de lugares contaminados por metales pesados. Con dicha planta obtuvo resultados favorables para la absorción de metales pesados tales como el cobre, el cromo, el cadmio, y el plomo. Trabajó 7 meses con la planta y fue el tiempo en donde alcanzó su nivel máximo de absorción, notándose que son mayores en las raíces que en los brotes.

Lu, et al (2019) indicó en la parte de sus objetivos que en las zonas contaminadas por la minería se utilizaron la *Echinochla cruz-galli*, *Setaria viridis* y *Phragmites australis*, y se demostró un alto nivel de absorción y almacenamiento de metales pesados más que todo en las raíces, dicha investigación dio a conocer que se mejoraría en cuanto



a la contaminación de sitios contaminados por metales y mejoraría la calidad del suelo.

Según Rodrigo, (2018), evaluó la eficiencia como fitorremediadora de la planta de “girasol” para ser una opción de remediación de suelos con mayor accesibilidad económica, elaborando un gráfico de métodos que contienen enmienda orgánica

(guano de isla y tierra agrícola), En este proceso se combinaron con el suelo contaminado. Posterior a ellos el día n° 60 al concluir el proceso se pudo observar que dentro de las pruebas la aplicación de enmiendas en los tratamientos 3 y 4 beneficio la bioacumulación de contaminantes del suelo en la planta *Helianthus annuus* (75.54 ppm en T3; 46.09 ppm en T4) y (50.70 ppm en T3; 41.30 ppm en T4) Teniendo como resultado una disminución moderable en la toxicidad y permanecía de la masa foliar y su desarrollo.

Diaz y Escobar (2019) su objetivo es mostrar la capacidad del *Lupinus mutabilis* asistido con *Bradyrhizobium sp.* Para la remoción del Cd en la tierra y planta; realizaron 4 técnicas y una muestra (sin contaminante). Se detallaron las características físicas del tarwi en el 9, obteniendo 7.90 cm de raíz, 35.23 cm tallo y 3.90 cm hoja. De la misma manera, se pudo observar dificultades en el desempeño de la planta, obteniéndose: 3.50 cm raíz, 13.30 tallo y 3.03 cm en las hojas. Teniendo como resultado que a más concentración de cadmio interior será la absorción y el porcentaje, donde *Lupinus mutabilis* mostro que con ayuda de *Bradyrhizobium sp.* Es más efectivo con la absorción de Cd en el suelo.

Segun (Jie Liang, Jiangfang Yu, Xiaoya Ren, 2018). Tiene como objetivo indicar las ventajas del biocarbón se ejercen en suelos contaminados con metales pesados y contaminantes orgánicos. Se había confirmado que el biocarbón producido a partir de la biomasa del estiércol de lechería inmoviliza el Cd y la atrazina en el suelo, y la eficiencia se mejoró con el aumento del tiempo de tratamiento y la proporción de biocarbón. Teniendo como resultado que el biocarbón redujo hasta un 57% y un 66% del Cd y la atrazina disponibles después de 210 d, respectivamente. Una parte de los iones metálicos, que se unen al biocarbón, no solo pueden actuar como lugares de adsorción de plaguicidas organofosforados, sino también catalizar la hidrólisis y sus otras formas de degradación.

Según Chemicals Branch, Ginebra, (2019) estudio que en Suecia el mercurio (Hg) es un elemento natural que se encuentra comúnmente en el medio ambiente. Durante la era posindustrial, la combustión de combustibles fósiles combinada con el transporte atmosférico de largo alcance ha aumentado el mercurio (Hg) en suelos y sedimentos en un factor de 3 a 10 veces por ende realizaron evaluaciones de tratamiento térmico y técnicas biológicas. La mayoría de las formas de mercurio (Hg) son altamente tóxicas para los seres humanos altamente expuestos, pero incluso una exposición baja puede afectar grave y adversamente al sistema nervioso central de los seres vivos (Nance y Col., 2016). Obteniendo como resultado que el contenido medio de fondo de mercurio (Hg) en diferentes tipos de suelos de todo el mundo oscila entre 0,58 y 1,8 mg / kg, y el contenido medio mundial se estima en 1,1 mg / kg. Se han observado concentraciones más altas de Hg en Histosoles y Cambisoles.

(Kabata - Pendias, 2015).

Según Tariq y Ashraf (2016), indico que los hiperacumuladores con respecto a los metales poseen variedad de capacidad de acumulación de las mismas. La investigación fue implementada a nivel de laboratorio, donde han demostrado que el maíz (*Zea mays*) es un hiperacumulador para Cd y Zn posterior de haber aplicado un quelante, Posterior a ello el girasol (*Helianthus annuus*) mostró ser un hiperacumulador para Cd en similares situaciones, con una remoción del 56,03%. La especie de nabo (*Brassica campestris*) muestra propiedades hiperacumulativas para Zn. Por otro lado, la arveja (*Pisum sativum*) se demostró ser un eficiente absorbente de Cd sin el uso del quelato EDTA mostrando una eficaz movilización de un 96,23%.

Ryu y col (2017). Estudió el rendimiento de la electricidad a escala de laboratorio Suelo contaminado con Cd acondicionamiento. Sus resultados revelan que remediación troquímica en Cu-, As- y mejorado por electrolito acondicionado de católicos con HNO<sub>3</sub> aumentó la eliminación de Zn y Cd del suelo, y la la remoción máxima fue 60,1% para Cu y 75,1% para Cd. El acondicionamiento de anolitos con NaOH mejoró la migración de As que existe en forma aniónica y 43,1% de Aswas

Alcantara y col. (2015) estudiaron la remediación electroquímica de caolinita contaminada con fenantreno de concentración inicial de 500 mg / kg de suelo. La remediación electroquímica por sí sola resultó en una remediación insignificante de fenantreno. Por tanto, se generó una reacción de tipo fenton en caolinita que también estaba contaminada con Fe. Cuando los depósitos de ánodo y cátodo se llenaron con un 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Se obtuvo una eficiencia global de extracción y destrucción de fenantreno del 99% en 14 días aplicando un gradiente de 300 V / m a través de la muestra de suelo. Cabe señalar que el pH del suelo se mantuvo en aproximadamente 3,5 sin control de pH, favoreciendo los procesos tipo fenton.

Tsai y col. (2018) estudiaron la viabilidad de la remediación electroquímica de suelos contaminados con diésel mejorado por el uso de NaCl 0,1 M como solución de purga y electrodos de hierro corroídos. Sus resultados experimentales indican que la concentración de diesel de hidrocarburos de petróleo total en el suelo contaminado se redujo de 10,000 a 300 mg / kg por oxidación mejorada electrocinéticamente en Pamukcu. Realizó un estudio para demostrar de en el lugar reducción de Cr<sup>6+</sup> a agente, al indican que Cr<sup>3+</sup> por suelo contaminado introducido la CR<sup>6+</sup> en suelos ing hierro ferroso Fe<sup>2+</sup>, un reductor electrocinético. Sus resultados podrían reducirse efectivamente a Cr<sup>3+</sup> por remedio electroquímico diación. Llegando a ser aplicable las concentraciones remediación.

En base a O. Gonzini, A. Plaza, L. Di Palma, (2018); estudió los efectos del ramnolipidón en la mejora de la remediación electroquímica de un suelo contaminado con gasoil. Sus resultados indican que la eficiencia de remediación del gasoil podría incrementarse hasta en un 86,7% aumentando la dosis de ramnolípido. Además, la menor concentración del gasóleo en la fase líquida a la mayor concentración del biosurfactante demostró evidentemente que el ramnolípido podría potenciar la biodegradación del gasóleo, posiblemente a través de dos mecanismos: (1) aumentando la solubilidad acuosa de los hidrocarburos y por lo tanto su biodisponibilidad para los microorganismos; y (2) interactuar con microorganismos para hacer que sus superficies celulares sean más hidrófobas y, por tanto, más fáciles

de asociar con sustratos hidrófobos. También identificaron la necesidad de un desarrollo futuro en la producción de surfactantes por microorganismos autóctonos.

Según Srivastava et al. (2015), Tenía como objetivo analizar la eficiencia de distintos microorganismos utilizando las siguientes bacterias resistentes al mercurio como el *Alcaligenes faecalis*, *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas aeruginosa*, y *Iodinio de Brevibacterium* para la eliminación de cadmio (Cd) y plomo (Hg). En este estudio, *P. aeruginosa* y *A. faecalis* eliminó el 70% y el 75% de Cd con una reducción de 1000 mg / L a 17.4 mg / L de Cd por *P. aeruginosa* y para 19,2 mg / L por *A. faecalis* en unas 72 h. *Brevibacterium yodii* y *Bacillus pumilus* eliminar más del 87% y el 88% de Hg con una reducción de 1000 a 1,8 mg / L en 96 h.

EL estudio de Singh et al. (2013). Tenía como objetivo analizar el uso de bacterias anaerobias facultativas autóctonas *Bacillus cereus* para desintoxicar el cromo hexavalente (Cr). Teniendo como resultado experimental que el uso del *Bacillus cereus* tiene una excelente capacidad de remoción de Cr (VI) al 72% a una concentración de cromato de 1000 g / mL. Las bacterias fueron capaces de reducir el Cr (VI) en un amplio rango de temperaturas (25 a 40 ° C) y pH (6 a 10) pero óptimo a 37 ° C y pH inicial 8.0. Se han probado varios metales pesados utilizando especies de bacterias como *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, y *Micrococcos spp.* Observándose que tiene una gran capacidad de biosorción la cual se debe a altas relaciones de superficie a volumen y los sitios de quimi-osorción activos potenciales (ácido teicoico) en la pared celular (Mosa et al. 2016). Las bacterias son más estables y sobreviven mejor cuando se encuentran en cultivos mixtos. Por lo tanto, los consorcios de cultivos son metabólicamente superiores para la bioabsorción de metales y son más apropiados para aplicaciones de campo (Kader et al.2007). De et al. (2008) informaron de una reducción del 78% de Cr utilizando trio de *Acinetobacter spp.* y *Arthrobacter spp.* de 16 mg / L concentración de iones metálicos.

Según Abioye y col. (2018), utilizó *Micrococcus luteus* para eliminar una gran cantidad de Hg de un medio sintético. Dependiendo de los ambientes ideales, la capacidad de eliminación fue de 1965 mg / g. Abioye y col. (2018) investigó la bioabsorción de Hg y Cd en efluentes de tenerías utilizando *Bacillus subtilis*, *B. megaterium*, *Aspergillus niger*, y *Penicillium spp.* *B. megaterium* registró la mayor reducción de Hg (2,13 a 0,03 mg / L), seguida de *B. subtilis* (2.13- 0,04 mg / L). *A. niger* muestran la mayor capacidad para reducir la concentración de Cd (1,38-0,08 mg / L) seguido de *Penicillium sp.* (1,38-0,13 mg / L) mientras *B. subtilis* exhibió la mayor capacidad para reducir la concentración de cadmio (Cd) (0,4-0,03 mg / L) seguido de *B. megaterio* (0,04- 0,06 mg / L) después de 20 días.

Kim y col. (2015) diseñó un sistema por lotes utilizando zeolita inmovilizada *Desulfovibrio desulfuricans* para la eliminación de Zn, Cd y Ni con una eficiencia de eliminación del 99,8%, 98,2% y 90,1%, respectivamente. Obteniéndose dentro del resultado la eliminación eficaz de Zn, Cd, Ni por consorcios bacterianos en aproximadamente 75 a 85% en menos de 2 h de duración del contacto.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada porque tuvo la finalidad el emplear toda la información acerca de las técnicas de remediación de suelos, consiguiendo así un cambio en la sociedad que nos rodea. Además, se indica que la investigación aplicada es el resultado de la aplicación del conocimiento científico para dar solución a problemas prácticos (Rivera, 2019).

Asimismo, Concytec (2018) señala que, la investigación aplicada se establece por el conocimiento científico, las metodologías, protocolos y tecnologías, por los cuales se puede satisfacer una necesidad específica debido a que las áreas de prácticas del conocimiento son esenciales para

el avance tecnológico de un país. Nuestra investigación es aplicada ya que se va a ser únicamente síntesis de la información recolectada acerca de las técnicas de remediación para suelos, también por presentación de las características que tienen las categorías de nuestra investigación.

### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación es narrativo de tópicos, según Hernández, Fernández, (2014) está basado en el captamiento de información acerca del problema con relación a los conocimientos del participante para hacer un desarrollo general que abarque las narrativas individuales. Diseño narrativo se refiere a la investigación que utiliza o analiza material narrativo, como las características y estilos de vida de personas específicas, estos datos se pueden recopilar en forma de historias o de diversas formas (Mercedes. B, 2018), también hay de tópicos donde es la unión de autobiográficos o biográficos, para recolectar datos sobre un tema específico.

La investigación cualitativa identifica la naturaleza subyacente de la realidad, las relaciones dinámicas y las estructuras que brindan información o explicaciones sobre una situación, y sigue un diseño de investigación flexible e inductivo (Cadena.S, et al. 2017). Se optó por emplear este diseño en nuestro proyecto pues básicamente recolectamos información de las técnicas de remediación de suelos, datos de diversas investigaciones de artículos para luego seleccionar las necesarias, los sucesos más relevantes en la aplicación, las mejoras que le han ido implementando a través de los años y los resultados que se obtuvieron.

### 3.2. Categorías, Subcategorías y Matriz de Categorización

**TITULO:** Revisión Sistemática: Técnicas de remediación de suelos contaminados por metales pesados

**OBJETIVO GENERAL:** Describir las técnicas de remediación de suelos contaminados por metales pesados.

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORIA	SUB-CATEGORÍAS	CRITERIO 1	CRITERIOS 2
¿Cuál es la técnica más usada de los suelos contaminados por metales pesados?	Determinar la técnica más usada de suelos contaminados por metales pesados.	Técnicas de remediación (Gong.Y, Zhao.S, et al.2018)	Remediación Física (Derakhshan. N, et al. 2017)	Por condiciones operativas	
			Remediación Química (Sun, S, et al. 2016)		
			Remediación Biológica (Chavez.S, et al.2018)		
¿Qué metales pesados se encuentran con más frecuencia en los suelos contaminados?	Identificar los metales pesados que se encuentran con más frecuencia en los suelos contaminados.	Metales pesados (Zhang. Y, et al 2021)	Cadmio (Agarry, S. et al, 2019)	Por grado de concentración	Por como los agentes remediadores actúan en los metales pesados
			Níquel (Chen.X, et al 2019)		
			Mercurio (Zhang, H. et al. 2018)		
			Zinc (Purojit, J. et al. 2018)		
¿Cuáles son los agentes remediadores utilizados en los suelos contaminados por metales pesados?	Identificar los agentes remediadores utilizados en los suelos contaminados por metales pesados	Agentes remediadores usadas en las técnicas de remediación (Gong.Y, Zhao.D, et al. 2018)	Agentes Físicos (GonzálezChávez, 2015)	Por cantidad de agente remediador	
			Agentes Químicos (GonzálezChávez, 2015)		
			Agentes Biológicos (shan, H et al, 2020)		

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

Según (Ortiz.L, 2016) la fuente de investigación será la que permita relacionarse con el fenómeno estudio. Por ello, como escenario de la investigación la literatura de toda investigación, que es hallada en los artículos científicos, sobre los tipos de saneamiento para suelos contaminados por metales pesados, estas investigaciones se dieron de forma descriptiva y experimental, lo cual se respeta los criterios establecidos en las categorías y subcategorías, para ubicar correctamente la información recolectada. Con estas técnicas de remediación, el objetivo es describir cual es más eficiente para el tratamiento de los metales pesados.

### **3.4. Participantes**

Según Witheing.H, 2017, nos dice que la investigación cualitativa describe que los participantes se forman por individuos que determinan un suceso de estudio. En nuestra investigación narrativa de tópicos se mencionó que los participantes son nuestras fuentes de información son ScienceDirect, Scopus, Pubmed, ProQuest; ya que son bases de datos donde contienen miles de artículos relacionados a nuestro tema.

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

La técnica de estudio es análisis documental o contenido, consiste en recolectar diferentes informaciones y así saber cuáles son las diferentes teorías que justifican la investigación y análisis de diferentes fenómenos u procesos. Su función es encontrar algo que nadie más haya visto, simplemente porque no están observando con atención lo que expresa el texto (Belkys.A, 2015). El análisis documental nos permitió sistematizar, y analizar la información de los artículos indexadas en las fuentes de información, con el criterio de autenticidad, credibilidad y representatividad con las categorías y subcategorías, con el objetivo de describir las técnicas de remediación para suelos que son contaminados por metales pesados (Briggs. G, et al. 2015). Por ello al momento de



evaluar las diferentes informaciones se tiene que recalcar los resultados obtenidos, las recomendaciones o conclusiones de los artículos científicos.

Bernal et al (2018), indico que para la recopilación de datos el método más útil es el que simplifica el lugar de estudio y el desempeño de los autores o participantes de estas dependiendo de la naturaleza del contenido. El método de la investigación es la ficha de análisis documental respecto a los artículos que presenten aporte informativo sobre las técnicas de remediación, el esclarecimiento de objetivos y un buen estudio de las categorías y subcategorías del estudio, de esto se está evaluando las conclusiones y diferentes resultados obtenidos. Donde los artículos no son menores de 5 años de antigüedad, ya que la información es más actualizada.

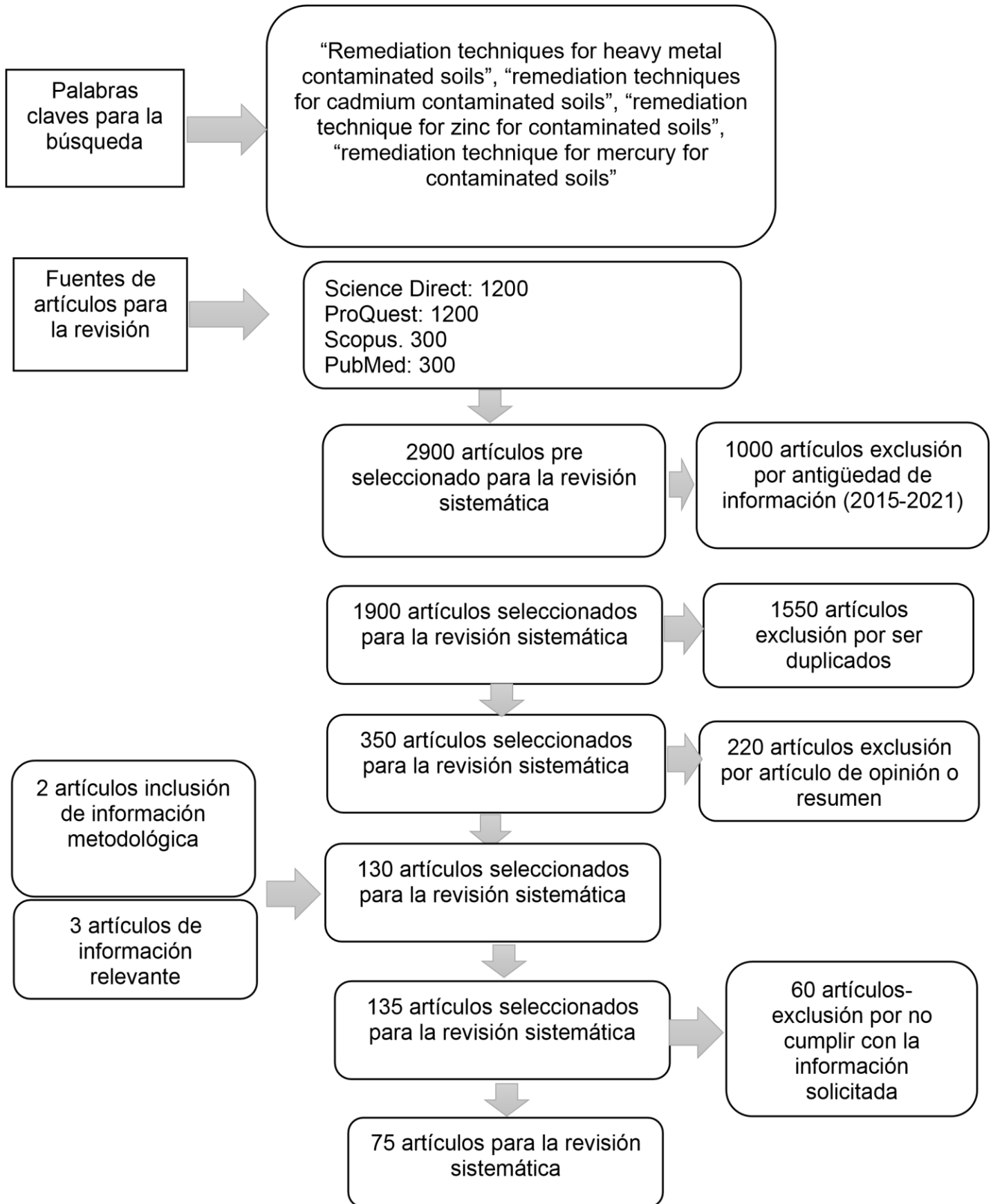
### **3.6. Procedimiento**

Las palabras claves para la búsqueda de información son: “remediation techniques for heavy metal contaminated soils”, “remediation techniques for cadmium contaminated soils”, “remediation technique for zinc for contaminated soils”, “remediation technique for mercury for contaminated soils”, or “remediation technique for nickel for contaminated soils”. Para nuestra revisión sistemática se estableció criterios que nos han permitido estructurar nuestra información y así organizarla para un mejor procesamiento. El primer criterio es la fuente de información, el segundo criterio es el año de las fuentes de información, el tercer criterio es la elección de los artículos, y el cuarto criterio es la búsqueda de la información, además existen criterios de exclusión e inclusión de artículos para mantener actualizada la investigación.

La selección de buscadores y bases de datos de alta confiabilidad. A la vez la búsqueda de información sobre las técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados; se hubo una precisión sobre las técnicas de remediación para suelos contaminados para cada metal

como: cadmio, zinc, níquel y mercurio. Se hizo la primera exclusión por antigüedad de información, segunda exclusión por ser artículos duplicados, tercera exclusión de artículos de opinión o resumen, luego se hizo inclusión de artículos que brinden información para la orientación de la metodología y también inclusión por información muy relevante sobre técnicas de remediación, y por último se hizo exclusión de artículos por no cumplir información solicitada.

## Diagrama de Bloques del Proceso de Investigación de la Revisión Sistemática



### **3.7. Rigor Científico**

El rigor científico representa el control de calidad que se realiza a la información contenida en una investigación y considerando que la investigación cualitativa se sienta en los juicios de otros autores, es decir la obtención de datos no es de manera directa bajo experiencia personal; para evaluar la calidad científica de este tipo de investigaciones se debe cumplir con 4 criterios fundamentales (Suarez.M, 2016).

La credibilidad de este criterio es establecer la confianza de verdad para los sujetos y el contexto del estudio, donde se refiere a la uniformidad de las conclusiones fácticas (Valera.M & Vives.T, 2016). Este es un requisito importante que nos permite enfatizar el fenómeno que al momento de evaluar las situaciones donde la investigación es confiable y es esencial una discusión creíble que pueda ser sustentada por los resultados (Noreña.A, et al, 2016). En la presente investigación cumple con este criterio, ya que la información recabada sobre las técnicas de remediación es muy consistente y argumentada que es respalda por diferentes autores, además esto aumenta más cuando son citas parafraseadas, a fin de que exista una congruencia y veracidad de información.

La dependencia se trata de proporcionar informes de información que le permitan comprender los métodos utilizados y su efectividad, donde se incluye el diseño y la implementación de la investigación, teniendo en cuenta los cambios estratégicos en el proceso (Valera.M & Vives.T, 2016). El grado de los investigadores que recolecten datos afines en el campo y realicen los mismos análisis, brinden resultados similares. La dependencia permite la descripción explícita del proceso para establecer pistas sobre la revisión (Diaz.M, 2018). En los que respecta este criterio a nuestra investigación se procuró que la información recolectada tenga relación en cada tema puntual, a partir de investigaciones que cumplan con características similares sobre las

técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados, para que de esta manera existan resultados más consistentes.

La transferibilidad es la responsabilidad del investigador proporcionar información sobre la encuesta de campo, donde requiere especificar el número de participantes y los métodos que se utilizan (Valera.M &Vives.T, 2016). También producen transferencias de herramientas y etapas de Evaluación, en otro escenario o situación, influye mucho las condiciones o nivel de la visión con respecto a lo similar de los procesos desempeñados, de la persona que realiza el estudio y que desea obtener esa transferencia (Fernandez.M, 2014). Esta investigación llevo al objetivo trazado que fue el poder transmitir y permitir que distintos investigadores puedan generalizar las conclusiones que podrán obtener.

La auditabilidad o confirmabilidad, se refiere que los resultados no son la opinión o las preferencias del investigador, sino las ideas o experiencias del informante. Para ello, es fundamental incluir la triangulación de investigadores y discusiones relacionadas con las decisiones subyacentes y la elección de los métodos utilizados (Valera.M &Vives.T, 2016). En base a esto parámetros las conclusiones del estudio tiene que garantizar la originalidad de las explicaciones de los integrantes. También es posible saber la función que desempeña el investigador en el transcurso del trabajo, definir los límites y alcances de estos y así puedan tener bajo control los diferentes escenarios de críticas o juicios que se pueden formular por parte de los participantes (Noreña.A, et al, 2016). Esta investigación cumplió con el último rigor científico, ya que se examinó los criterios obtenidos mediante los artículos en relación con las técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados y también por los agentes remediadores, considerándose así los criterios de análisis en cada información al obtener.

### **3.8. Método de análisis de información**

El procedimiento de esta información recolectada se organizó para poder ser examinada mediante los objetivos y problemas específicos, donde se dividieron en categorías y subcategorías, están las técnicas de remediación (física, química y biológica), los metales pesados (níquel, cadmio, zinc y mercurio) y por último las especies usadas en las técnicas de remediación. Así mismo se analizará cada criterio, para las tres categorías: por condiciones operativas, por grado de concentración, por cantidad de agente remediador y el último criterio es por como los agentes remediadores actúan en los metales pesados.

Para analizar la información tuvimos que seleccionarla de las diferentes fichas de toma de información de datos las que se obtuvieron en base a los artículos científicos. La cantidad más alta de estos artículos proviene de Scopus, ScienceDirect, Pumbed, ProQuest. Concluyendo que la base de elegibilidad de estos artículos excluyó la información de forma resumida o menciona solo de forma colateral las técnicas de remediación, puesto que el fin es obtener información para poder dar respuesta al objetivo general planteado y los objetivos específicos propuestos. Es así que se planteó un gráfico de bloques del método de análisis de información.

### **3.9. Aspectos éticos**

El presente trabajo de investigación tiene información de fuentes confiables, ya que los resultados obtenidos son de distintos tipos de procesos de cada autor donde de manera experimental demostraron la hipótesis que deseaban plantear por medio de técnicas de remediación para metales pesados.

Los aspectos éticos, el objetivo fue citar distintos autores de fuentes confiables con información verídica y así logra la confiabilidad del contenido, se parafraseo de manera correcta y también no se realizó ninguna modificación con las ideas iniciales planteadas por parte de

cada autor mantenido la originalidad. Se elaboró las referencias bibliografías con el estilo ISO 690. Por ellos se acató y respeto el código de ética de la Universidad cesar vallejo-2021.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Física	Desorción térmica	Hg	8mg/kg	6.5mg/kg	Temperatura	250°C	95% de remediación en un año	Prodan.V and Szanto.M 2021
Física	Lavado de suelo	Zn	6 mol/L	0.02 mol/L	Na <sub>2</sub> EDTA	0.1mol/L	60% de remediación	Szanto.M and Prodan.V 2021
		Cd	8 mol/L	0.10 mol/L			90% de remediación por un pH bajo	
Física	Desorción térmica	Hg	5 mol/L	3.5mol/L	Temperatura	280°C 560°C	80% 19% restante	Sierra.M, et al (2016)
Física	Lavado de suelos	Ni	0.06	0.02	Polvo nZVI (nanopartículas de hierro 0 valente)	100mg	96%	Chopra.R and Adhikari.T 2017
			4.90	0.70			85%	
			8.30	2.50			70%	
			9.10	2.80			69%	
			12.40	6.17			50%	
			18.70	12.2			35%	

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante	Por cantidad de agente remediador	Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
---------	----------------	-----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------	------------



		<b>Metal pesado</b>	<b>→ C inicial</b>	<b>→ C final</b>	<b>Agente</b>	<b>Cantidad</b>		
Física	Desorción	Cd	120 mg/L	0.6 mg/L	HCl	0.1 mol/L	20%	Wang, S. et al (2018)
			131 mg/L	100 mg/L	NaOH	0.1 mol/L	12%	
Física	Estabilización	Cd	6.71 mg/kg	0.89 mg/kg	CaCl <sub>2</sub>	0.1 mol/L	86.7% de remediación	Yuan. X, et al (2018)
Física	Estabilización	Cd	2.2 mg/kg	1.0 mg/kg	Enmienda orgánica	0.5mol/L	12.2%	Nie.X, et al (2020)
		Zn	379.6 mg/kg	277.6 mg/kg			4.7% de remediación	
Física	Lavado de Suelo	Cd	8.83 mg/kg	0.80 mg/kg y 160 mg/kg	EDTMP	0.1mol/L	92.74% y 50.76%	Feng.Q, et al (2020)
		Zn	289.2 mg/kg	6 mg/kg y 197 mg/kg	PAA	0.1mol/L	84.62% y 41.66%	
Física	Desorción Térmica	Hg	347 mg/kg	240 mg/kg	Materia orgánica	10mg/kg	70% de remediación	RoyChowdhury,A. et al (2018)
Física	Lavado de suelo	Zn	500 mg/kg	450 mg/kg	PASP	1000mg/L	39% de remediación	Azu.M,et al (2019)

<b>Técnica</b>	<b>Por aplicación</b>	<b>Por concentración de contaminante</b>			<b>Por cantidad de agente remediador</b>		<b>Por eficiencia de remediación</b>	<b>AUTOR (ES)</b>
		<b>Metal pesado</b>	<b>→ C inicial</b>	<b>→ C final</b>	<b>Agente</b>	<b>Cantidad</b>		

Física	Lavado se suelo	Cd	10 mg/kg	0.6 mg/kg	EDTA	100ml	59.7%	Kim.M, et al (2021)
		Zn	180 mg/kg	80 mg/kg			79.2% de remediación	
Física	Lavado de suelo	Cd	0.6 mg/kg	0.01 mg/kg	EDTA	50ml	60%	He.L, et al (2018)
		Zn	195 mg/kg	0.95 mg/kg			52% de remediación	
Física	Desorción térmica	Cd	7.09 mg/kg	3mg/kg	T°	400°C	55%	Vies ták et al., (2015)
		Zn	176mg/k g	160mg/k g			35% de remediación	
Física	Desorción térmica	Cd	250mg/k g	100mg/k g	T°	500°C	85% de remediación	Kloss y col., 2016
Física	Desorción térmica	Cd	50mg/kg	25mg/kg	T°	250°C	75% de remediación	Uchimiya et al., 2015

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación		AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad			
Química	Lixiviación química	Cd	4.71mg/kg	0.96mg/kg	NTA	100ml	83%	de	Xie,X. et al (2018)
Química	Lixiviación química	Cd	4.08mg/kg	0.56mg/kg	KCl	0.2ml	94%	de	Li,Q. et al (2019)
Química	Lixiviación química	Cd	150mg/kg	55mg/kg	EDTA	500ml	60%	de	Jiang,M. et al (2020)
		Zn	250mg/kg	130mg/kg			63.5%	de	
Química	Remediación electrocinética	Zn	500mg/kg	100m/kg	la dilución del polvo de zinc en ácido nítrico	38ml	89%	de	Ayuni.S, et al (2020)
Química	Remediación electrocinética	Ni	267mg/kg	145mg/kg	NaOH	0.1M	45%	de	Koteswara.G, et al (2020)
		Zn	350m/kg	235.5mg/kg			60%	de	

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Química	Remediación electrocinética	Zn	4.70mg/kg	2.5mg/kg	EDTA	0.5m	35% de remediación	Caporale y Violante (2016)
		Cd	150kmg/kg	75mg/kg	NH4	0.2m	45% de remediación	
Química	Lixiviación química	Zn	20.3 mg/kg	5.481 mg/kg	bioensayos de organismos (Las lombrices de tierra)	100 ml	73 % de remediación	Othmani et al.2015
Química	Lixiviación química	Zn	25 mg / kg 150 mg /kg	11 mg / kg 66 mg / kg	Ácido cítrico, EDTA, ramnolípido	95 ml	56% de remediación	Asensio et al. 2015.
		Cd	200mg / kg 300mg / kg	106 mg /kg 159 mg /kg			47%. de remediación	
Química	Lixiviación química	Zn	34 mg / kg	11.56 mg / kg	EDTA y ácido cítrico	100 ml	66% de remediación	Moghal et al.2017.
		Cd	150mg/kg	34.5 mg / kg			77%. de remediación	
Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		AUTOR (ES)	

		<b>Metal pesado</b>	<b>→ C inicial</b>	<b>→ C final</b>	<b>Agente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Por eficiencia de remediación</b>	
Química	Lixiviación química	Cd	5.91mg/kg	1.36mg/kg	EDTA y ácido nítrico	27 mg	77 % de remediación	Zhao et al. 2015
Química	Lixiviación química	Cd	17.5 mg/kg	2.625 mg/kg	Tetraacetato de etilendiamina disódico (Na <sub>2</sub> EDTA)	80 ml	85 % de remediación	Gil-Diaz et al. 2017
Química	Remediación electrocinética	Cd	8.71mg/kg	1.83 mg/kg	agua desionizada	500 ml de solución	79% de remediación	Kim y Hyun 2015
Química	Lixiviación química	Zn	7.3 mg/kg	1.971 mg/kg	Grafito (ContrAA 700, Analytikjena).	100 ml	73% de eficiencia	Kim y Hyun (2015)
Química	Lixiviación química	Cd	5.3 mg/kg	2.438 mg/kg	EDTA	10ml	64% de eficiencia	Wang y col. (2015)
<b>Técnica</b>	<b>Por aplicación</b>	<b>Por concentración de contaminante</b>		<b>Por cantidad de agente remediador</b>		<b>AUTOR (ES)</b>		

		<b>Metal pesado</b>	<b>→ C inicial</b>	<b>→ C final</b>	<b>Agente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Por eficiencia de remediación</b>	
					Cuatro columnas de suelo con 0.5 mol/L de CaCl <sub>2</sub> (Ca0.5M.LA), 0.1 mol/L de ácido cítrico (CT0.1M.LA), 0.5 mol/L de ácido cítrico (CT0.5M.LA), 1mM de Na <sub>2</sub> EDTA (EDTA1mM.LA), 10mM de Na <sub>2</sub> EDTA (EDTA10mM.LA) y agua desionizada (Control.LA).	0.1 mol/L de ácido cítrico, 0.5 mol/L de ácido cítrico, 1mM de Na <sub>2</sub> EDTA, 10mM de Na <sub>2</sub> EDTA	lixiviación (0,24 a 0,29 cm h <sup>-1</sup> ) eliminando con gran efectividad Cd 65%	Wang y col. (2015)
Química	Lixiviación química	Cd	6.1 mg/kg	2.745 mg/kg				

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Fitorremediación	Cd y Zn	Cd (96 mg kg), Zn (37 mg kg)	Cd (10.56 mg kg), Zn (15.91 mg kg)	<i>Pasto Vetiver y la Festuca</i>	800 mg kg - 1	El Cd tubo un 88,9% y Zn 67%	Ghadiri.J et al (2018)
Biológica	Fitorremediación	Cd y Ni	Cd 257 mg/kg y Ni 66.09 mg/kg	Cd 184,7 mg/kg y Ni 30.56 mg/kg	<i>Ricinus communis L.</i>	600 mg/kg	Cd de 28.1% y Ni 49.22%	Sun.Y. Et al (2018)
Biológica	Bioacumulación	Cd	Cd 10.39 mg/kg	Cd 7.39 mg/kg	<i>Bacillus subtilis y Brassica campestris L.</i>	4.5 g	De 10.65 y 28.79%	Liu.X, et al (2018)
Biológica	Remediación microbiana (Hongo)	Cd	Cd en <i>C. comatus</i> 1.27 mg/kg y <i>P. cornucopiae</i> 2.31 mg/kg	Cd en <i>C. comatus</i> y <i>P. cornucopia</i> e 1.78 mg/kg	<i>Coprinus comatus</i> y <i>Pleurotus cornucopiae</i>	<i>C. comatus</i> 140mg/kg y <i>P. cornucopiae</i> 180 mg/kg	Se eliminó Cd en pesos frescos y secos de <i>C. comatus</i> y <i>P. cornucopiae</i> , 16.93% y 22.90%,	Wang.Y, et al (2021)

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Fitorremediación	Cd y Hg	Cd 3.111 mg/kg y Hg 2.414 mg/kg	Cd 1.035 mg/kg y Hg 1.197 mg/kg	<i>Typha capensis</i>	5 kg	Demostró que elimino 66.7 % Cd y 50.4 % Hg.	Wiafe.S, et al (2019)
Biológica	Fitorremediación	Cd	Cd 10 mg/kg	Cd 4.5 mg/kg	<i>Crassocephalu m crepidioides</i>	10 mg/kg	45, 54 y 55% (hoja, tallo y raíces) en remediación	Cheng.D, et al (2021)
Biológica	Bioacumulación	Cd y Hg	Cd 1.94 mg/kg y Hg 7.19 mg/kg	Cd 0.485 mg/kg y Hg 3.78 mg/kg	<i>Brassica juncea</i>	15mg/kg	Redujo el Cd un 75 % y Hg un 47.3 %	Raj.D (2018)
Biológica	Fitorremediación (Fitoestabilización)	Cd	Cd 250 mg/kg	Cd 62.5 mg/kg	<i>Rorippa sylvestris, Eleusine indica y biocarbon</i>	150 mg/kg, E. indica, con R. sylvestris 100mg/kg y biocarbon 35mg/kg	Redujo el Cd en un 75% con <i>Eleusine indica</i> , con <i>Rorippa sylvestris</i> 79.03% y con biocarbon de cascara de arroz fue de un 81.57%.	Priyadarshini.R y Astuti.A (2020)



Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Fitorremediación	Zn	10g/kg de Zn	0.1 g/kg de Zn	<i>T. Caerulescens</i>	100mg/kg	Se remedio más de 90% Zn	Liu, L. et al (2018)
Biológica	Fitorremediación (Fitoextracción)	Cd y Ni	Cd 0.8 mg/kg y Ni 43.23 mg/kg	Cd 0.75mg/kg y Ni 12.43 mg/kg	<i>Brassica Nigra</i>	97.80 mg/kg	14% de remediación 45% de remediación	HariharaSudhan.C, et al (2021)
Biológica	Fitorremediación (Fitoextracción)	Cd y Zn	Cd 70.7 mg/kg y Zn de 87.73 mg/kg	28.28 mg/kg y 38.60 mg/kg	<i>Sedum alfredii</i>	16.3 mg/kg	60% de remediación 56% de remediación	Yang, W. et al (2018)
Biológica	Fitorremediación (Fitoestabilización)	Cd y Zn	Cd 80 y Zn 4.7mg/kg, Cd 1mg/kg y Zn 500mg/kg	Cd 57.6 y Zn 2.5mg/kg, Cd 0.72mg/kg y Zn 235 mg/kg	<i>Populus alba L.var pyramidalis</i>	165mg/kg	53% de remediación 28% de remediación	Hu, Y. et al (2015)

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Fitorremediación	Hg y Ni	Hg 0.42 mg/kg y Ni 35.54 mg/kg	0.34 mg/kg y 32.62 mg/kg	<i>Vetiver Grass (Chrysopogon zizaniodes)</i>	100 kg	10% de remediación Hg 40% de remediación	Vijayan,D. y Sushama,P (2017)
Biológica	Fitorremediación	Cd y Zn	Cd 11 mg/kg y Zn 395.2 mg/kg		<i>Melilotus officinalis</i>	2000g	45% de remediación 65% de remediación	Steliga,T y Kluk, D(2021)
Biológica	Remediación microbiana	Cd y Ni	Cd 8 mg/kg y Ni 400 mg/kg	Cd 3.73 mg/kg y Ni 154 mg/kg	<i>Brassica napus</i>	122 mg/kg	61.5% de remediación 57.3% de remediación	Boros, E. et al (2021)
Biológica	Fitorremediación	Cd y Zn	Cd 2.93 mg/kg y Zn 158 mg/kg	Cd 1.02 mg/kg y Zn 79 mg/kg	<i>Erodium glaucophyllum</i>	150mg/kg	75% de remediación 50% de remediación	Jeddi, K y Chaibed, M (2018)

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Bioacumulación	Cd, Ni y Zn	Cd 0.43 mg/kg, Ni 33.20 mg/kg y Zn 74.30 mg/kg	Cd 0.129 mg/kg, Ni 9.96 mg/kg y Zn 22.29 mg/kg	<i>Ocimum basilicum L.</i>	50mg/kg	30% de los metales en suelo contaminado, ya que el 70% las concentraciones se dieron en las partes de las plantas.	Dinu, C. et al (2020)
Biológica	Bioacumulación	Cd y Zn	Cd 160 mg/kg y Zn 527 mg/kg	Cd 104 mg/kg y Zn 26.35 mg/kg	<i>A caliginosa y L. terrestris</i>	50mg/kg y 95mg/kg	22-35% remediación con <i>L. terrestris</i>  95% remediación con <i>A. caliginosa</i>	Mombo, S. et al (2018)
Biológica	Bioacumulación	Cd, Hg y Ni	Cd 0.80 mg/kg, Hg 150mg/kg y Ni 20mg/kg	Cd 0.36 mg/kg, Hg 67.5 mg/kg y Ni 9 mg/kg	<i>Eichhornia crassipes Solms</i>	30mg/kg	55% de remediación; 65% de remediación; 85% de remediación	Thapa, G. et al (2016)
Biológica	Remediación microbiana	Cd	Cd 4.35 mg/kg	Cd 2.85 mg/kg	<i>Ipomoea acuática Forsk</i>	65mg/kg	34% de remediación	Wang, T. et al (2020)

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Biorremediación	Cd	Cd 50 mg/kg	Cd 41.85 mg/kg	<i>Lolium multiflorum Lam.</i> y <i>Pseudomonas</i>	50mg/kg	16.3% de remediación	Shi,G. et al (2020)
Biológica	Fitorremediación	Zn	Zn 0.76 mg/kg	Zn 0.76 mg/kg	<i>Vigna subterranea</i>	35mg/kg	Se disminuyó el metal por la división celular de <i>Vigna subterranea</i> .	Eo, O. et al (2017)
Biológica	Fitorremediación	Cd	Cd 82.8 mg/kg	Cd 44.7 mg/kg	<i>Carduus nutans</i>	65mg/kg	46% de remediación	Mahajan,P. et al (2018)
Biológica	Fitorremediación (Fitoextracción)	Zn	1600 mg por un periodo de 35 días	1216 mg por un periodo de 35 días	<i>Spinacea</i> <i>Oleracea</i>	10mg/kg	Redujo en biomasa de 24% en el cultivo de herbáceo utilizado	Grassi et al. (2019)
Biológica	Fitorremediación	Cd y Zn	Cd 50.5 mg/kg y Zn 80.7 mg/kg	Cd 28.785 mg/kg y Zn 38.33 mg/kg	<i>Pleurotus ostreatus</i>	1 kg.	43 % Cd de remediación y 52.5 % Zn de remediación	Reátegui. C (2018)

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Fitorremediación	Cd	Cd 1000 mg/L	Cd 300 mg/L	<i>Bacillus pumilus</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	175mg/kg	<i>P. aeruginosa</i> y <i>A. faecalis</i> eliminó el 70% y el 75% de Cd	Srivastava et al (2015)
Biológica	Remediación microbiana	Cd	Cd 5 mg/kg	Cd 3.34 mg/kg	<i>Lactobacillus plantarum</i>	10mg/kg	<i>Lactobacillus plantarum</i> redujo un 33.2% de Cd	Shuzhu,Z. et al. (2021)
Biológica	Remediación microbiana	Cd	Cd 5 mg/kg	Cd 2.05 mg/kg	<i>Sasa Argenteastriatus</i>	3mg/kg	Disminuyó un 42-59% de Cd con las bacterias	Yin,P. et al (2019)
Biológica	Biorremediación	Zn, Ni y Cd	Cd 34.4, Zn 9.6 y Ni 18.6mg/kg	Cd 17.2, Zn 5.95 y Ni 11.88 mg/kg	<i>Ganoderma lucidum</i>	35mg/kg	Redujo el Cd 50%, Zn 38% y Ni 36.1%, debido al control de acumular en la planta.	Rotimi,A. et al (2020)
Biológica	Biosorción	Cd	Cd 9.5 mg/kg	Cd 6.65 mg/kg	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	35mg/kg	Redujo un 30% de Cd	Raja,E. et al (2018)
Biológica	Remediación microbiana	Cd y Zn	Zn 50mg/kg y Cd 40mg/kg	Zn 5 mg/kg y Cd 0.52 mg/kg	<i>Lumbricus rubellus</i>	50mg/kg	Se eliminó en Zn 90% y Cd 98.7%, en solo 21 días	Berrak,T. et al (2016)

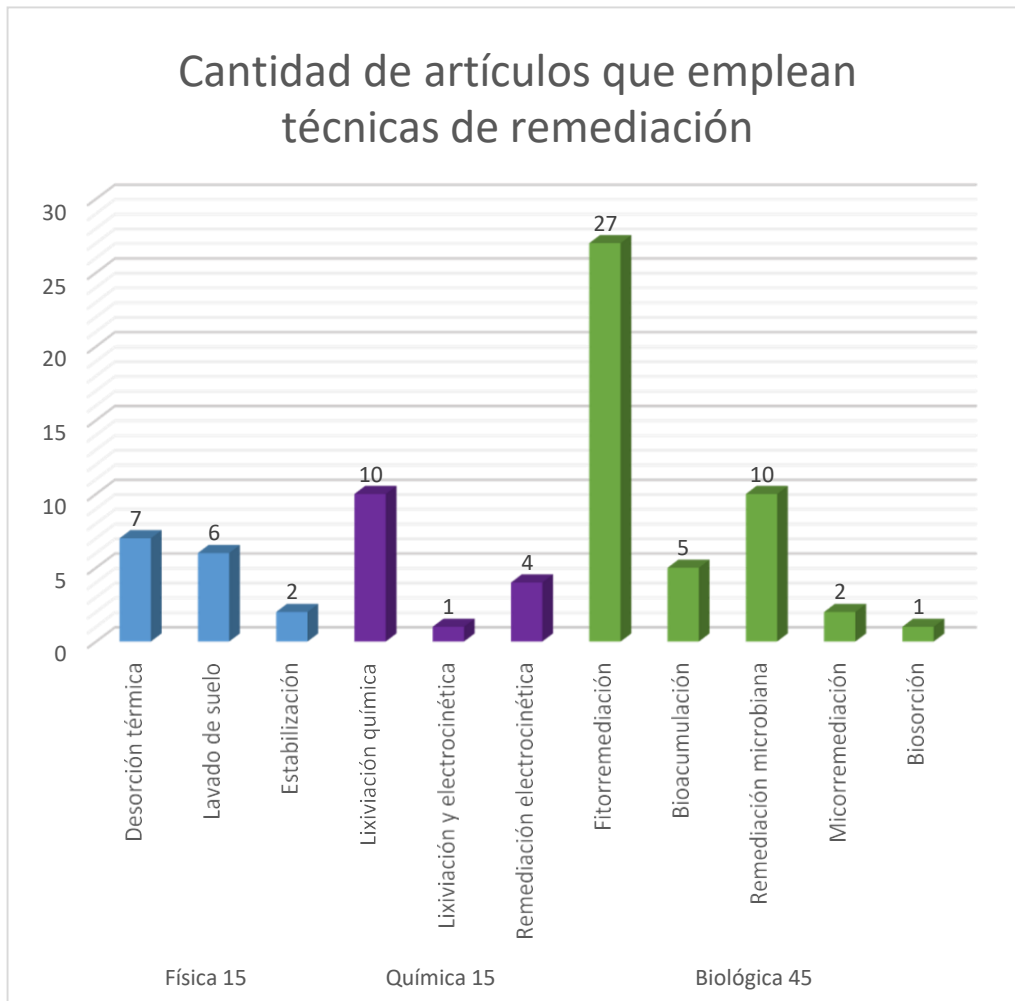
Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Remediación	Zn	Zn 45mg/kg	Zn 22.5 mg/kg	<i>Candida tropicalis</i>	45mg/kg	Se eliminó un 50% de Zn en cinco lavados	Rivaldo,B. et al (2019)
Biológica	Biodegradación (bacteria)	Zn	Zn 10mg/kg	Zn 2.7 mg/kg	<i>Rhodococcus opacus</i>	35mg/kg	en 84 h de 55 a 73%	Lalit,G. et al (2017)
Biológica	Fitorremediación (Fitoextracción)	Cd	Cd 4.57 mg/kg	Cd 2.51 mg/kg	<i>Tagetes patula</i> y <i>Phytolacca americana L.</i>	65mg/kg	Se eliminó en un 45% por la biomasa y materia orgánica en 15 días	Wang,Y. et al (2020)
Biológica	Remediación microbiana	Cd y Ni	Cd 8 mg/kg y Ni 400 mg/kg	Cd 4 mg/kg y Ni 96 mg/kg	<i>Elymus elongatus tierra</i> y <i>Zea mays L.</i>	100mg/kg	Se eliminó un 50 % de Cd y 76% de Ni por el uso de la bacteria	Boros, E. et al (2021)
Biológica	Fitorremediación	Cd y Zn	Zn 183.1 mg/kg y Cd 1.2 mg/kg	Zn 106.1 mg/kg y Cd 0.33 mg/kg	<i>Vicia faba L.</i> y <i>Sulla coronaria L.</i>	135.5mg/kg	Se eliminó un 42% de Zn y 72% de Cd.	Saadani, O. et al (2019)
Biológica	Fitorremediación	Cd y Zn	Cd 3.0 mg/kg y Zn 180 mg/kg	Cd 2.1 mg/kg y Zn 90 mg/kg	<i>P. nigra</i> , <i>P. tomentosa</i> y <i>C. scoparius</i>	120mg/kg	Se eliminó un 30% de Cd y 50% de Ni	Macci,C. et al (2015)

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Fitorremediación (Fitoestabilización)	Cd y Zn	Cd 7,8 mg/kg y Zn 1,88 mg/kg	Cd 4,31 mg/kg y Zn 1,21 mg/kg	ramio de la familia <i>Urticaceae</i> y biocarbón de cáscara de coco	25mg/kg	Cd, 92,9-100%, Zn en raíces en brotes disminuyeron 44.7% y 88.3%.	Zhi, HB; et al (2017)
Biológica	Fitorremediación (Fitoestabilización)	Cd	Cd 3.0 mg/kg y Zn 180 mg/kg		<i>Lolium perenne</i> L. y enmiendas	55mg/kg	Durante 30 días se muestra que el <i>Lolium perenne</i> L. es eficiente.	Xie, YP; Zhang, LL (2017)
Biológica	Fitorremediación (Fitoextracción)	Ni y Zn	de Ni y Zn correspondientes fueron 11,1 y 0,65 mg/kg	de Ni y Zn correspondientes fueron 2,84, y 0,29 mg/kg	Vacuolas y Ramio	50mg/kg	Se demostró que las vacuolas tienen una eficiencia de 74,4 Y 54,9 % de 100 %	Mahara, A; Wang, et al, (2016)
Biológica	Fitorremediación (Fitoestabilización)	Cd, Hg y Zn	Cd (0,10 y 100mg/kg), Hg (0, 2 y 20 mg/kg) y Zn (0, 6 y 30mg/kg)		EDTA y microorganismo	65mg/kg	Se demostró que son hiperacumuladores, EDTA tuvo una efectividad favorable de metales pesados.	Yao, A. et al (2019)

Técnica	Por aplicación	Por concentración de contaminante			Por cantidad de agente remediador		Por eficiencia de remediación	AUTOR (ES)
		Metal pesado	→ C inicial	→ C final	Agente	Cantidad		
Biológica	Fitorremediación (Fitoestabilización)	Cd	0.10-100 mg/Kg	0.045 a 6.758 mg/Kg	Miscanthus x giganteus	15cmx15cmx15cm de cubo de planta/18Kg de suelo	55-93.24%	Zgorelec et al, 2020
		Hg	0.20-20 mg/Kg	0.087 a 0.109 mg/Kg			56.5-99.46% en 3 años	
Biológica	Micorremediación	Cd	70,86 - 178,3mg/kg	19,5-80 mg/kg	Lombriz de tierra	15 gusanos adultos por parcela	55.1-72.8%	Abd, Tae, Jo y Woong, 2018
		Zn	6.22-23.221.56-1299mg/kg 165.23-1597mg/kg	6 -11,5 mg/kg 80-100 mg/kg			98.70-99.77% 51.58-93.7%	
Biológica	Fitorremediación (Fitoestabilización)	Cd	1,26mg/Kg	0 - 0.03 mg/Kg. 150.5	Ramio y enmiendas (biocarbón de cáscara de coco, fertilizante orgánico y Fe, Si, Ca)	Masetas de 26,8cm×26,0 cm×17,8 cm/5Kg de suelo	97.7-100%	Ming et al, 2020
Biológica	Fitorremediación (Fitoextracción)	Zn	285 mg/kg	74.1 mg/kg	Mostaza india, Enmiendas y microorganismos (Abono verde, EDTA, S, bacterias oxidantes)	10g/4Kg de suelo	74%	Mishra et al, 2019
		Cd	2,95 mg/kg	0.56 mg/kg			81%	



**Gráfica 1:** La técnica más usada en la remediación en suelos contaminados por metales pesados.



En la gráfica 1; se observa la cantidad de artículos que han estudiado las diferentes técnicas de remediación para los suelos contaminados por metales pesados; en la revisión sistemática se encontraron 15 artículos que estudia técnicas físicas, de las cuales, 7 aplican desorción térmica, 6 lavado de suelos, 2 estabilización; para las técnicas químicas se encontraron 15 artículos, de los cuales, 10 aplican lixiviación química, 1 lixiviación electrocinética y 4 remediación electrocinética; entre las técnicas biológicas se encontraron 45 artículos, de los cuales, 27 aplicaron fitorremediación, 5 bioacumulación, 10 remediación microbiana, 2 Micorremediación y 1 biosorción. Siendo la remediación biológica el más estudiado.

Del total de 15 artículos en la técnica física, 7 artículos son los más resaltantes en la desorción térmica; según Prodan.V and Szanto.M (2021) indicó haber adquirido una

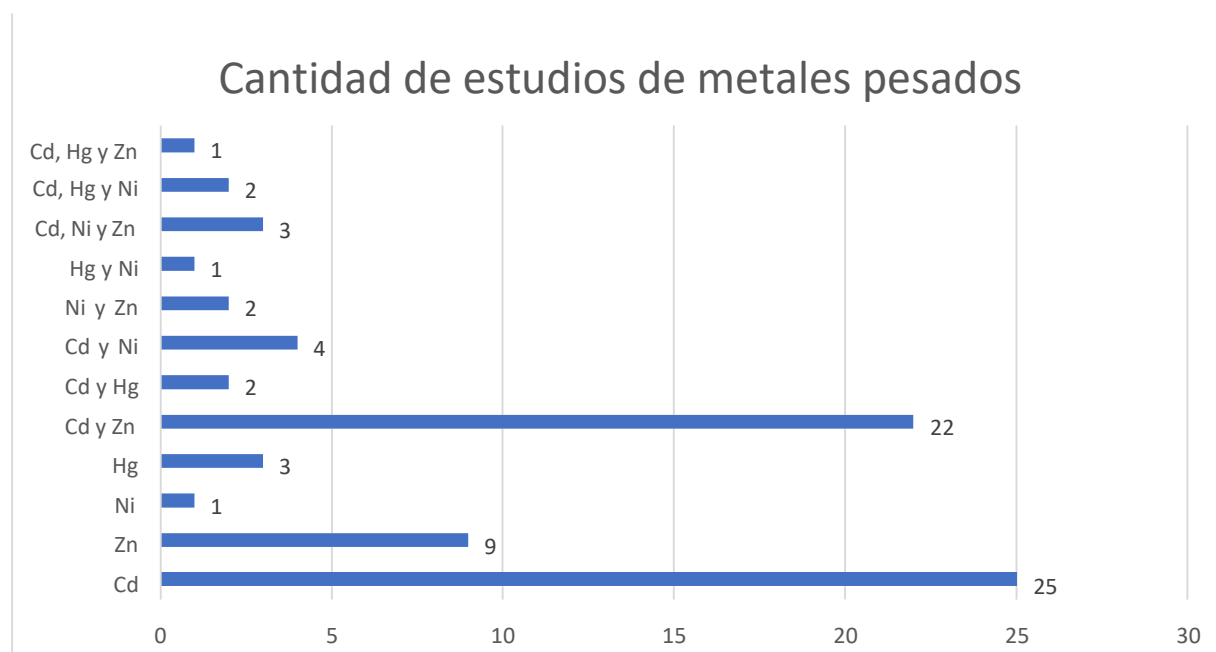
eficiencia de 95% en la remediación de Hg, tratando el metal con una concentración inicial de 8mg/kg y obteniendo una concentración final de 6.5mg/kg, siendo sometido el Hg a una temperatura de 250 °C; posteriormente Sierra.M, et al (2016) mencionó que adquirió una eficiencia de 80% como remediación haciendo uso de una temperatura de 280 °C y 19 % a 560 °C de temperatura para la remoción del Hg, tratando el Hg en una concentración inicial de 5 mol/L y obteniendo una concentración final de 3.5 mol/L. Posterior a ello RoyChowdhury,A. et al (2018) demostró que el uso de materia orgánica para la eliminación del Hg obtuvo un 70% de remediación, tratando una concentración inicial de 347 mg/kg de metal y obteniendo una concentración final de 240 mg/kg; y finalmente Kloss y col., (2016) utilizó una temperatura de 500 °C para el proceso, teniendo como resultado un 85% de remediación en el Cd, tratando el metal en una concentración inicial de 250mg/kg y obteniendo una concentración final de 100mg/kg.

Del total de 15 artículos en técnica química, 10 artículos utilizaron diferentes agentes remediador en la lixiviación química, siendo 4 los más resaltantes: Xie,X. et al (2018) nos explica que utilizó el agente NTA de 100ml para la remediación, obteniendo una eficiencia de 83% en la remoción de Cd, tratando el Cd desde una concentración inicial de 4.71mg/kg y obteniendo una remoción final de 0.96mg/kg; también Li,Q. et al (2019) utilizó el agente KCl de 0.2ml, obteniendo un 94% de remediación para el Cd, tratando el Cd con una concentración inicial de 4.08mg/kg y obteniendo una remoción final de 0.56mg/kg; posterior a ello Othmani et al. (2015) trabajo con bioensayos de organismos (lombrices de tierra) con concentración de 100 ml, donde llegó a obtener un 73 % de remediación en Zn, tratando el metal a una concentración inicial de 20.3 mg/kg y obteniendo una concentración final de 5.481 mg/kg; Finalmente Gil-Diaz et al. (2017) explica que el utilizó un Tetraacetato de etilendiamina disódico (Na<sub>2</sub>EDTA) con 80 ml, logrando remediar un 85% el metal Cd del suelo, tratando el Cd con una concentración inicial de 17.5 mg/kg inicial en el suelo, y obteniendo una concentración final de 2.625 mg/kg.

Del total de 45 artículos de la técnica biológica, 27 artículos emplearon la fitoremediación con porcentajes diferentes de eficiencia dentro de los cuales los artículos más resaltantes son los siguientes: según Ghadiri.J et al (2018) utilizó el *Pasto Vetiver* y la *Festuca*, para la remediación de Cd obteniendo un 88,9% de eficiencia y en el Zn un 67% de eficiencia en la remediación, tratando el metal desde

una concentración inicial de 800 mg/kg para Cd y con una concentración inicial de 37mg/kg para Zn, se llegó a obtener una remediación quedando una concentración final de 10.5mg/kg para Cd y una concentración final de 15.91 mg/kg para Zn; también Priyadarshini.R y Astuti.A (2020) utilizó el *Rorippa sylvestris*, *Eleusine indica* y *biocarbon*; usando concentraciones de 150 mg/kg de *E. indica*, *R. sylvestris* es 100mg/kg y el *biocarbón* con una concentración de 35mg/kg, donde se remedió el Cd un 75% con *Eleusine indica*, y con *Rorippa sylvestris* se remedió un 79.03% y con el biocarbón de cáscara de arroz logro remediar en un 81.57%; tratando los metales desde una concentración inicial de Cd con 250 mg/kg y como concentración final de 62.5 mg/kg para Cd; posteriormente Liu, L. et al (2018) demostró que su remediación fue un 90% en el metal Zn, usando *T. Caerulescens* con 100mg/kg, tratando el Zn con una concentración inicial de 10 g/kg, teniendo como resultado una concentración final de 0.1g/kg de Zn; también Jeddi, K y Chaibed, M (2018) demostraron que con la especie *Erodium glaucophyllum* de 150mg/kg, obtuvieron una remediación de 75% en Cd y en Zn un 50% de remediación, trabajaron con una concentración inicial de 2.93 mg/kg para Cd y Zn con una concentración de 158 mg/kg, obteniendo una concentración final de Cd 1.02 mg/kg y de Zn un 79 mg/kg; posterior a ello Srivastava et al (2015) utilizó *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas aeruginosa* con una concentración de 175mg/kg, obteniendo que *P. aeruginosa* y *A. faecalis* remedió el 70% y 75% de Cd, donde trabajaron una concentración inicial de 1000 mg/L y obteniendo una concentración final de 300 mg/L en Cd; para finalizar Mishra et al, (2019) demostró que la *Brassica juncea*, Enmiendas y microorganismos (abono verde, EDTA, bacterias oxidantes) con una concentración 10g/Kg de suelo, obteniendo una remediación 74% en Zn y 81% en Cd, tratando el metal desde una concentración inicial de 285 mg/kg para Zn y para Cd con 2,95 mg/kg y obteniendo una concentración final de 74.1 mg/kg para Zn y 0.56 mg/kg para Cd con la fitorremediación (fitoextracción).

**Gráfica 2:** los metales pesados que se encuentran con más frecuencia en los suelos contaminados.



En la gráfica 2 se observan la cantidad de estudios que se han realizado a los metales pesados en los suelos contaminados, donde encontramos que 38 artículos estudiaron únicamente a un solo metal pesado; donde, 25 estudiaron únicamente al cadmio (Cd), 9 al zinc (Zn), 1 al níquel (Ni) y 3 al mercurio (Hg); mientras que, 31 artículos estudiaron a dos metales pesados; donde, 22 artículos estudiaron solo al cadmio (Cd) y al zinc (Zn), 4 solo al cadmio (Cd) y al mercurio (Hg), 2 solo al níquel (Ni) y al zinc (Zn) y 1 solo al mercurio (Hg) y níquel (Ni); mientras que, 6 artículos estudiaron a simultáneamente a 3 metales pesados; donde, 3 artículos estudiaron solo al cadmio (Cd), níquel (Ni) y Zinc (Zn), 2 solo al cadmio (Cd), mercurio (Hg) y níquel (Ni); siendo el cadmio el metal pesado más estudiado encontrándose en 59 artículos. Sin embargo, no se encontró algún artículo que estudie a los 4 metales pesados de esta investigación.

En caso de Cadmio (Cd), se obtuvo 25 artículos que lo estudiaron únicamente, y 22 artículos que estudiaron dos metales incluyendo el cadmio (Cd), siendo el cadmio el metal pesado más estudiado encontrándose en 59 artículos en total. Siendo los más resaltantes en su concentración inicial 6 artículos: según Szanto.M and Prodan.V (2021) estudiaron el Cd con una concentración inicial de 8mol/L para ser remediada en el suelo con el lavado de suelo, así mismo Kim.M, et al (2021) estudió el Cd con la concentración inicial de 10mg/kg para la remediación con el lavado de suelo, pero

Kloss y col. (2016) estudió el Cd con una concentración inicial de 150mg/kg para ser eliminada con la desorción térmica; posteriormente Asensio et al. (2015) estudió el Cd con una concentración inicial de 200mg/kg y 300mg/kg siendo tratados con la lixiviación química; así también Moghal et al. (2017) estudió el Cd con una concentración inicial de 150mg/kg de contaminación siendo tratado por la lixiviación química; y por último Sun.Y. Et al (2018) estudió el Cd con una concentración inicial en 257 mg/kg en el suelo para ser remediado por medio de la fitorremediación.

Posterior a ello tenemos el Zn (zinc), con 37 artículos que estudiaron este metal, siendo 5 con mayor concentración de Zn: según Nie.X, et al (2020) estudió el Zn con la concentración inicial de 379.6 mg/kg para ser tratada en la estabilización; así también Feng.Q, et al (2020) estudió el Zn con la concentración inicial de 289.2mg/kg el cual fue tratado con el lavado de suelo, de igual manera que Kim.M, et al (2021) estudió el Zn con una concentración inicial de 180mg/kg siendo remediada en la estabilización; pero He.L, et al (2018) estudió el Zn con una concentración inicial de 195mg/kg en el suelo siendo remediada con el lavado de suelo; y por último Ayuni.S, et al (2020) estudió el Zn con una concentración inicial de 500mg/kg en el suelo y siendo tratado por la remediación electrocinética.

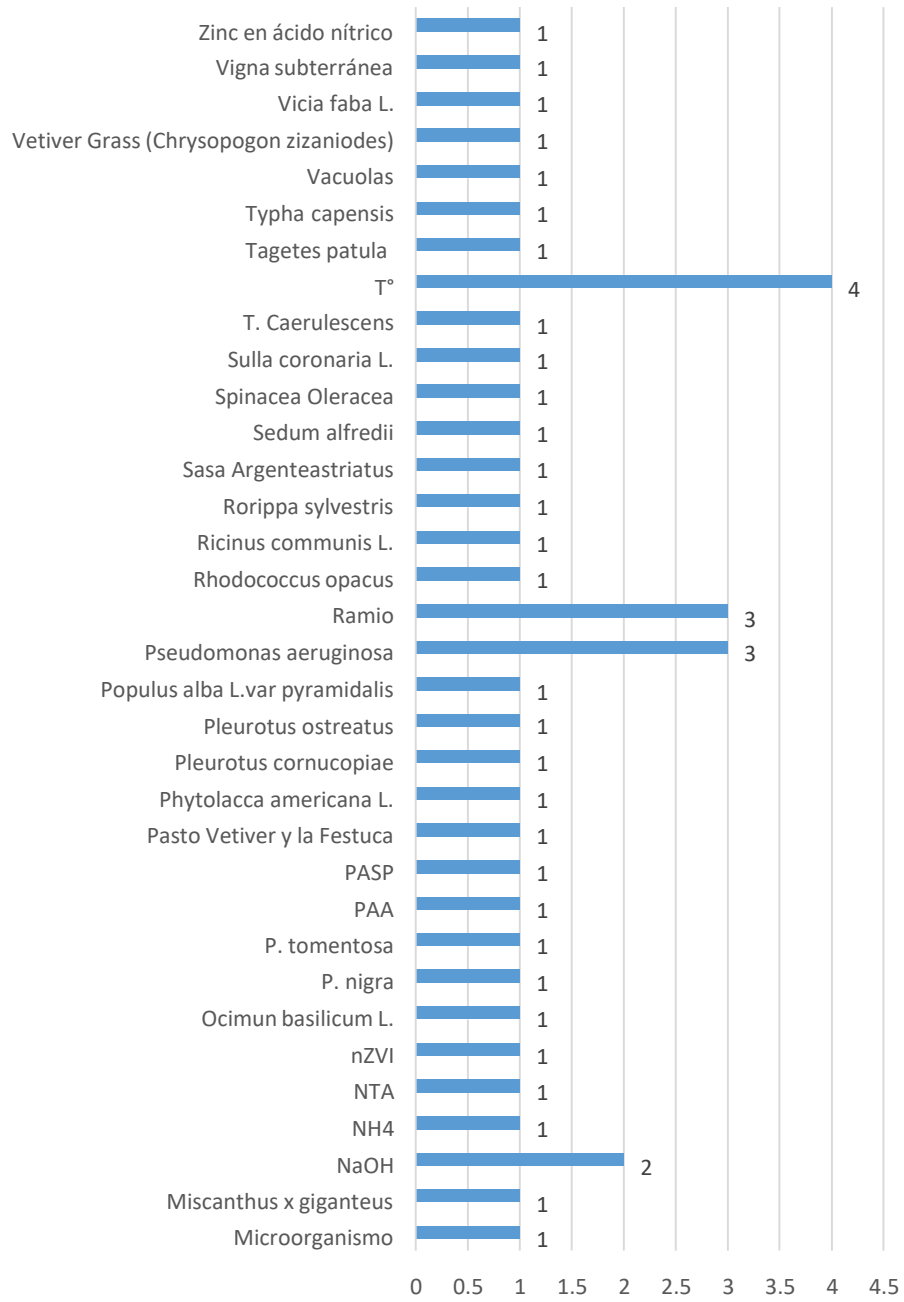
También tenemos el Hg (mercurio), con 9 artículos que estudiaron este metal, siendo 5 con mayor concentración de Hg: según RoyChowdhury,A. et al (2018) estudió el Hg con una concentración inicial de 347mg/kg en la desorción térmica, también Thapa, G. et al (2016) estudió el Hg con una concentración inicial de 150mg/kg de suelo siendo tratada con la bioacumulación, así como Yao, A. et al (2019) estudió el metal con una concentración inicial de 0,2 y 20mg/kg siendo tratado con la fitorremediación, posteriormente Prodan.V and Szanto.M (2021) estudió el Hg con la concentración inicial de 8mg/kg de contaminación de suelo siendo remediado con la desorción térmica, del mismo modo que Sierra.M, et al (2016) estudió el metal con la concentración inicial de 5mg/kg en el suelo, siendo tratado con la desorción térmica.

Por último tenemos a Ni (níquel), con 8 artículos que estudiaron este metal, siendo 5 con mayor concentración de Ni; según Koteswara.G, et al (2020), estudió el Ni con la concentración inicial de 350mg/kg tratándolo con la remediación electrocinética; también Sun.Y. et al (2018) estudió el metal Ni con una concentración inicial de 66.09mg/kg de contaminación siendo tratado con la fitorremediación; luego

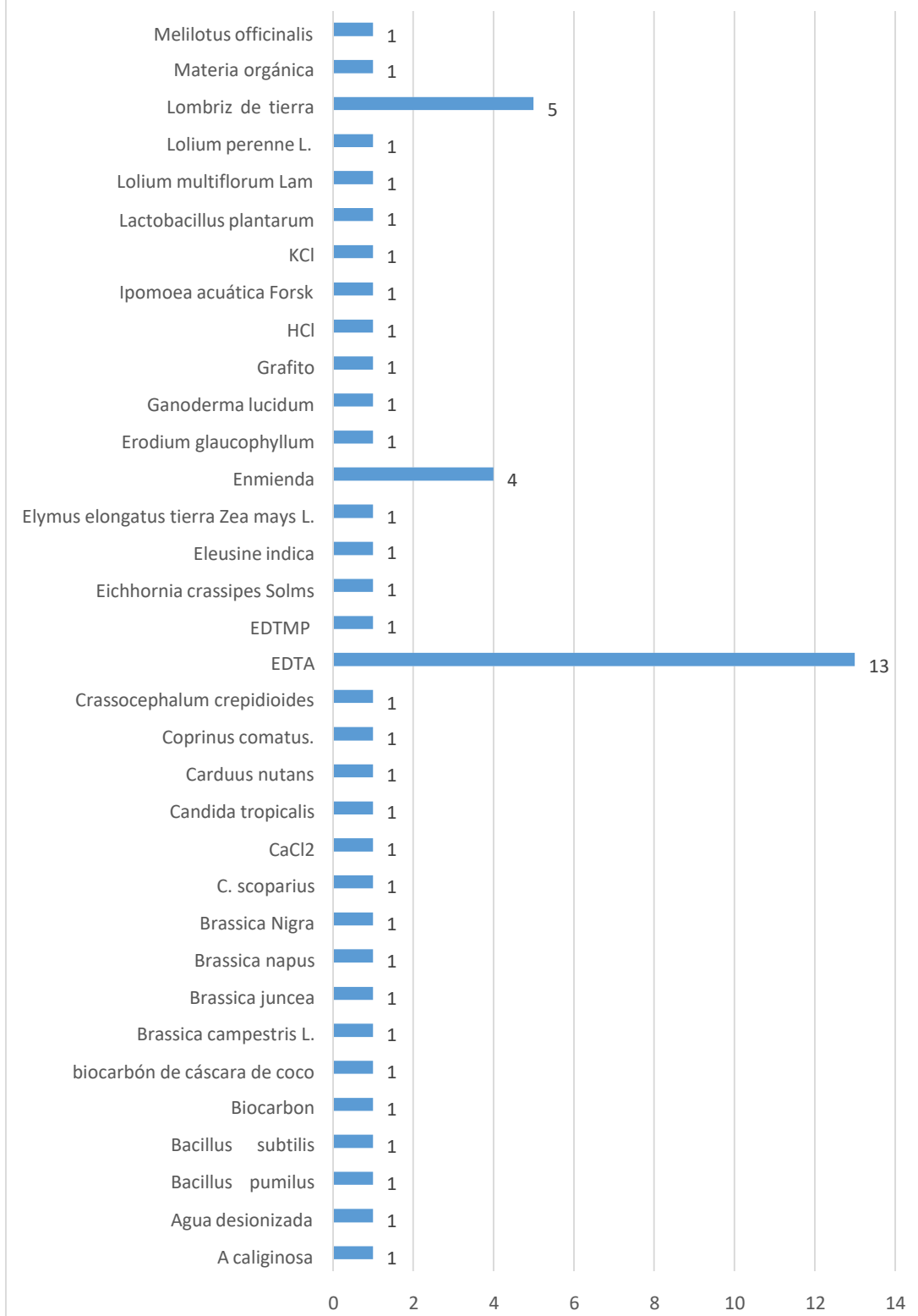
HariharaSudhan.C, et al (2021) estudió el Ni con la concentración inicial de 43.23 mg/kg en el suelo siendo remediado con la fitorremediación, posteriormente Boros, E. et al (2021) estudió el Ni con la concentración inicial de 400mg/kg de contaminación en el suelo usando la remediación microbiana para eliminar el metal y por ultimo Thapa, G. et al (2016) estudió el Ni con la concentración inicial de 20mg/kg siendo tratado con la bioacumulación.

**Gráfica 3:** Agentes remediadores aplicados en las técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados

## Agentes remediadores utilizados en técnicas para suelos contaminados por metales pesados



### Agentes remediadores utilizados en técnicas para suelos contaminados por metales pesados



En la gráfica 3, se detallan los diferentes agentes remediadores que se emplearon en los artículos evaluados, encontrando 68 agentes diferentes; de los cuales la



temperatura se estudió 4 veces; el ramio 3 veces, las *Pseudomonas aeruginosa* 3 veces; el NaOH 2 veces; la lombriz de tierra fue estudiada 5 veces; las enmiendas 4 veces y el EDTA estudiado 10 veces, siendo este último agente el más estudiado de entre los agentes remediadores.

Siendo el EDTA uno de los agentes remediadores más utilizados con 13 artículos, siendo 6 artículos los más resaltantes: según Szanto.M and Prodan.V 2021 remediaron el Zn con el agente EDTA por medio de la técnica física aplicando el lavado de suelo, también Kim.M, et al (2021) remedió el Zn y Cd con el agente EDTA por medio de la técnica física aplicando el lavado de suelo; posteriormente He.L, et al (2018) redujo el Cd y Zn con el agente remediador EDTA por medio de la técnica física mediante el lavado de suelo; continuando con Jiang,M. et al (2020) redujo el Cd con el agente remediador EDTA por medio de la técnica por medio de la lixiviación química; posteriormente Caporale y Violante (2016) remediaron el Zn con el agente EDTA por medio de la técnica química aplicando la remediación electrocinética, para finalizar Zhao et al. (2015) redujo el Cd con el remediador EDTA por medio de la técnica química con la aplicación de la lixiviación química.

Siendo la lombriz de tierra el agente remediador utilizado en 5 artículos, los más resaltantes son 2: según Abad, Tae, Jo y Woong, (2018), redujo el Cd y Zn con el agente remediador de lombrices de tierra por medio de la aplicación de vermiremediación; Othmani et al. (2015), redujo el Zn con el agente remediador de bioensayos de organismos (las lombrices de tierra) aplicando la lixiviación química.

Siendo la temperatura el agente remediador estudiado por 4 artículos, siendo 2 los más resaltantes: según Vies ták et al., (2015) redujo el Cd con el agente remediador temperatura en la desorción térmica que se encuentra en la técnica física; posteriormente Kloss y col., (2016) redujo el Cd con el agente remediador temperatura en la desorción térmica que se encuentra en la técnica física.

Siendo la enmienda el agente remediador estudiado por 4 artículo, siendo 2 los artículos más resaltantes: indicando Ming et al, (2020) que redujo el Cd con el agente remediador la enmienda en la fitorremediación (fitoestabilización) de la técnica biológica; Mishra et al, (2019) redujo el Cd y Zn con el agente remediador enmienda con la fitorremediación (fitoextracción) de la técnica biológica.

## V. CONCLUSIONES:

- Se concluye que las técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados son tres: física, química, y biológica.
- Se concluye que la técnica más utilizada es la biológica por medio de la Fitorremediación (Fitoestabilización, Fitoextracción) ya que la mayoría de los agentes permiten la remoción más de un 60 % y tiene mayor fiabilidad económica.
- Se concluye que los metales más frecuentes en los suelos contaminados por metales pesados en las diferentes técnicas tanto físicos, químicos y biológicos son Cd, Zn, Hg, y Ni, obteniendo así en los resultado que el metal pesado más estudiado es el Cd.
- Se concluye que se han identificado 68 agentes remediadores en su variedad en las técnicas físicas químicas y biológicas, siendo los agentes más frecuentes el EDTA, lombrices de tierra, Temperatura y enmienda orgánica.

## VI. RECOMENDACIONES:

- Se recomienda realizar mayores estudios sobre los agentes físicos, químicos y biológicos (EDTA, enmienda orgánica, temperatura y *Pseudomonas aeruginosa*) para conocer el uso de impacto como remediador y también ampliar el conocimiento de esta investigación.
- Se recomienda llevar a campo la técnica de remediación física (desorción térmica) junto con la técnica de remediación biológica (fitorremediación), para que se observe el comportamiento y la efectividad que la remoción de suelo contaminado por metales pesados.
- Se recomienda realizar más investigaciones sobre las técnicas de remediación química (lixiviación química y remediación electrocinética) con los metales de Hg y Ni, porque se podría utilizar estas técnicas una manera más eficiente y sostenible.
- Se recomienda por último, que se deben enfocar en los impactos positivos o negativos que podría tener las técnicas de remediación en

el suelo por la contaminación de metales pesados, como Cd, Hg, Zn, y Ni, ya que la información es limitada.

## REFERENCIAS

- Agarry, S., *et al.* Bioremediation of Crude Oil-Contaminated Soil in the Presence of Nickel, Zinc and Cadmium Heavy Metals Using Bacterial and Fungal Consortia-Bioaugmentation Strategy. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 2018. vol.7. Disponible en: <http://www.jett.dormaj.com/docs/Volume7/Issue%202/Bioremediation%20of%20Crude%20Oil%20Contaminated%20Soil%20in%20the%20Presence%20of%20Nickel,%20Zinc%20and%20Cadmium%20Heavy%20Metals%20Using%20Bacterial%20and%20Fungal%20Consortia%20Bi.pdf>
- Ashraf.S, Ali.Q, Zahir.A, Ashraf.S, Asghar.H. “Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils”. 2019 Vol. 174. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651319302271>
- ANDRÉS, Dulce. *Ciencias Aplicadas a la Actividad Profesional*.4 a ed. Madrid: Editex S.A.2016, 287 pp. ISBN: 978-84-9078-809-7
- Ayuni,S. et al. Monitoring Ex Situ Electrokinetic Remediation (EKR) using Nitric Acid as Chelating Agent. 2020. Disponible en: [10.1088/1757899X/713/1/012007](https://doi.org/10.1088/1757899X/713/1/012007)
- Azu, M. et al. Removal zinc ions from contaminated soil using biodegradable polyaspartate via soil washing process. 2019. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1349/1/012146>
- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z. A., Ashraf, S. & Asghar, H. N. Phytoremediation: Environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 74, 714-727 (2019).
- Bernal, M., *et al.* Content validity by expert judgment of an instrument to measure physical-emotional perceptions in the practice of anatomical dissection. 2018 Disponible en: <https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.08.008>

- Bello AO, Tawabinib BS, Khalilc AB, Bolandd CR, Salehe TA. Phytoremediation of wáter contaminated with cadmium, lead and nickel by *Phragmites australis* in hydroponic systems, (2018).
- Berrak.T, et al. “Use of worms in the removal of heavy metals in the soil”. Vol.19. 2016. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2033708797/96298C54DE3B44B0PQ/1?accountid=37408>
- Boros.E, et al. “The Response of the Soil Microbiome to Contamination with Cadmium, Cobalt and Nickel in Soil Sown with Brassica napus”. Vol. 11. 2021. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2532184784/D818DF4C0FA94512PQ/1?accountid=37408>
- Boros.E, et al “Energetic Value of Elymus elongatus L. and Zea mays L. Grown on Soil Polluted with Ni<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, and Sensitivity of Rhizospheric Bacteria to Heavy Metals”.Vol. 16. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2565225850/F3D9F2A66FAE4B3BPQ/1?accountid=37408>
- Castro.C, Urbieta. M, Plaza. J, Donati. E. “Metal biorecovery and bioremediation: Whether or not thermophilic are better than mesophilic microorganisms”. 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419302093>
- Chaoua, S., Boussaa, S., El Gharmali, A., Boumezzough, A. “Impact of irrigation with wastewater on accumulation of heavy metals in soil and crops in the region of Marrakech in Morocco”. Vol 18, 2019. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658077X17303521?via%3Dihub>
- Chopra,N. et al. Remediation of Nickel Ion from Soil and Water Using Nano Particles of Zero-Valent Iron (nZVI).2017. Vol. 33. Disponible en: <http://www.orientjchem.org/vol33no2/remediation-of-nickel-ion-from-soil-andwater-using-nano-particles-of-zero-valent-iron-nzvi/>
- Cheng.D, et al “The Potentiality of Crassocephalum crepidioides for

Phytoremediation of Cd Contaminated Soil under the Application of EDTA”.Vol.

1. 2021. Disponible en:

<https://www.proquest.com/docview/2512942700/C8C426C7BB6246DCPQ/1?accountid=37408>

- Delgadillo, A., et al. (2015). Phytoremediation: an alternative to eliminate contamination. Tropical and subtropical agroecosystems, vol. 14, Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187004622011000200002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S187004622011000200002&script=sci_arttext)
- Emenike.C, Jayanthi.B, Agamuthu.P, Fauziah.S. “Biotransformation and removal of heavy metals: a review of phytoremediation and microbial remediation assessment on contaminated soil”. 2018. Disponible en: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/er-2017-0045>
- Eltaher, G., et al. Biomass estimation and heavy metal accumulation by *Pluchea dioscoridis* (L.) DC. in the Middle Nile Delta, (Egypt): Perspectives for phytoremediation. South African Journal of Botany, 2019 vol. 127. Disponible en: <https://sci-hub.se/10.1016/j.sajb.2019.08.053>
- Eo.O, et al. “The Influence of Cd and Zn Contaminated soil on the Germination and Growth of Bambara Nut (*Vigna subterranea*)”. Vol.4. 2017. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/1931582741/AD3F4C2F47ED478CPQ/1?accountid=37408>
- Fasani E, Manara A, Martini F, Furini A, Dal CG. The potential of plant genetic engineering for the remediation of soils contaminated with heavy metals (2017).
- Feng, W. et al. Soil washing remediation of heavy metal from contaminated soil with EDTMP and PAA: properties, optimization, and risk assessment. 2020.  
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389419309513?via%3Dihub>
- Ghadiri, S., Farpoor, MH y Hejazi Mehrizi, M. Phytoremediation of soils contaminated by heavy metals using *Pasto Vetiver* y *Festuca Alta*.p.123-132. 2018.
- Green,C. & Hofnagle, A. Phytoremediation field studies database for metals.

- (2019).
- Huan L, Haixia Z, LonghuaW, Anna L, Fang-Jie Z, Wenzhong X. La ATPasa 3 de metal pesado (HMA3) confiere hipertolerancia al cadmio al hiperacumulador de cadmio / zinc *Sedum plumbizincicola*, (2017).
  - Huang D, Hu C, Zeng G, Cheng M, Xu P, Gong X, Wang R, Xue W. Combination of Fenton processes and biotreatment for wastewater treatment and soil remediation.(2016).
  - Hassan MM, Memon KS, Rafique E. Heavy-metal potencial de fitoextracción de espinacas y mostaza cultivadas en suelos calcáreos contaminados (2015).
  - HariharaSudhan.C, et al. "Polluted Landfill adaptation into agricultural soil: heavy metal phytoremediation with Indian Black Mustard (*Brassica Nigra*) and dolomitic lime fertilizer".Vol. 120. 2021. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2513062127/393A475E4407419CPQ/1?accountid=37408>
  - Hejna, M., et al. Bioaccumulation of heavy metals from wastewater through a *Typha latifolia* and *Thelypteris palustris* phytoremediation system. *Chemosphere*, 2020, vol. 241, p. 125018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00456535193225>
  - Hernandez, R., Fernandez, C. & Baptista, P. Metodología de la Investigación. Quinta Edición McGraw-Hill. *Ultra*, México. 2014 Disponible en: [https://www.esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf](https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf)
  - He, L. et al. Optimization of EDTA enhanced soil washing on multiple heavy metals removal using response surface methodology. 2018. Vol. 26. Disponible en: <https://doi.org/10.3846/jeelm.2018.6121>
  - Hu.Y, Nan.Z, et al. "Heavy metal accumulation by poplar in calcareous soil with various degrees of multi-metal contamination: implications for phytoextraction and phytostabilization".Vol.20. 2015. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/1435825359/E0890687256F4282PQ/1?accountid=37408>

- Hyeop-Jo Han, Kyoung-Woong, Kim. Assessment of the stabilization of heavy metal contaminants in soils using chemical leaching and an earthworm bioassay (2018).
- Hauptvogel, M. et al. Phytoremediation Potential of Fast-Growing Energy Plants: Challenges and Perspectives (2020).
- Huang, L.G; Li, Y.Y; Zhao, M; Chao, Y.Q.; Qiu, R.L.; Yang, Y.H.; Wang, S.Z. Potential of *Cassia alata* L. Coupled with Biochar for Heavy Metal Stabilization in Multi-Metal Mine Tailings. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2018).
- Ishaque W, Shakoor MB, Dawood M, Gill RA, Abbas F. Exogenous application of ethylene exogenous application of ethylene diamine tetraacetic acid improves phytoremediation of cadmium by *Brassica napus* L (2015).
- Lu, L, Li, W., Song, W. & Guo, M. Remediation techniques for heavy metal-contaminated soils: Principles and applicability. 633, 206-219 (2018).
- Ianxu Wang, B, Xinbin Feng, Christopher WN Anderson, Ying Xing, D, Lihai Shanga. Remediation de sitios contaminados con mercurio: una revisión (2016).
- Jacob, J, Karthik, C, Ganesh, R, Kumar, S, Desika, P, Kadirvelu, Arivalagan, P. "Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature". 2018. Vol. 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479718303104>
- Jan, A, Azam, M, Siddiqui, K, Arif, A, Qazi R. "Heavy Metals and Human Health: Mechanistic Insight into Toxicity and Counter Defense System of Antioxidants". 2015. Disponible en: <https://www.mdpi.com/14220067/16/12/26183>
- Jeedi, K and Chaieb, M. "Evaluation of the potential of *Erodium glaucophyllum* L. for phytoremediation of metal-polluted arid soils". Vol. 25. 2018. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2127091658/BF548668A7664ACEPQ/1?accountid=37408>
- Jiang, M. et al. Recycling of Chemical Eluent and Soil Improvement After Leaching. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02748-1>

- Koteswara,G. et al. Cost Estimation of Electrokinetic Soil Remediation for Removal of Six Toxic Metals from Contaminated Soil. 2020. Vol. 19. Disponible en: <https://doi.org/10.46488/NEPT.2020.v19i05.014>
- Khalid.S, Muhammad.S, Khan.N, Murtaza.B, Irshab,B. Dumat.C. “A comparison of technologies for remediation of heavy metal contaminated soils” vol. 182. 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674216303818>
- Kannepalli Annapurna & Mahesh Chand Meena & Brahma Swaroop Dwivedi, Enhancing the effectiveness of zinc, cadmium, and lead phytoextraction in polluted soils by using amendments and microorganisms (2019).
- Kumpiene.J, Nordmark.D, Carabante.I, Ceslovas.V. “Remediation of soil contaminated with organic and inorganic Wood impregnation chemicals by soil washing”. Vol 184. 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517308470>
- Kumar K, Helmy M, Dhankher OP. Possible biotechnological strategies for cleaning heavy metals and metalloids (2016).
- Kim, M. et al. Effects of Washing Solution, Washing time, and Solid-Solution Rate on the Maximum Heavy Metal Removal Efficiency. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11146398>
- Lu, J., et al. Multi-criteria decision analysis of optimal planting for enhancing phytoremediation of trace heavy metals in mining sites under interval residual contaminant concentrations. Environmental Pollution, 2019. Vol. 255  
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S02697491193255>
- Luna JM, Rufino RD, Sarubbo LA. *Candida sphaerica* UCP0995 biosurfactant exhibiting heavy metal remediation properties (2016).
- Lakkireddy K, Kues U. Bulk isolation of fungal basidiospores by electrostatic attraction with low risk of microbial contamination. (2017).



- Liu.S, et al “Bioremediation mechanisms of combined pollution of PAHs and heavy metals by bacteria and fungi: A mini review”. Vol. 224. 2017. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416316169>
- Liu, C.; Wei, X.G.; Qiu, H.; Tang, Y.T.; Morel, J.L.; et al. Simultaneous attenuation of phytoaccumulation of Cd and Ni in soil treated with inorganic, organic and amendments (2019).
- Mahar.A, Wang.P, Kumar.M, Hussain.A, Quan.W, Ronghua.Z.”Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review”. Vol. 126. 2016. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651315302116>
- Mahajan.P and Kaushal.J. “Role of Phytoremediation in Reducing Cadmium Toxicity in Soil and Water”. 2018. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2129406928/F8D4529BC640401APQ/1?accountid=37408>
- Macci.C, et al “A real-scale soil phytoremediation”. Vol. 4. 2015. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/1357560877/7679CCD3F66747DEPQ/1?accountid=37408>
- Mosa KA, Saadoun I, Kumar K, Helmy M, Dhankher OP. Possible biotechnological strategies for cleaning heavy metals and metalloids, (2016). Abioye OP, Oyewole OA, Oyeleke SB, Adeyemi MO, Orukotan AA.
- Mo-Ming Lan, Chong Liu, Shi-Jiao Liu, Rong-Liang Qiu and Ye-Tao Tang Phytostabilization of Cd and Zn in Highly Polluted Farmland Soils Using Ramie and Amendments (2020).
- Mombo.S, et al. “Metal soil pollution differentially affects both the behaviour and exposure of *A. caliginosa* and *L. terrestris*: a mesocosm study”. Vol.3. 2018. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/1992789650/8F49E0C2A51C40F1PQ/1?accountid=37408>

- Marzan LW, Hossain M, Mina SA, Akter Y, Chowdhury AMMA. Isolation and biochemical characterization of heavy metal resistant bacteria from effluent of a tannery in Chittagon city, Bangladesh: bioremediation point of view (2017).
- Mahar, A. et al. Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicol. Environ.* (2016).
- Nie, X. et al. Magnetic removal/immobilization of cadmium and zinc in contaminated soils using a magnetic microparticle solid chelator and its effect on rice cultivation. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02554-6>
- Petelka.J, Abraham.J, et al. “Soil Heavy Metal (loid) Pollution and Phytoremediation Potential of Native Plants on a Former Gold Mine in Ghana”. 2019. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs112700194317-4>
- Peña Rivera, F. de M., & Beltrán Lázaro, E. (2019). Application of phytoremediation in soils contaminated by heavy metals using *Helianthus Annuss L.* at the El Mantario Experimental Station University Prospective, p. 31-45.
- Prodan,V. et al. Application of termal desorption as treatment method for soil contaminated with hazardous chemicals. 2021. Disponible en: <http://www.aes.bioflux.com.ro/docs/2011.3.140-147.pdf>
- Prodan,V. et al. Study on optimal application of the ex-situ soil washing method to remove metals from polluted soils. 2021.
- Priyadarshini.R, and Amir.H. “Growth performance and biomass production of *Eleusine indica* and *Rorippa sylvestris* on heavy metal contaminated soil after biochar application”. Vol. 4. 2020. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2441869591/57D8E9C5774B4DB5PQ/1?accountid=37408>
- Quispe, R, et al. Concentration of heavy metals: chrome, cadmium and lead in surface sediments in the river Coata, Peru. 2019. Vol 36. Disponible en:

[http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0250-54602019000200003&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0250-54602019000200003&lng=es&nrm=iso)

- Raja.E. “Cadmium (heavy metals) bioremediation by *Pseudomonas aeruginosa*: a minireview”. Vol.6. 2018. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2102389153/53ED999185534635PQ/1?accountid=37408>
- Raj.D. “Bioaccumulation of mercury, arsenic, cadmium, and lead in plants grown on coal mine soil”. Vol.3. 2019. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2242708061/C3C95874266B48C3PQ/1?accountid=37408>
- Rivaldo.B, et al “Application of a low-cost biosurfactant in heavy metal remediation processes”. Vol.4. 2019. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2034090060/BB649535561F4810PQ/1?accountid=37408>
- Rodriguez.D. Occupational heavy metal poisoning.2017. Vol.21. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S10293019201700120012](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S10293019201700120012)
- Rodrigo.D. Estimation of the phytoremediation capacity of the sunflower *Helianthus Annus L.* through the incorporation of amendments for soils contaminated with heavy metals from metalworking industries. ResearchGate 2018. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/327166972>
- RoyChowdhury. A, Datta.R, Sarkar.D. “Heavy Metal Pollution and Remediation”. 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128092705000157>
- Rotimi.A, et al. “Bioremediation potential of *Ganoderma lucidum* (Curt:Fr) P. Karsten to remove toxic metals from abandoned battery slag dumpsite soil and immobilisation of metal absorbed fungi in bricks”. Vol.1. 2020. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2474239947/5C9EDF74C49A4C45PQ/1?accountid=37408>
- Reyes, Y. *et al.* Heavy metal contamination: Implications for health, environment and food safety. Engineering Investigation and Development. 2016. vol.

16. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

- Reategui de la Cruz, Kasandra. Effect of the dosage of *Pleurotus ostreatus* on the absorption of heavy metals in contaminated soils, Shahuindo Cajamarca. Thesis (Academic Degree in Environmental Engineering). Peru: César Vallejo University, Faculty of Engineering, professional school of Environmental Engineering. 2018. 59 pp.
- Res. N° 215-2018-CONCYTEC-P. Reglamento de calificación, clasificación y registro de los investigadores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación tecnológica - reglamento renacyt. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 25 de noviembre del 2018.
- Sarwar, Nadeem, et al. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: Modifications and future perspectives. Vol. 171, 2017 Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516318574>
- Saadani.O, et al “Effect of *Vicia faba* L. var. minor and *Sulla coronaria* (L.) Medik associated with plant growth-promoting bacteria on lettuce cropping system and heavy metal phytoremediation under field conditions”. Vol. 26. 2019. Disponible en:  
<https://www.proquest.com/docview/2171890982/813F2556B8E3427DPQ/1?accountid=37408>
- Shah, V, et al. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. Environmental Technology & Innovation, 2020. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S23521864193081>
- Singh, Rajani, et al. Adaption mechanisms in plants under heavy metal stress conditions during phytoremediation. En Phytomanagement of Polluted Sites Elsevier, 2019. p. 329-360. Disponible en  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128139127000132>

- Sierra, M. et al. Sustainable remediation of mercury contaminated soils by thermal desorption. 2016. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-015-5688-8>
- Steliga.T and Kluk.D. “Assessment of the Suitability of *Melilotus officinalis* for Phytoremediation of Soil Contaminated with Petroleum Hydrocarbons (TPH and PAH), Zn and Cd Based on Toxicological Tests”. Vol.9. 2021. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2554657726/63D5F17596774B46PQ/1?accountid=37408>
- Sun.Y, Wen.Chengfeng, et al. “Determination of the phytoremediation efficiency of *Ricinus communis* L. and methane uptake from cadmium and nickel-contaminated soil using spent mushroom substrate”. Vol.25. 2018. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2110394798/D470904E8BA24459PQ/1?accountid=37408>
- Shuzhu.Z, et al. “Remediation effect of cadmium contaminated soil by the combination of *Lactobacillus plantarum* and red mud”. Vol. 1. 2021. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2555407011/1EA0ED2EA5A448AEPQ/1?accountid=37408>
- Shi.G, et al. “Modification-bioremediation of copper, lead, and cadmiumcontaminated soil by combined ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) and *Pseudomonas aeruginosa* treatment”. Vol. 30. 2020. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2441384933/5ED5C71DC94E4756PQ/1?accountid=37408>
- Sharma.P. “Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update”. Vol. 328. 2020. Disponible en: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421001747?dgcid=rss\\_sd\\_all](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421001747?dgcid=rss_sd_all)

- Srivastava S, Agrawal SB, Mondal MK. A review of the progress of removal of heavy metals by adsorbents of microbial and plant origin (2015)
- Singh N, Tuhina V, Rajeeva G. Hexavalent chromatography detoxification by an indigenous facultative anaerobic *Bacillus cereus* strain isolated from tannery effluent, (2015)
- Santoyo.M. Ecotoxicological study on the bioaccumulation of heavy metals in two plant species associated with the tailings of Huautla, Morelos. Tesis (Doctoral). México: Universidad Autónoma Del Estado De Morelos, 2020.
- Shah.V, Daverey.A. “Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil”. 2020. Vol.18, Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186419308107>
- Tiwari S, Singh SN, Garg SK Microbiologically improved phytoextraction of soil modified with heavy metal fly ash. Common soil science plan, (2015).
- Thapa.G, et al. “Endurance assessment of *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms, in heavy metal-contaminated site—a case study”. Vol.2. 2016. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2500693131/2FB48E7DC52C4101PQ/1?accountid=37408>
- Vijayan.D, et al. “Heavy metal contamination of dumpyard soils and its phytoremediation with Vetiver Grass (*Chrysopogon zizanioides*)”. Vol. 16. 2017. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/1878388695/22BEE60AF7DC4C91PQ/1?accountid=37408>
- Wan J, Zhang C, Zeng G, Huang D, Hu L, Huang C, Wu H, Wang L.
- Synthesis and evaluation of a new class of stabilized nanoclapatite for the immobilization of Cd in sediments. (2016).
- Wang,S. et al. Adsorption and Desorption of Cd by Soil Amendment: Mechanisms and Environmental Implications in Field-Soil Remediation. 2018. Vol. 10. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/7/2337/htm>

- Wang.Y, et al “Effects of EDDS on the Cd uptake and growth of Tagetes patula L. and Phytolacca americana L. in Cd-contaminated alkaline soil in northern China”. Vol. 27. 2020. Disponible en:  
<https://www.proquest.com/docview/2419210804/A801A649A73C4DD7PQ/1?accountid=37408>
- Wang.Y, Wang.X, et al. “Impacts and tolerance responses of Coprinus comatus and Pleurotus cornucopiac on cadmium contaminated soil”.Vol.211. 2021. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651321000403?via%3Dihub>
- Wang.T, Wang.X, et al. “Screening of Heavy Metal-Immobilizing Bacteria and Its Effect on Reducing Cd<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> Concentrations in Water Spinach (Ipomoea aquatica Forsk.)”. Vol.9. 2020. Disponible en:  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32365834/>
- Wiafe.S, et al “Assessment of Typha capensis for the remediation of soil contaminated with As, Hg, Cd and Ni”. Vol. 6. 2019. Disponible en:  
<https://www.proquest.com/docview/2219883784/A0D50529F10E4C61PQ/1?accountid=37408>
- Xia.W, Feng.Y, Du. Y, Reddy,K. Wei.M. “Solidification and stabilization of heavy metal-contaminated industrial site soil using KMP binder”, vol.30, 2018. Disponible en:  
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2s2.085044330409&origin=inward>
- Yadav S, Srivastava J. Phytoremediation of Cadmium Toxicity by *Brassica*, (2014).
- Yang.W, Weichun.L, Wenbin.L, Shikang, Q. “Combination of bioleaching by gross bacterial biosurfactants and flocculation: A potential remediation for the heavy metal contaminated soils”, vol.206, 2018. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351830821X>
- Yin.P, Liu.X, et al “Effects of cadmium stresses on microbial community diversity in soil potted with *Sasa Argenteastratus*”. Vol.300. 2019. Disponible en:

<https://www.proquest.com/docview/2557859967/C98C89B761D64DD7PQ/1?accountid=37408>

- Yuan,X. et al. Immobilization of heavy metal in two contaminated soils using a modified magnesium silicate stabilizer. 2018. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11356-018-3140-6>
- Yang,W, Li.P, et al. “Changes in metal availability and Improvements in microbial properties after phytoextraction of a Cd and Zn contaminated soil”.Vol.101. 2018. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2126470596/B42E71DA1D694531PQ/1?aaccountid=37408>
- Zeng G, Jia W, Huang D, Liang H, Chao H, Min C, Xue W, Gong X, Wang R, Jiang D. Effect of precipitation, adsorption and rhizosphere, mechanisms for phosphate-induced Cd immobilization in soils: a review (2017).
- Zhao, T. et al. Low-thermal remediation of mercury-contaminated soil and cultivation of treated soil. 2018. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356018-2387-2>
- Zeljka Zgorelec, Nikola Bilandzija, Kristina Knez, MarijaGalic & Silva Zuzul. Cadmium and Mercury phytostabilization from soil using *Miscanthus × giganteus* (2017).
- Zhongbing Lin & Renduo Zhang & Shuang Huang & Kang Wang Impact of chemical leaching on permeability and cadmium removal from fine-grained soils (2017).
- Zhu, H.H.; Wang, S.; Xu, C.; Luo, Z.C.; Zhu, Q.H. Phytoavailability of Cd and Zn in crop straw biochar-amended soil is related to the heavy metal content of both biochar and soil (2017).