

Meta-analysis of the efficacy of *Urtica urens* and *Brassica rapa* for phytoremediation of lead and cadmium contaminated soils

Haniel Josue Torres Joaquín, MSc.¹, Jostin Sneider Azcarate Miyagui, Bach.², Fiorella Huarac Temoche, Bach.²
^{1,2}*Universidad Privada del Norte, Perú*, Haniel.torres@upn.pe, n00050705@upn.pe, n00093919@upn.pe

Abstract-*This study evaluates the phytoremediation capacity of *Urtica urens* and *Brassica rapa* in lead (Pb) and cadmium (Cd) contaminated soils through a meta-analysis of 55 scientific articles selected from indexed databases. The results indicate that *Urtica urens* has a higher accumulation of Pb in its leaves (147.74 mg/kg), while *Brassica rapa* concentrates a higher amount of Cd in its roots (4.46 mg/kg). Statistical analysis, performed with SPSS software, allowed determining the mean concentrations of these metals in both species. It was identified that the main phytoremediation strategies employed are phytoextraction and phytostabilization. In*

*terms of efficiency, *Urtica urens* achieved a removal rate of 70 % for Pb, while *Brassica rapa* achieved 27.60 % for Cd removal. The PRISMA methodology was used for the selection and analysis of the studies, ensuring the quality and validity of the meta-analysis. The findings of this research provide relevant evidence on the potential of these species in the remediation of soils contaminated with heavy metals.*

Keyword-Phytoremediation, contaminated soils, lead, cadmium, efficacy.

Metaanálisis de la eficacia de *Urtica urens* y *Brassica rapa* para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo y cadmio

Haniel Josue Torres Joaquín, MSc.¹, Jostin Sneider Azcarate Miyagui, Bach.², Fiorella Huarac Temoche, Bach.²
^{1,2}Universidad Privada del Norte, Perú, Haniel.torres@upn.pe, n00050705@upn.pe, n00093919@upn.pe

Resumen- Este estudio evalúa la capacidad fitorremediadora de *Urtica urens* y *Brassica rapa* en suelos contaminados con plomo (Pb) y cadmio (Cd) mediante un metaanálisis de 55 artículos científicos seleccionados de bases de datos indexadas. Los resultados indican que *Urtica urens* presenta una mayor acumulación de Pb en sus hojas (147,74 mg/kg), mientras que *Brassica rapa* concentra una mayor cantidad de Cd en sus raíces (4,46 mg/kg). El análisis estadístico, realizado con el software SPSS, permitió determinar las concentraciones medias de estos metales en ambas especies. Se identificó que las principales estrategias de fitorremediación empleadas son la fitoextracción y la fitoestabilización. En términos de eficiencia, *Urtica urens* logró una tasa de remoción del 70 % para el Pb, mientras que *Brassica rapa* alcanzó un 27,60 % en la remoción de Cd. La metodología PRISMA fue utilizada para la selección y análisis de los estudios, asegurando la calidad y validez del metaanálisis. Los hallazgos de esta investigación aportan evidencia relevante sobre el potencial de estas especies en la remediación de suelos contaminados con metales pesados.

Palabra clave—Fitorremediación, suelos contaminados, plomo, cadmio, eficacia.

I. INTRODUCCIÓN

A. Realidad Problemática

Históricamente, la vida humana ha dependido del uso de los recursos naturales, como los suelos, para satisfacer sus necesidades básicas. No obstante, la contaminación del suelo, derivada de diversas actividades antropogénicas, ha alterado significativamente sus propiedades físico-químicas, comprometiendo la biodiversidad y amenazando la sostenibilidad ambiental [1]. El suelo, como componente esencial de la corteza terrestre, actúa como un reservorio de contaminantes, incluyendo metales pesados, cuya acumulación puede generar graves problemas ambientales, como la alteración de la cadena trófica y el desarrollo de enfermedades en los seres humanos, entre ellas el cáncer [2][3].

Las actividades mineras representan una de las principales fuentes de contaminación del suelo, debido a la generación de residuos con alta carga de metales pesados. Este fenómeno contribuye a la degradación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la reducción de la productividad del ecosistema [4][5]. En respuesta a esta problemática, diversas tecnologías han sido desarrolladas para mitigar sus impactos, entre ellas la fitorremediación, un enfoque biotecnológico que utiliza plantas con capacidad de absorber, acumular y estabilizar contaminantes para la restauración de suelos degradados [6][7].

En el contexto peruano, la actividad minera ha generado una degradación significativa de los suelos en regiones como Madre de Dios, afectando la biodiversidad y representando un riesgo para la salud pública. En este escenario, la fitorremediación se presenta como una estrategia viable, ya que ciertas especies vegetales poseen la capacidad de acumular metales pesados y contribuir a la recuperación ecológica del entorno [8].

A nivel nacional, diversas especies vegetales han sido identificadas con potencial para la bioacumulación de metales pesados, lo que ha impulsado el interés por la fitorremediación como una alternativa sostenible para la descontaminación de suelos y aguas residuales. La contaminación por plomo (Pb) y cadmio (Cd), en particular, constituye un problema ambiental crítico, pues estos elementos, provenientes principalmente de la actividad minera, afectan el suelo, el agua y el aire, generando riesgos significativos para la salud humana debido a su bioacumulación en los ecosistemas [9].

En el ámbito de la remediación ambiental, diversas tecnologías han sido desarrolladas con el objetivo de reducir la toxicidad y la concentración de contaminantes a través de procesos químicos, físicos y biológicos. La fitorremediación, que comprende mecanismos como la fitoextracción, la fitodegradación y la fitoestabilización, se ha consolidado como una estrategia eficiente para la rehabilitación de suelos contaminados con metales pesados [10][11].

B. Bases teóricas

Contaminación del Suelo

La contaminación del suelo se refiere a la introducción de sustancias extrañas o a concentraciones inusuales de compuestos que alteran sus propiedades físico-químicas y biológicas, afectando negativamente a los organismos del suelo y su entorno [12]. Esta problemática es atribuida principalmente a actividades industriales y mineras, que provocan la degradación del suelo y alteraciones en la capa freática, el pH, la temperatura y el contenido de materia orgánica [13]. Además, diversos estudios han evidenciado la presencia de metales pesados en cultivos como brócoli, lechuga y papa, lo que representa un riesgo para la salud humana, ya que su consumo puede causar intoxicaciones y enfermedades graves, incluido el cáncer [14].

Plomo en Plantas

El plomo (Pb) es un metal altamente tóxico y persistente en el medio ambiente, cuya presencia proviene principalmente de actividades mineras, fundiciones e industrias manufactureras

[15]. Este metal puede formar sales solubles que contaminan suelos y aguas, ingresando posteriormente a la cadena trófica a través de cultivos agrícolas. Para mitigar sus efectos, se han desarrollado estrategias de fitorremediación y fitorrestauración, que emplean plantas para eliminar, estabilizar o reducir la toxicidad del plomo en los ecosistemas contaminados [16].

Cadmio en Plantas

El cadmio (Cd) es un metal pesado no esencial, de alta movilidad en suelos contaminados y con una persistencia significativa en el medio ambiente [17]. Su incorporación a la cadena trófica ocurre principalmente a través de vegetales contaminados, representando un riesgo para la salud humana. Su toxicidad varía según factores como el tipo de suelo, la movilidad del metal y el pH, siendo que su disponibilidad en el suelo disminuye en condiciones alcalinas [18]. Actualmente, diversas especies vegetales han desarrollado mecanismos de tolerancia para limitar su transporte a los tejidos, lo que ha impulsado su uso en estrategias de remediación ambiental.

Fitorremediación

La fitorremediación es una ecotecnología de bajo costo y alta eficiencia que emplea plantas para absorber, acumular o estabilizar contaminantes, incluyendo metales pesados [19]. Derivada del término "phyto" (planta) y "remediación" (corrección), esta técnica es utilizada para mitigar la contaminación por metales pesados en suelos, aguas y sedimentos [20]. De acuerdo con [7], la fitorremediación abarca diversos mecanismos que permiten la extracción y estabilización de contaminantes, ofreciendo una solución ambientalmente sostenible y económicamente viable, aunque con procesos de acción relativamente lentos [21].

Fitoextracción

La fitoextracción es un método en el que las plantas absorben metales pesados a través de sus raíces y los acumulan en sus tejidos aéreos [19]. Según [22], esta estrategia se aplica principalmente con especies hiperacumuladoras, capaces de almacenar altas concentraciones de contaminantes. Su eficiencia depende de factores edáficos como el pH, la capacidad de intercambio catiónico y el potencial redox, los cuales influyen en la biodisponibilidad de los metales [10]. Estudios han demostrado que esta técnica es efectiva en la remediación de suelos contaminados con metales y metaloides [24].

Fitoestabilización

La fitoestabilización consiste en el uso de plantas tolerantes a metales pesados para inmovilizar contaminantes en el suelo, evitando su dispersión y reduciendo su disponibilidad para la biota [25]. Según [23], este mecanismo se basa en procesos como la adsorción, la precipitación y la modificación del pH del suelo, lo que contribuye a la inactivación de elementos tóxicos como plomo (Pb), cadmio (Cd) y cromo (Cr) [10]. Además, se ha demostrado su eficacia en la remediación de suelos contaminados con compuestos orgánicos [24].

Urtica urens

La *Urtica urens* (ortiga menor) es una especie fitoestabilizadora y acumuladora con capacidad para bioacumular metales pesados como plomo y cadmio en sus raíces, tallos y hojas, limitando su propagación en el suelo y evitando su lixiviación hacia capas más profundas [21]. Esta planta herbácea alcanza hasta 1 metro de altura en condiciones de alta humedad, pH entre 5.5 y 8, y baja exposición solar. Se desarrolla en suelos ricos en nitrógeno, potasio y hierro, comúnmente ubicados en zonas agrícolas a altitudes entre 2100 y 4000 m.s.n.m. [26]. Además, estudios han demostrado que sus hojas contienen molibdeno y vanadio, favoreciendo la proliferación de bacterias fijadoras de nitrógeno y mejorando la calidad del suelo [27].

Brassica rapa

La *Brassica rapa* (nabo) es una planta acumuladora y fitoestabilizadora con capacidad para absorber y retener metales pesados como plomo y cadmio en sus tejidos vegetales, evitando su dispersión en el ambiente [21]. Perteneciente a la familia Brassicaceae, esta especie se adapta a climas templados y suelos con pH entre 5 y 8, creciendo en altitudes de 2500 a 3100 m.s.n.m. [28]. Se ha identificado como una de las especies más tolerantes al cadmio, aunque su consumo representa un riesgo para la salud, ya que la raíz del nabo, rica en vitamina C, puede acumular niveles peligrosos de este metal [28].

Este estudio se centra en evaluar la eficacia de la fitorremediación mediante *Urtica urens* y *Brassica rapa* en suelos contaminados con plomo y cadmio, a través de un metaanálisis de investigaciones publicadas entre 2011 y 2021. El objetivo principal es determinar la capacidad de estas especies para remediar suelos contaminados con metales pesados, considerando su eficiencia en la bioacumulación y estabilización de estos contaminantes en distintos tipos de suelos. Los resultados permitirán establecer la viabilidad de *Urtica urens* y *Brassica rapa* como alternativas ecológicas para la remediación ambiental en escenarios de contaminación por plomo y cadmio. Finalmente, el presente estudio busca reforzar la información presentada mediante la aplicación de análisis estadísticos que permitan la visualización de los datos y de esta manera poder sintetizar y comparar enfoques, metodologías y resultados de otros metaanálisis que contrasten patrones hacia la obtención de resultados óptimos y aclarar las discrepancias de cada contexto de estudio.

II. METODOLOGIA

Este metaanálisis tiene como objetivo abordar un problema mediante el conocimiento científico, generando soluciones en beneficio de la sociedad a través de enfoques creativos e innovadores para alcanzar resultados óptimos [29]. La importancia de esta investigación radica en su contribución a la ciencia y tecnología para el desarrollo socioeconómico, empleando métodos de recolección de datos, técnicas

analíticas e hipótesis que sirvan como base para futuros estudios científicos [30].

El estudio adopta un enfoque cualitativo, ya que se fundamenta en la recopilación y análisis de datos obtenidos a partir de la búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas. Según [29], este tipo de investigación considera distintos puntos de vista de los autores, lo que permite una interpretación más flexible y abierta de los resultados en la búsqueda de soluciones a la pregunta principal del estudio.

En cuanto a su propósito, se trata de una investigación básica, también denominada pura o dogmática, pues busca describir y comprender el problema para identificar soluciones. En este caso, la investigación se centra en la remediación de suelos contaminados con metales pesados, como plomo y cadmio, mediante el uso de *Brassica rapa* y *Urtica urens* [31].

Desde el punto de vista del análisis de datos, el estudio es de carácter retrospectivo, ya que se basa en fuentes bibliográficas previas para sintetizar la información disponible. Un estudio retrospectivo requiere información previamente verificada y registrada en fuentes científicas originales con acceso libre [32]. En este sentido, [33] señalan que este tipo de análisis permite establecer una relación directa entre el diseño de la investigación y su objeto de estudio, en este caso, la remediación de suelos contaminados con plomo y cadmio mediante *Brassica rapa* y *Urtica urens*, considerando distintos enfoques y perspectivas.

El diseño de la investigación es transversal, lo que, según [34], permite analizar la relación entre dos o más variables mediante una medición en un momento determinado, optimizando el uso de recursos limitados. En este estudio, se recopilaron y analizaron datos de los últimos 10 años sobre la temática.

Para el desarrollo de la investigación, se empleó la metodología del metaanálisis, lo que implica la búsqueda y evaluación crítica de estudios previos que respondan a una misma pregunta de investigación. Esta metodología sistemática y explícita permite identificar, seleccionar y analizar estudios relevantes relacionados con la remediación de suelos contaminados con plomo y cadmio mediante *Brassica rapa* y *Urtica urens*, determinando su eficacia en función de los resultados obtenidos en revisiones sistemáticas. La población de estudio está conformada por investigaciones previas sobre especies vegetales utilizadas en la remediación de suelos contaminados con metales pesados, específicamente plomo y cadmio. La muestra se compone de estudios que han investigado el uso de *Brassica rapa* y *Urtica urens*. La búsqueda de información se realizó utilizando las palabras clave: "fitorremediación", "eficacia", "suelos contaminados", "plomo" y "cadmio", obteniendo un total de 88 estudios. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron 55 artículos.

El proceso de selección inició con la recopilación de información mediante la búsqueda de artículos científicos indexados. De los 88 estudios identificados, solo 55 cumplieron con los criterios establecidos, tales como el período de revisión científica, tipo de publicación, idioma, palabras clave, objetivos de investigación y calidad del

artículo. Se priorizaron aquellos publicados en revistas indexadas, asegurando así una metodología rigurosa y consistente.

Las bases de datos consultadas fueron ALICIA CONCYTEC (1), Dialnet (3), Ecologistas en Acción (1), Ecosistemas (1), E-library (1), United States Environmental Protection Agency (EPA) (1), FAO (1), Google Académico (23), Plos One (1), Redalyc (8), Repositorios Institucionales (30), Researchgate (1), Revista de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (4), Revista Internacional de Contaminación Ambiental (1), Scielo (9), SPDA Actualidad Ambiental (1), WorldWideScience (1).

TABLA I
CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Crterios	Inclusión	Exclusión
Periodo de tiempo	Trabajos de investigación que se encuentren en el rango de tiempo entre los últimos 10 años: 2011-2021	Trabajos de investigación que presentan una antigüedad menor o igual al 2010
Tipo de publicación	Se seleccionaron artículos científicos y tesis de repositorios institucionales	Otros
Idioma	Trabajos de investigación que se encuentren en el idioma español	Trabajos de investigación que se encuentren en otros idiomas
Palabras Claves	Trabajos de investigación que contengan las palabras claves como: fitorremediación, eficacia, suelos contaminados, plomo, cadmio	Trabajos de investigación que sean ajenas a las palabras claves
Pregunta de investigación	Trabajos de investigación que respondan a la pregunta de investigación y cumplan con nuestros objetivos	Trabajos de investigación que no respondan a la pregunta de investigación

La búsqueda de los artículos científicos se realizó mediante palabras clave, ya que permiten describir las características principales de un artículo. Esta estrategia es fundamental tanto en la formulación de la pregunta de investigación como en el proceso de búsqueda [35]. Según [36], una estrategia efectiva consiste en transformar la pregunta en un conjunto claro de términos, priorizando sustantivos sobre oraciones extensas. Además, se pueden formular frases alternativas, utilizar sinónimos o emplear términos generales según la necesidad de la investigación.

Para mejorar la precisión de la búsqueda, se utilizaron operadores booleanos (*AND*, *OR*, *NOT*), los cuales permiten combinar términos y así ampliar o restringir la búsqueda de información [37,38].

A continuación, se presentan algunas de las estrategias de búsqueda utilizadas:

- a) La estrategia de datos utilizada para la base de datos Redalyc, fue la siguiente: ("Fitorremediación"[MeSH Terms] AND ("Plomo" OR "Lead"[All Fields]) AND

- ("Cadmio" OR "Cadmium"[All Fields]) AND "Ambiental"[All Fields])
- b) La estrategia de datos utilizada para la base de datos Dialnet, fue la siguiente: ("Fitorremediación"[MeSH Terms] OR "Phytoremediation"[All Fields]) AND ("Contaminación"[All Fields] AND "Metales pesados"[All Fields])
 - c) La estrategia de datos utilizada para la base de datos Scielo, fue la siguiente: (("Suelos" OR "Soils") AND ("Metales pesados" OR "Heavy metals")) AND "Fitorremediación"
 - d) La estrategia de datos utilizada para los Repositorios Institucionales como: Repositorio Institucional UNMSM, Repositorio Institucional UCV, Repositorio Institucional UAP, Repositorio Institucional Continental, Repositorio Institucional UNACH, Repositorio Institucional UCSUR, Repositorio Institucional UPN, fue la siguiente: ("Fitorremediación" OR "Phytoremediation") AND "Urtica Urens" AND "Brassica Rapa"
 - e) La estrategia de datos utilizada en la base de datos Plos One, fue la siguiente: "Brassica rapa" AND ("Metales pesados" OR "Heavy metals" OR "Metals")
 - f) La estrategia de búsqueda utilizada en la base de datos Alicia Concytec, fue la siguiente: ("Capacidad" OR "Fitorremediación") AND ("Metales pesados" OR "Heavy metals")
 - g) La estrategia de datos utilizada para la base de datos Google Académico, fue la siguiente: ("Fitorremediación" AND "Plomo" AND "Cadmio")
 - h) La estrategia de datos utilizada para la base de datos Revista de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos fue la siguiente: ("Brassica rapa") AND ("suelos contaminados" OR "suelo contaminado" OR "contaminación del suelo") AND "metales pesados"
 - i) La estrategia de datos utilizada para la base de datos WorldWideScience fue la siguiente: ("Metales pesados" OR "Contaminantes" AND "Brassica rapa")
 - j) La estrategia de datos utilizada para la base de datos de Revista Internacional de Contaminación Ambiental fue la siguiente: ("Fitorremediación" "[All Fields] AND "Metales pesados" AND "Contaminación")
 - k) La estrategia de datos utilizada para la base de datos E-library fue la siguiente: ("Soil"[MeSH Terms] OR "Soil"[All Fields] OR "Soils"[All Fields]) AND ("metals, heavy"[MeSH Terms] OR "metals"[All Fields])

Para la presente investigación se tomaron en cuenta los criterios como el periodo de tiempo, es decir, trabajos de investigación que se encuentren en el rango de tiempo entre los años: 2011-2021, además con respecto al tipo de publicación solo se tomaron en cuenta los artículos científicos

y tesis de diferentes repositorios. Se procedió a realizar un descarte de los trabajos de investigación que se encuentren en otro idioma que no sea el español. Asimismo, se descartaron artículos que no cumplen con el objetivo del estudio y con la calidad del artículo.

Los métodos de selección de artículos se basaron en tiempo, entre los años: 2011-2021, las bases de datos consultadas fueron ALICIA CONCYTEC, Dialnet, E-library, Google Académico, Plos One, Redalyc, Repositorios Institucionales, Revista Internacional de Contaminación, Revista de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Scielo, a nivel nacional y Sudamérica, los tipos de estudios corresponden a cualitativos y experimentales.

La técnica que se utilizó para recoger información fue el análisis documental, según [39] este análisis implica un proceso centrado en la búsqueda, recuperación, evaluación, análisis y comprensión de información secundaria, es decir, aquella recopilada y registrada por otros investigadores en diversas fuentes como libros, medios audiovisuales o bases de datos electrónicas. Al igual que en cualquier otro tipo de investigación, el objetivo de este enfoque es contribuir al conocimiento mediante la interpretación crítica de los datos disponibles.

En el presente metaanálisis se utilizó la técnica de análisis documental, para identificar la metodología y efectividad de las investigaciones sobre la remediación de suelos contaminados con plomo y cadmio, enfocándose particularmente en aquellas que emplean las plantas *Brassica rapa* y *Urtica urens* como base

En el presente apartado se tiene a la ficha de contenido, como instrumento de recolección de datos, según [40] manifiesta que las fichas son herramientas donde registramos por escrito datos relevantes hallados durante nuestra investigación, con el propósito de acceder a ellos fácilmente en cualquier momento. Al utilizar estas herramientas para organizar la información, facilitamos la conexión de ideas sobre un tema específico y su pronta localización.

Además, [41] señala que escribir reflexiones, comentarios o un análisis personal sobre una idea permite al investigador darle posteriormente un orden y coherencia interna a su propio pensamiento.

En este sentido, el instrumento que se empleará para la presente investigación será fichas resumen, en las cuales se colocará información relevante de cada estudio, según [42] nos indica que se trata de una herramienta que nos ayuda a ordenar y clasificar los datos consultados, pero, sobre todo, colocando nuestras observaciones y críticas de manera analítica y sintética. Además, [43] comentan que al referirse a este tipo de fichas aseguran que en ellas el investigador pone de manifiesto su habilidad para profundizar en el tema, realizando una unión entre la lectura y la reflexión dando como resultado "información valiosa".

El proceso utilizado para la recolección de datos consistió, en primer lugar, en buscar estudios científicos basados en la metodología PRISMA, ya que esta facilita la obtención de información relevante sobre el tema de interés, la

biorremediación de suelos contaminados con plomo y cadmio. Además, se recurrió a repositorios confiables de universidades y publicaciones científicas como Scielo y Redalyc.

En segundo lugar, para seleccionar únicamente aquellos estudios relacionados con las variables de esta investigación descriptiva, se aplicó el siguiente filtro: que no tuviesen más de 11 años de antigüedad, idioma español, fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados como plomo y cadmio, y el uso de las especies vegetales *Brassica rapa* y *Urtica urens*.

En tercer lugar, se realizó en el programa Excel la elaboración de matriz de consistencia, operacionalización de variables y también matriz resumen para colocar información puntual, es decir revista y/o repositorio donde se publicó, autores, año de publicación, palabras clave o método de búsqueda y título de investigación de cada uno de los estudios que pasaron el filtro mencionado.

Es relevante destacar que, para evaluar la eficacia de la remediación con ambas plantas, se aplicó la fórmula de Harrington Emerson (1912), la cual fue inicialmente empleada por Seiichi Nakajima, creador del TPM: Mantenimiento Productivo Total, como un recurso esencial para evaluar el desempeño productivo de la maquinaria industrial. A continuación, se presenta en detalle la mencionada fórmula [44]:

$$\%E = \left(\frac{Ci - Cf}{Ci} \right) * 100$$

Donde:

Ci = Concentración inicial

Cf = Concentración final

En cuarto lugar, para el análisis de los datos, se tomaron en cuenta como parámetros de la variable independiente las especies *Brassica rapa* y *Urtica urens*, específicamente en relación con su morfología vegetal, el porcentaje de remoción y la eficacia en la remoción de contaminantes. Para la variable dependiente, que son los suelos contaminados con plomo y cadmio, los parámetros considerados fueron la concentración inicial y final de los contaminantes.

Los análisis estadísticos fueron realizados con el apoyo del programa estadístico informático SPSS, permitiendo una evaluación precisa de las variables y de los objetivos generales y específicos del estudio. En cuanto a las pruebas estadísticas, se emplearon medidas de tendencia central como la media, mediana y moda, así como pruebas de análisis de varianza y desviación estándar. Estas herramientas permitieron resumir los datos numéricos y realizar comparaciones entre las variables, facilitando la interpretación del comportamiento de las especies en su capacidad para remediar suelos contaminados. Además, se destacó la credibilidad y consistencia de los resultados obtenidos en el presente metaanálisis.

III. RESULTADOS

Se presenta el Diagrama de flujo del proceso de los resultados de las investigaciones incluidas para realizar el presente metaanálisis, indicando de manera resumida la cantidad de investigaciones mediante la búsqueda de estudios relevantes.

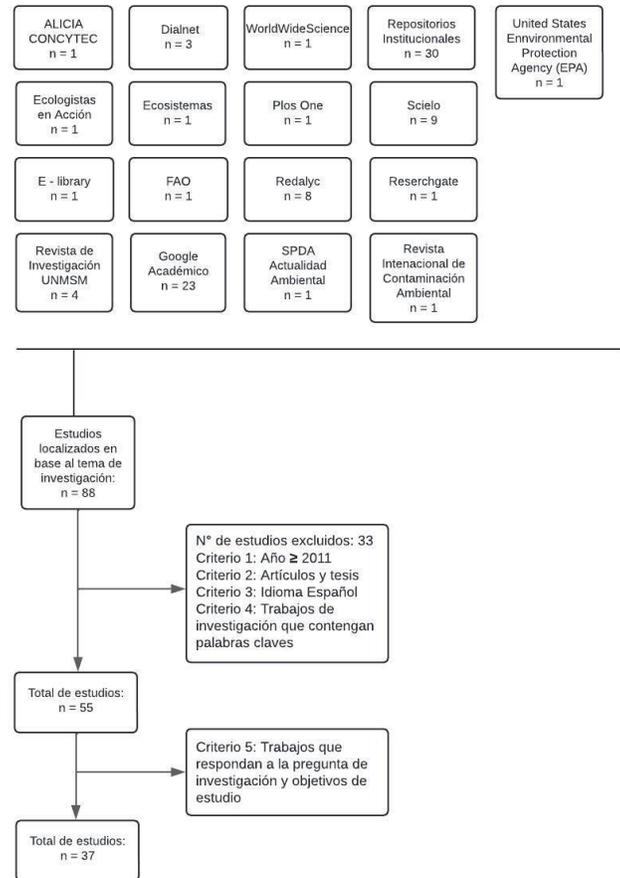


Fig. 1 Diagrama del Proceso de Recolección de datos

En la tabla II, se describe los estudios de cada autor para el caso de la especie vegetativa *Urtica urens*, evidenciando la cantidad de concentración inicial y final, tenemos que el estudio de [4], obtuvo una concentración inicial y final de plomo, de 2846 mg/kg y 1991.5 mg/kg, respectivamente, lo cual en comparación a los otros autores mencionados, indica que la especie vegetativa, presenta una gran capacidad de remoción de Pb, durante un proceso de fitorremediación, demostrando que a mayor presencia del contaminante mayor será la adsorción, sin embargo la concentración de agregados, también influye. Con respecto, a las remociones menores, se obtuvo un parámetro que oscilan entre los 70 mg/kg y los 329.01mg/kg. Asimismo, se utilizó la fórmula de Harrington Emerson (2012) para calcular el porcentaje de eficacia en relación con la cantidad de remoción que se obtuvo de los estudios mencionados, el estudio de [26], quien obtuvo un

70% de eficacia, siendo el más resaltante en comparación con los otros estudios.

TABLA II
EFICACIA DE LA ESPECIE VEGETATIVA *URTICA URENS* PARA LA REMOCIÓN DE Pb SEGÚN ESTUDIOS

Autor / Año	Especie	Concentración Inicial (Pb) mg/Kg	Concentración Final (Pb) mg/Kg	Remoción (mg/kg)	Eficacia (%)
Bernabé & Medina (2018)	<i>Urtica urens</i>	100	30	70	70.0
Castro (2020)	<i>Urtica urens</i>	683.26	531.647	151.61	22.2
Díaz (2017)	<i>Urtica urens</i>	1119.51	1010.046	109.46	9.8
Harvey (2018)	<i>Urtica urens</i>	1399.388	1161.554	237.83	17.0
Jara et al (2014)	<i>Urtica urens</i>	2846	1991.5	854.50	30.0
Marcelo (2017)	<i>Urtica urens</i>	9.88	9.01	0.87	8.8
Mogollón et al (2018)	<i>Urtica urens</i>	34.12	12.4	21.72	63.7
Murtic et al (2019)	<i>Urtica urens</i>	145.27	145.06	0.21	0.1
Rumaldo (2019)	<i>Urtica urens</i>	980	650.99	329.01	33.6
Yacolca (2017)	<i>Urtica urens</i>	417.185	257.48	159.705	38.3

En la tabla III, se realizó un análisis estadístico en base a los valores cuantitativos referente a la concentración de plomo y su eficacia respectivamente en los órganos vegetativos de la especie vegetativa *Urtica urens* mediante el programa estadístico informático SPSS.

TABLA III
VALORES ESTADÍSTICOS DE EFICACIA PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE Pb EN LA ESPECIE VEGETATIVA *URTICA URENS*

DATOS ESTADÍSTICAS	EFICACIA (%)	CONCENTRACIÓN INICIAL (Pb) MG/KG	CONCENTRACIÓN FINAL (Pb) MG/KG
MEDIA	29,345	773,4613	579,9687
MEDIANA	26,107	550,2225	394,5635
MODA	,1 [^]	9,88 [^]	9,01 [^]
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	23,0687	879,55382	646,93686
VARIANZA	532,166	773614,922	418527,30

En la tabla IV, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, con un nivel de confianza de 95%. Como se observa el nivel de significancia es mayor a 0,05, lo cual indica que existe una distribución normal en los datos de eficacia, demostrando que la especie *Urtica Urens*, es eficiente para fitoextraer el plomo presente en suelos contaminados.

TABLA IV
PRUEBA DE NORMALIDAD CON LA VARIABLE DE EFICACIA DE Pb EN LA ESPECIE VEGETATIVA *URTICA URENS*

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Eficacia (%)	,110	10	,200 [*]	,971	10	,902

En la tabla V, para el caso de la especie vegetativa *Brassica Rapa*, tenemos que el estudio de [45] obtuvo una concentración inicial de plomo, de 215.2 mg/kg, seguido de una concentración final de 163.8 mg/kg, respectivamente, lo cual indica que la especie vegetativa, presenta una gran capacidad de remoción de Pb, durante un proceso de fitorremediación, demostrando que a mayor presencia del contaminante mayor será la adsorción, sin embargo, la concentración de agregados, también influye.

Asimismo, se utilizó la fórmula de Harrington Emerson (2012) para calcular el porcentaje de eficacia, donde se obtuvo un 23.88%, con una remoción menor en cuanto a comparación con la *Urtica urens*, lo cual refleja una relación en cuanto al porcentaje de eficacia obtenida. Finalmente, se aplicaron las pruebas de normalidad de Shapiro & Kolmogorov, las cuales se vieron afectadas por la cantidad de datos, al igual que los valores estadísticos.

TABLA V
EFICACIA DE LA ESPECIE VEGETATIVA *BRASSICA RAPA* PARA LA REMOCIÓN DE Cd SEGÚN ESTUDIOS

Autor / Año	Especie	Concentración Inicial (Pb) mg/kg	Concentración Final (Pb) mg/kg	Remoción (mg/kg)	Eficacia (%)
Tenorio (2018)	Brassica rapa	215.2	163.8	51.4	23.88

En la tabla VI, se describe los estudios de cada autor para el caso de la especie vegetativa *Brassica Rapa*, evidenciando la cantidad de concentración inicial y final, tenemos que el estudio de [46], obtuvo una concentración inicial y final de plomo, de 117.09 mg/kg y 98.95 mg/kg, respectivamente, lo cual en comparación a los otros autores mencionados, indica que la especie vegetativa, presenta una gran capacidad de remoción de Pb, durante un proceso de fitorremediación, demostrando que a mayor presencia del contaminante mayor será la adsorción, sin embargo la concentración de agregados, también influye.

Asimismo, se utilizó la fórmula de Harrington Emerson (2012) para calcular el porcentaje de eficacia en relación con la cantidad de remoción que se obtuvo de los estudios, el estudio de [45], obtuvo un 27.60% en comparación con [46] de 15.58 %, siendo el primero el más resaltante.

TABLA VI
EFICACIA DE LA ESPECIE VEGETATIVA *BRASSICA RAPA* PARA LA REMOCIÓN DE Cd SEGÚN ESTUDIOS

Autor / Año	Especie	Concentración Inicial (Pb) mg/kg	Concentración Final (Pb) mg/kg	Remoción (mg/kg)	Eficacia (%)
Chavarrea & Aguaisa	Brassica rapa	117.09	98.85	18.24	15.58

(2021)					
Tenorio (2018)	Brassica rapa	11.63	8.42	3.21	27.60

En la tabla VII, se realizó un análisis estadístico en base a los valores cuantitativos referente a la concentración de cadmio y su eficacia respectivamente en los órganos vegetativos de la especie vegetativa *Brassica Rapa* mediante el programa estadístico informático SPSS.

TABLA VII

VALORES ESTADÍSTICOS DE EFICACIA PARA LA FITORREMIEDIACIÓN DE Cd EN LA ESPECIE VEGETATIVA BRASSICA RAPA DE LA ESPECIE VEGETATIVA BRASSICA RAPA PARA LA REMOCIÓN DE Cd SEGÚN ESTUDIOS

Datos Estadísticas	Eficacia (%)	Concentración Inicial (Cd) mg/kg	Concentración Final (Cd) mg/kg
Media	21,5894	64,3600	53,6350
Mediana	21,5894	64,3600	53,6350
Moda	15, 58a	11, 63a	8, 42a
Desviación estándar	8,50174	74,57148	63,94367
Varianza	21,5894	5560,906	4088,792

En la tabla VIII, se aplicaron las pruebas de normalidad correspondientes de Shapiro & Kolmogorov, en comparación con la otra especie vegetativa, no se pudo obtener un nivel de confianza, puesto que, estas se vieron afectadas por la cantidad de datos. Asimismo, al realizar la prueba estadística, se pudo identificar que la variable eficacia es constante.

TABLA VIII

PRUEBA DE NORMALIDAD CON LA VARIABLE DE EFICACIA DE Cd EN LA ESPECIE VEGETATIVA BRASSICA RAPA

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	gl	Sig.
Eficacia (%)	,260	2	.

a. Corrección de significación de Lilliefors

En la figura 3, se puede observar que, la media estadística representa el 58.82% de los estudios recopilados, los cuales utilizan la técnica de Fitoextracción como mecanismo principal de remediación, ya que, se considera una técnica con potencial para extraer los metales pesados que alteran la calidad del suelo y posteriormente bioacumularlos en sus tejidos vegetales como las raíces u hojas. Además, el 11.76% representa a los estudios que utilizan la técnica de Fitoestabilización como mecanismo secundario, ya que, se caracteriza por utilizar las especies vegetativas para inmovilizar contaminantes del suelo a través de su absorción y/o acumulación en las raíces.

Asimismo, el 29.41% de las investigaciones destacan que ambas técnicas están estrechamente relacionadas en cuanto a los factores de remediación. Esto se debe a que las plantas tienen la capacidad de emplear simultáneamente las técnicas de fitoextracción y fitoestabilización. No obstante, en ciertos

casos, cuando la concentración de metales pesados es elevada, los contaminantes tienden a precipitarse en la rizósfera.

En cuanto a la media estadística, el 52.94% de los estudios recopilados consideran la fitorremediación como una técnica prometedora para la remediación de suelos contaminados con plomo. Por otro lado, el 5.88% de los estudios señalan que esta técnica es especialmente adecuada para la remediación de suelos contaminados con cadmio. Finalmente, el 41.18% de las investigaciones concluyen que la fitorremediación resulta efectiva para la remediación de suelos contaminados tanto con plomo como con cadmio.

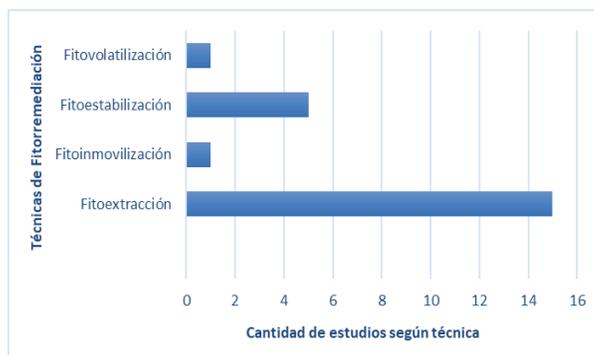


Fig. 3 Cantidad de estudios según técnicas de Fitorremediación para *Urtica Urens*.

En la figura 4, respecto a la especie vegetativa *Brassica rapa* y según los estudios recopilados, la media estadística indica que el 42.86% de los casos considera la fitoextracción como la técnica principal para la fitorremediación. Además, el 19.05% de los estudios destacan la fitoestabilización como el mecanismo secundario para la recuperación de suelos contaminados, mientras que el 38.10% de los estudios combinan ambas técnicas. En este contexto, *Brassica rapa* se muestra especialmente adecuada para la remediación de suelos contaminados con plomo, con una media estadística del 23.81%. Para el cadmio, la técnica tiene un apoyo del 19.05%, y un 57.14% de los estudios indican que la especie es eficaz para la remediación de suelos contaminados con ambos metales.

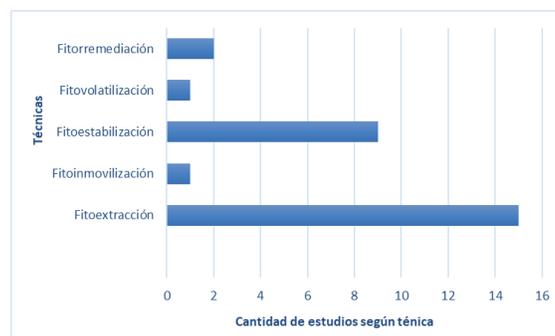


Fig. 4 Cantidad de estudios según técnicas de Fitorremediación para *Brassica Rapa*

IV. DISCUSIONES

En el presente apartado se interpretan los resultados contrastando con otros estudios y teorías. [47] destacaron que especies como *Urtica urens* son altamente eficientes en la acumulación de plomo en sus tejidos vegetales. Esto se debe a que, al emplear la técnica de fitoestabilización, se facilita la inmovilización de los contaminantes en el suelo mediante su absorción y acumulación en las raíces, o por precipitación en la rizosfera. Este proceso contribuye a disminuir la movilidad de los contaminantes en el suelo. Además, presentan mecanismos fisiológicos de adaptación que permiten tolerar metales pesados dentro de su estructura celular como vacuolas o paredes celulares, al mismo tiempo según [48], el manejo de plantas para la fitorremediación de metales pesados debe considerar no solo la acumulación, sino también el posible desplazamiento de estos contaminantes hacia otras fases del ecosistema.

Por otro lado, *Brassica rapa* también mostró un notable potencial en la fitorremediación, ya que, debido a su alta capacidad de absorción radicular, permite extraer eficientemente metales como plomo y cadmio del suelo. Además, forma complejos con los metales a través de compuestos orgánicos, lo que ayuda a estabilizarlos dentro de las raíces, previniendo su dispersión hacia otras partes de la planta [49]. Asimismo, *Brassica rapa* posee mecanismos de tolerancia a la toxicidad de estos contaminantes, como la producción de proteínas de quelación, que neutralizan los metales y facilitan su almacenamiento en las raíces. En conjunto con nuestro metaanálisis, estos estudios evidencian que *Brassica rapa* es una opción prometedora para la fitorremediación.

En cuanto a la remoción de metales pesados, los resultados obtenidos en nuestro estudio muestran que *Urtica urens* presentó una media estadística de 29,345% de remoción de plomo, lo que destaca su eficacia en la eliminación de este contaminante del suelo. Esta cifra concuerda con los hallazgos de [50] que también han investigado la capacidad de dicha especie para remover plomo, obteniendo una remoción de 21.72%. Según [51], *Urtica urens* se ha identificado como una especie prometedora para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados, incluyendo el plomo, debido a su alta tasa de eficacia de remoción de 91%. De igual manera, [52] encontraron que la capacidad de remoción de plomo de *Urtica urens* varió dependiendo de factores y la concentración inicial del metal, lo que respalda la importancia de las condiciones experimentales en la eficacia de la fitorremediación.

En comparación con otras revisiones bibliográficas, la especie vegetativa *Helianthus annuus* también presenta una eficacia de remoción del 28,25% para el plomo y 48% para el cadmio, utilizando la técnica de fitoextracción. Asimismo, estos valores son similares a la planta *Chrysopsis zizanioides* y *Festuca Arrundinacea* con 28% y 30% de eficacia para plomo respectivamente mediante la fitoacumulación, [53]. Por ello, estos resultados refuerzan nuestros hallazgos y sugieren que

Urtica urens también es una opción viable para la fitorremediación del plomo, siempre que se ajusten adecuadamente las condiciones experimentales.

El análisis de *Brassica rapa* en cuanto a su capacidad para la remoción de cadmio muestra una media estadística de 21,5894%, lo que, aunque ligeramente inferior a la de *Urtica urens*, resalta su considerable potencial para la fitorremediación de suelos contaminados por este metal pesado. Este resultado es consistente con estudios previos que también han evidenciado el potencial de *Brassica rapa* en la remoción de cadmio, aunque con variaciones según las condiciones experimentales. Según [49], *Brassica rapa* tiene una capacidad significativa para acumular y remediar metales pesados, incluido el cadmio, con una remoción que varía dependiendo de factores como la concentración del metal en el suelo. De manera similar, [54] encontraron que *Brassica rapa* presenta un rendimiento de remoción de cadmio que oscila entre el 20% y el 30%, lo cual concuerda con los resultados de nuestro estudio, indicando su utilidad en la fitorremediación de suelos contaminados por este metal.

De manera similar, [55] destacan que ambas especies muestran un notable potencial para la remediación de suelos contaminados por plomo y cadmio, siendo su eficiencia dependiente del tipo de sustrato y de las condiciones ambientales. Estos estudios apoyan los resultados de nuestro metaanálisis, que evidencian la eficacia de *Brassica rapa* y *Urtica urens* en la acumulación de metales pesados, aunque se deben considerar factores adicionales como la disponibilidad del metal en el suelo y las condiciones de cultivo para optimizar su uso en procesos de descontaminación.

Por ello, tanto *Urtica urens* como *Brassica rapa* presentan un gran potencial para la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, especialmente plomo y cadmio. La combinación de técnicas de fitoextracción y fitoestabilización, junto con el uso de fertilizantes orgánicos, según [56] señala que, con el uso de fertilizantes orgánicos, como el estiércol de cuy o la gallinaza, podría ser fundamental para optimizar la remediación de suelos podría mejorar significativamente la capacidad de estas especies para remediar suelos contaminados. Sin embargo, es esencial seguir investigando y optimizando estos procesos para maximizar la eficacia de la fitorremediación.

Finalmente, el presente estudio contrasta la visualización de los datos obtenidos con otros metaanálisis que comparten el mismo enfoque sobre la eficacia de la fitorremediación con especies vegetativas hiperacumuladoras o también llamadas metalófitas. En este sentido, tal es el caso de [57] que menciona que, al igual que las plantas, existen microorganismos como los hongos y bacterias, los cuales también tienen la capacidad de extraer y reducir la toxicidad del metal en el suelo o medio acuoso, entre ellos tenemos a *Aspergillus niger*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Bacillus* y *Pseudomonas*.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, este metaanálisis destaca el gran potencial de las especies *Urtica urens* y *Brassica rapa* en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados, particularmente plomo y cadmio. Ambas especies demostraron una alta capacidad para acumular y remover estos contaminantes, lo que las posiciona como opciones prometedoras para la descontaminación de suelos. La especie vegetativa *Urtica urens* se destacó especialmente por su capacidad para la remoción de plomo, mientras que la especie *Brassica rapa*, mostró una eficiente remoción de cadmio, pese a variaciones en función de las condiciones experimentales. Estos resultados se relacionan con estudios previos, que subrayan la importancia de ajustar las condiciones experimentales, como la concentración de metales en el suelo y el tipo de sustrato, para optimizar la eficacia de la fitorremediación.

Asimismo, la combinación de técnicas como la fitoextracción y la fitoestabilización, junto con el uso de fertilizantes orgánicos, podría mejorar aún más el rendimiento de estas especies en la remediación de suelos contaminados. Sin embargo, es fundamental continuar con la investigación para ajustar y perfeccionar estas técnicas, con el fin de maximizar su eficacia y aplicabilidad en la descontaminación de suelos a gran escala.

REFERENCIAS

- [1] Bernal, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista Investigación Agraria y Ambiental*, 5 (2) pp. 245-258
- [2] García, M y Vásquez, M. (2020). IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES VEGETALES CON POTENCIAL PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS PROVENIENTES DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS. [Tesis Pre Grado, Universidad Privada del Norte] <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/23983>
- [3] Mendoza Escalona, B, Torres Rodriguez, T, Merú Marco, L, Gómez, J, Estanga Barrios, M y García Orellana, Y. (2021). Concentración de metales pesados en suelos agrícolas bajo diferentes sistemas de labranza. *SciELO*. Vol. (24). pp 3-12. <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v24n51/2256-5337-teclo-24-51-4.pdf>
- [4] Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M y Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados por metales pesados. *SciELO*. Vol. (21) núm. 2 http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-99332014000200004
- [5] Becerril, J., Barrutia, O., García Plazaola, J., Hernández, A., Olano, J., y Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos eco fisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16(2). <http://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>
- [6] Marrero, J., Sánchez, I. y Pérez, O. (2012) Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *Redalyc*. Vol. 46, núm. 3 pp. 52-61. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>
- [7] Delgadillo López, A., Gonzales Ramírez, C., Prieto García, F., Villagómez Ibarra, J y Acevedo Sandoval, O. (2011). FITORREMEDIACIÓN: UNA ALTERNATIVA PARA ELIMINAR LA CONTAMINACIÓN. *SciELO* <http://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- [8] Huayllani, M. (2016). PRESENCIA DE METALES PESADOS EN LA ESTRUCTURA VEGETAL DE Apeiba membranacea Spruce ex Benth. (Peine de mono), Ochroma pyramidale (Cav, ex. Lam.) Urb. (Topa), Ceiba pentandra (L.) Gaerth. (Lupuna), Erythrina ulei Harms (Amasisa) INSTALADAS EN ÁREAS INTERVENIDAS POR LA MINERÍA AURÍFERA EN EL SECTOR MANUANI-INAMBARI-TAMBOPATA-MADRE DE DIOS. [Tesis Pre Grado, Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios]. <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/214/004-2-3-042.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] Reyes, Y, Vergara, I, Torres, O, Díaz, M y Gonzáles, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Dialnet*. pp 66 – 67. Vol. 16. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>
- [10] Bayón, S. (2015). APLICACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN A SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS. [Tesis Pre Grado, Universidad Complutense de Madrid]. <https://docta.ucm.es/entities/publication/1d2b5403-46b2-45ab-b6ab-ddb0e112bf36>
- [11] Van Deuren, J., Z. Wang, Z. y J. Ledbetter 1997. Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide. 3ª Ed. Technology Innovation Office, EPA. <http://www.epa.gov/tio/remed.htm>
- [12] Solano, M. (2008). La contaminación del suelo. [Archivo PDF] <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/11036/Tasm03de16.pdf>
- [13] Diaz, W (2016). Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú. *Revista de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. pp 103 – 110. Vol. 19. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/13575/11986>
- [14] López, L, García, M, Madueño, F, Bautista, N, Marín, G y Olórtegui, D. (2020). Metales pesados en tres variedades de Solanum tuberosum L. (papa) expendidos en el mercado mayorista de Santa Anita (Lima – Perú). *Revista de Investigación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/farma/article/view/18719/15790>
- [15] García, N, Pedraza, J, Montalvo, J, Martínez, M y Leyva, J. (2012). EVALUACIÓN PRELIMINAR DE RIESGOS PARA LA SALUD HUMANA POR METALES PESADOS EN LAS BAHÍAS DE BUENAVISTA Y SAN JUAN DE LOS REMEDIOS, VILLA CLARA, CUBA. *Revista Cubana de Química*. pp. 126-135. <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543726004.pdf>
- [16] Salt, D, Smith, R y Raskin, I. (1998). FITORREMEDIACIÓN Revisión anual de fisiología vegetal y biología molecular vegetal. <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.arplant.49.1.643>
- [17] Rodríguez, M, Martínez, N, Romero, M, Del Río, L y Sandalio, L. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas*. pp 139 – 146. <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/409>
- [18] Ramos, F. y Cercado, N. (2021). Estudio de las especies vegetales bioacumuladoras de arsénico, cadmio y plomo emergentes en áreas mineras altoandinas del Perú. [Tesis de Pre Grado, Universidad Privada del Norte] <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/27615>
- [19] Garbizu, C., Epelde, L., y Becerril, J. (2008). Fitorremediación. *Ecologistas en Acción*, 57. <https://www.ecologistasenaccion.org/17857/fitorremediacion/>
- [20] Rumaldo Ramírez, M. D. (2019). Descontaminación de Suelos con plomo usando *Urtica urens* y *Fuertesimalva echinata* Fertilizada con gallinaza en el Callao. [Tesis para obtener título profesional de ingeniero ambiental. Lima, Perú, Universidad Cesar Vallejo] https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/38373/Rumaldo_RMD%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [21] Sandoval, J (2019). “COMPARACIÓN DE DOS ESPECIES ALTOANDINAS *Urtica urens* L. Y *Brassica rapa* L. EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR PLOMO EN CÁTAC, ÁNCASH”. [Tesis de pregrado, Universidad Científica del Sur. Lima-Perú.] <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1090/TI-Sandoval%20J.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [22] López, E. (2014). Alternativas de disposición para la fitorremediación de suelos contaminados por la actividad minera. [Tesis Pregrado, Corporación Universitaria Lasallista, Antioquía-Colombia] http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/1131/1/Fitorremediacion_suelos_contaminados_actividades_mineras.pdf

- [23] Castro, E (2020). Efecto del quelato (EDTA) en la fitorremediación de un suelo contaminado por plomo, con *Urtica urens* en La Oroya, 2018. [Tesis pregrado, Universidad Continental, Sede Lima, Perú] https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8167/3/IV_FIN_107_TE_Castro_Garc%C3%ADa_2020.pdf
- [24] Peralta, M y Volke, T. (2012). La defensa antioxidante en las plantas: Una herramienta clave para la fitorremediación. *SciELO*. Vol. 11. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382012000100006&lang=es
- [25] Mentaberry, A. (2011). Fitorremediación. [Archivo PDF] http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/IQM_fitorremediacion_argentina_2562_0.pdf
- [26] Bernabé y Medina (2018). "Fitorremediador por densidad poblacional de *Urtica urens* en suelos contaminados por metales pesados, caserío Shiracmaca, distrito de Huamachuco - 2018". [Tesis Pre Grado, Universidad César Vallejo] https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/36186/berna_be_gy.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [27] Ortiz, J y Rojas, M. (2022). ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE *Urtica urens*, *Aloe barbadensis miller* Y *Helianthus annuus* AL FITORREMIAR SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS PLOMO Y CADMIO - 2022". [Tesis Pre Grado, Universidad Privada del Norte] <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33174>
- [28] Liu, J, Zhang, J, Ha, S, Sook, H y Marinoia, E. (2022). Caracterización de los genes de metalotioneína y fitoquelatina sintasa de *Brassica rapa* potencialmente implicados en la desintoxicación de metales pesados. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263427>
- [29] Cortés y Iglesias (2004). Generalidades sobre Metodología de la Investigación. [Tesis de Post Grado, Universidad Autónoma del Carmen]. https://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/metodologia_investigacion.pdf
- [30] Duarte, M. (2015). Importancia de la investigación científica en la vida universitaria. *SciELO*. Vol. 2. http://scielo.iics.una.py/scielo.php?pid=S2409-87522015000200001&script=sci_arttext
- [31] VIVAR, Cristina G.; MCQUEEN, Anne; WHYTE, Dorothy A. y CANGA ARMAYOR, Navidad. Primeros pasos en la investigación cualitativa: desarrollo de una propuesta de investigación. 2013, *SciELO* vol.22, n.4 pp.222-227. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962013000300007&lng=es&nrn=iso
- [32] Supo, J. (2015). Cómo empezar una tesis – Tu proyecto de investigación en un solo día. [Archivo PDF] <https://asesoresenturismoperu.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/107-josc3a9-supoc3b3mo-empezar-una-tesis.pdf>
- [33] Corona y Fonseca. (2021). Acerca del carácter retrospectivo o prospectivo en la investigación científica. *SciELO*. Vol. 19. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1727-897X2021000200338&script=sci_arttext
- [34] Cvetkovic, A, Maguiña, J, Soto, A, Lama, J y Correa, L. (2021). ESTUDIOS TRANSVERSALES. *SciELO*. Pp 179 – 185. <http://www.scielo.org.pe/pdf/rfmh/v21n1/2308-0531-rfmh-21-01-179.pdf>
- [35] Moncada, S. (2014). Cómo realizar búsquedas de forma eficiente: centrarse en estudiantes, profesores e investigadores del campo de la educación. *Investigación en educación médica, Redalyc* 3 (10), 106-115. <https://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=349733229007>
- [36] Kroustallaki, D., Kokkinaki, T., G., Sideridis., & G, Panagiotis. (2015). Exploring students' affect and achievement goals in the context of an intervention to improve web searching skills. *Computers in Human Behavior*, Vol (49), 156-170. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0747563215001818>
- [37] Ronconi, R (2020). Proceso de búsqueda, recuperación y evaluación de la información. Guía, Tutorial. [Archivo PDF] <https://www.aacademica.org/roberto.ronconi/2.pdf>
- [38] Gutierrez, J. (2017). Técnicas para el proceso de búsqueda, acceso y selección de información digital: los operadores. *Publicaciones didácticas*, (87), 393- 529. <https://core.ac.uk/download/pdf/235855195.pdf>
- [39] Arias, F. (2012). El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica. Venezuela: Editorial Episteme. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- [40] Castro, A. (2015). Recolección de Datos: Las Fichas [Archivo PDF]. <https://melpe025.files.wordpress.com/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>
- [41] Rizo Maradiaga, J. d. S. (2015). Técnicas de investigación documental. UNAN-FAREM Matagalpa. <https://repositoriosidca.csuca.org/Record/RepoUNANM12168>
- [42] Robledo C (2016). La técnica. Técnicas y procesos de investigación científica. Guatemala: Mercagraf, 2016. p 40-7. Recuperado de <https://melpe025.files.wordpress.com/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>
- [43] Garcia y Ortiz (2015). Recolección de datos. [Archivo PDF] <https://melpe025.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>
- [44] Saldaña, Y. (2023). "ESTUDIO DE LA EFICIENCIA DE LA FITORREMIACIÓN UTILIZANDO *Aloe vera* y *Pelargonium zonale* PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO, CADMIO Y ARSÉNICO". [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte. Lima-Perú] <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/34272/Salda%C3%B1a%20Vasallo%20Yuri.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [45] Tenorio, G. (2018). FITOEXTRACCION DE PLOMO Y CADMIO EN UN SUELO AGRÍCOLA CONTAMINADO CON LA *Brassica rapa* L. EN EL DISTRITO DE EL MANTARO EN EL AÑO 2018". [Tesis de Pre Grado, Universidad Alas Peruanas] https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/8727/Tesis_Fitoextraccion_Plo%2co_Cadmio_Suelo_Agricola_Contaminado.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [46] Chavarrea y Aguaisa (2021). Evaluación de la Capacidad fitorremediadora de dos especies vegetales *Raphanus sativus* y *Brassica rapa* en suelos contaminados con cadmio en laboratorio. [Tesis de Pre Grado, Universidad Nacional del Chimborazo] <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8491>
- [47] Rodríguez, C., García, F., & Sánchez, R. (2015). Potencial de acumulación de metales pesados en plantas como estrategia de fitorremediación: un enfoque de fitoestabilización. *Revista Mexicana de Ciencias Ambientales*, 19(3), 204-217. <https://doi.org/10.61547/3415>
- [48] Gómez, J. P., Pérez, S. M., & Rodríguez, L. F. (2019). Fitorremediación de metales pesados: Evaluación de especies nativas en su capacidad de absorción y riesgo ambiental. *Revista de Ecología y Biotecnología*, 35(2), 157-169. <https://doi.org/10.25100/rye.v16i2.3693>
- [49] Pérez, A., Sánchez, R., & Vargas, M. (2017). Estudio de especies vegetales para la fitorremediación de suelos contaminados por plomo: Caso de *Brassica rapa*. *Revista de Biotecnología y Biodiversidad*, 15(1), 35-50. <https://doi.org/10.21142/tb.2019.1890>
- [50] Mogollón et al. (2018). Remoción de metales pesados con *Urtica urens* L. En suelos contaminados del distrito de Huamachuco, provincia Sánchez Carrión, La Libertad. Recuperado de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32883/mogollon_rc.pdf%20f?sequence=1&isAllowed=y
- [51] De la Cruz y Rivera (2023). Descontaminación de plomo y cadmio en suelos mediante *Solanum pseudoamericanum* y *Urtica urens* en Catac-Ancash, 2023 [Tesis de Pre Grado, Repositorio Institucional Digital UCV] <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/139212>
- [52] García, R., y Pérez, L. (2019). Evaluación de la fitorremediación de plomo en suelos contaminados con *Urtica urens*: Influencia de factores ambientales. *Revista de Investigación en Biotecnología Ambiental*, 15(3), 142-153. <https://doi.org/10.21142/tb.2019.1890>
- [53] Paredes y Rojas (2020). Revisión Sistemática: Especies Vegetales en la Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados. [Tesis de Pre Grado, Repositorio Institucional UCV] <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64119>
- [54] Rodríguez, P., & García, J. (2018). Fitorremediación de metales pesados en suelos agrícolas: *Brassica rapa* como alternativa para la remoción de cadmio. *Ciencia y Tecnología Agrícola*, 37(2), 79-91. <https://doi.org/10.61547/3415>