

	GESTIÓN DE SERVICIOS ACADÉMICOS Y BIBLIOTECARIOS		CÓDIGO	FO-GS-15	
			VERSIÓN	02	
	ESQUEMA HOJA DE RESUMEN			FECHA	03/04/2017
				PÁGINA	1 de 1
ELABORÓ		REVISÓ	APROBÓ		
Jefe División de Biblioteca		Equipo Operativo de Calidad	Líder de Calidad		

RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTORES:

NOMBRE(S) LEIDY JOHANNA **APELLIDOS** CARDOZO GARCÍA

FACULTAD: CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA

DIRECTOR:

NOMBRE(S) DANNY WALDIR **APELLIDOS** IBARRA VEGA

TÍTULO DEL TRABAJO (TESIS): REVISIÓN DE LA EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN PARA TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO

RESUMEN. En la siguiente monografía se pretende realizar una revisión de investigaciones científicas con respecto a la eficiencia del proceso de fitorremediación como tratamiento de suelos contaminados con plomo, permitiendo identificar los métodos y las especies vegetales de mayor eficiencia para proponer su aplicación en contextos locales; haciendo uso de bases de datos como ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, PubMed, Springer Nature, Taylor and Francis Online, MDPI, entre otras.

PALABRAS CLAVES: fitorremediación, suelo, metal pesado, investigación, eficiencia

CARACTERÍSTICAS

PÁGINAS: 105 **PLANOS:** **ILUSTRACIONES:** **CD ROOM:**

REVISIÓN DE LA EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN PARA TRATAMIENTO DE
SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO

LEIDY JOHANNA CARDOZO GARCÍA

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2023

REVISIÓN DE LA EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN PARA TRATAMIENTO DE
SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO

LEIDY JOHANNA CARDOZO GARCÍA

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniera Biotecnológica

Director

DANNY WALDIR IBARRA VEGA

Doctor en Ingeniería

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA
SAN JOSÉ DE CÚCUTA
2023



ACTA DE SUSTENTACION DE UN TRABAJO DE GRADO

FECHA: 29 de agosto del 2023

HORA: 02:00 P.M.

LUGAR: UFPS - CUCUTA, NORTE DE SANTANDER

PLAN DE ESTUDIOS: INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA

TITULO: "REVISIÓN DE LA EFICIENCIA DE FITORREMEDIACIÓN PARA TRATAMIENTO DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO."

MODALIDAD: MONOGRAFIA

JURADO: JOHN HERMOGENES SUAREZ GELVEZ
EDWIN JAVIER DUARTE GÓMEZ
ROMINA ESMERALDA FUENTES DÍAZ

ENTIDAD: UFPS

DIRECTOR: Danny Waldir Ibarra Vega

NOMBRE DE LOS ESTUDIANTE	CODIGO	CALIFICACION
Leidy Johanna Cardozo García	1611536	4.2

OBSERVACIONES: APROBADO.

FIRMA DE LOS JURADOS

John Hermógenes Suárez Gélvez

Edwin Javier Duarte Gómez

Romina Esmeralda Fuentes Diaz

Vo. Bo Coordinador Comité Curricular

Dedicatoria

A mis padres y hermana, por ser mis primeros educadores e inculcarme en cada momento los buenos valores. Por ser mi aliento en los momentos difíciles y creer siempre en mi ser.

A mi nonito, quien en vida siempre me motivó a cumplir mis anhelos, y ahora, desde el cielo ha estado acompañándome.

A mis mascotas, por ser mi compañía en las largas noches de estudio y los días complicados.

Leidy

Agradecimientos

A Dios, por haberme permitido cumplir cada objetivo propuesto; ofreciéndome en todo momento salud, amor y compañía.

A mi hermana, por ser mi soporte emocional y estar para mí siempre que lo necesité, por acompañarme en cada momento y ser mi motor de ayuda.

A mi pareja, por ser mi compañero durante todo el proceso y ayudarme a culminarlo con éxito.

A mi tutor, por ser el encargado de orientarme a lo largo de la investigación, otorgando su conocimiento y sus grandes experiencias.

A la Universidad Francisco de Paula Santander y a cada docente que con sus enseñanzas me preparó para ser una excelente Ingeniera Biotecnológica.

Leidy

Tabla de contenido

	pág.
Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1. Problema	19
1.1 Título	19
1.2 Planteamiento del problema	19
1.3 Formulación del problema	20
1.4 Objetivos	20
1.4.1 Objetivo general	20
1.4.2 Objetivos específicos.	20
2. Marco referencial	22
2.1 Antecedentes	22
2.1.1 Revisión bibliográfica	22
2.2 Marco Conceptual	23
3. Metodología	26
3.1 Técnicas e instrumentos de recolección y selección de información	27
3.2 Fuentes de información	27
4. Resultados	28
4.1 Síntesis de investigaciones sobre fitorremediación de suelos contaminados con plomo	28

4.2 Viabilidad de especies utilizadas en fitorremediación de suelos contaminados con plomo	37
4.3 Evaluación de eficiencias de especies y síntesis sobre técnicas de fitorremediación en suelos contaminados con plomo	48
5. Conclusiones	60
6. Recomendaciones	62
Referencias	63
Anexos	74

Lista de tablas

	pág.
Tabla 1. Especies vegetales y técnicas de fitorremediación utilizadas	38
Tabla 2. Factores de eficiencia obtenidos	51

Lista de figuras

	pág.
Figura 1. Diagrama de la metodología. Fuente: Autora del proyecto	26

Lista de anexos

	pág.
Anexo 1. Cuadros de revisión	75

Resumen

La fitorremediación es un método ecológico y económicamente eficaz para la eliminación de metales pesados, por esto, su aplicación en remoción de los mismos ha venido aumentando en remediación del suelo a través del tiempo. Uno de los grupos de contaminantes ambientales mayormente asociados a dicho recurso son los metales pesados, los cuales requieren mayor atención e investigación, ya que, provocan afectaciones tanto ambientales como de salud pública en diferentes partes del mundo. Por ello, en la siguiente monografía se pretende realizar una revisión de investigaciones científicas con respecto a la eficiencia del proceso de fitorremediación como tratamiento de suelos contaminados con plomo, permitiendo identificar los métodos y las especies vegetales de mayor eficiencia para proponer su aplicación en contextos locales; haciendo uso de bases de datos como ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, PubMed, Springer Nature, Taylor and Francis Online, MDPI, entre otras.

Palabras claves: fitorremediación, suelo, metal pesado, investigación, eficiencia.

Abstract

Phytoremediation is an ecological and economically effective method for the elimination of heavy metals, therefore, its application in their removal has been increasing in soil remediation over time. One of the groups of environmental pollutants mostly associated with this resource are heavy metals, which require more attention and research, since they cause environmental and public health problems in different parts of the world. Therefore, the following monograph aims to review scientific research on the efficiency of the phytoremediation process as a treatment for lead-contaminated soils, allowing the identification of the most efficient methods and plant species to propose their application in local contexts, using databases such as ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, PubMed, Springer Nature, Taylor and Francis Online, MDPI, among others.

Key words: phytoremediation, soil, heavy metal, research, efficiency.

Introducción

La fitorremediación puede verse como un método ecológico y económicamente eficaz y eficiente para la eliminación de metales pesados, por esto, su aplicación en remoción de los mismos ha venido aumentando en remediación de agua y suelo a través del tiempo.

El suelo es un recurso natural y es definido como la capa superficial de la corteza terrestre, producto de la desintegración de rocas y la acumulación de distintos materiales a lo largo de los años, compuesto por materias orgánicas e inorgánicas, capaz de sostener vida vegetal. (Mahecha, Trujillo, & Torres, 2017). De esta forma, el suelo puede contaminarse, cuando sus características tanto físicas, químicas o biológicas, se ven afectadas y/o alteradas por sustancias contaminantes de la industria y la agricultura; resultando así en una amenaza para la vida humana y el ecosistema. Uno de los grupos de contaminantes ambientales mayormente asociados al suelo son los metales pesados, los cuales requieren mayor atención e investigación, debido a su movilidad y bajas concentraciones a partir de las cuales comienzan a presentar efectos tóxicos. (Díaz & Silva, 2018).

En este caso, el plomo según la Organización Panamericana de la Salud (OPS) es definido como un metal tóxico, encontrado de forma natural en la corteza terrestre, el cual ha provocado afectaciones tanto ambientales como de salud pública en diferentes partes del mundo. Específicamente en el suelo, dicho contaminante puede alcanzar elevadas concentraciones y provocar efectos negativos en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, obteniendo así: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, variación de pH, dificultad del crecimiento y erosión del suelo. (Zavala, 2012).

En consecuencia a lo anterior, en la actualidad existe el interés científico de poder mitigar la problemática presentada por metales pesados; así pues, se han encargado de buscar diferentes tecnologías que provean resultados prometedores frente al tema; siendo una de las más destacadas: la fitorremediación; definida como un conjunto de tecnologías que reducen tanto in situ como ex situ la concentración de diferentes compuestos a partir de procesos bioquímicos efectuados por las plantas y sus microorganismos asociados. (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez & Acevedo, 2011).

Diferentes especies de plantas pueden restringir la absorción de los metales pesados, translocarlos hacia las hojas, absorberlos y acumularlos activamente en su biomasa o simplemente eliminarlos del medio; convirtiéndose de tal manera en plantas hiperacumuladoras de Plomo (Pb), Cadmio (Cd), Zinc (Zn), elementos radiactivos, entre otros. (Buendía, Cruz, Meza & Arévalo, 2014).

Por consiguiente, en el año 2021, fue realizado un proyecto denominado “*Fitorremediación de suelos contaminados con arsénico, cobre y plomo empleando Echeveria elegans y Crassula ovata*” en Ciudad de México, donde evaluaron el proceso de fitorremediación, específicamente las técnicas de fitoextracción y fitoestabilización. El autor utilizó una muestra de suelo proveniente de la industria metal mecánica, el cual estaba contaminado con arsénico (As), cobre (Cu) y plomo (Pb); cabe recalcar, que se realizaron dos experimentos, el primero con la muestra de suelo sin adición de nutrientes y el segundo con una adición de estos. Las plántulas fitorremediadoras fueron las especies *Echeveria elegans* (echeveria) y *Crassula ovata* (árbol de jade), plantas consideradas hipertolerantes, puesto que cuentan con la capacidad de acumular y estabilizar metales pesados presentes en el suelo. Así pues, fue iniciado un monitoreo constante

durante 6 meses, realizando muestreos destructivos mensualmente, determinando la generación de biomasa y la concentración de los metales tanto en los suelos como en las raíces y partes aéreas de las plantas. Los resultados demostraron la efectividad de fitoestabilización de los metales presentes en el suelo contaminado (As, Cu y Pb). Por lo que, respecto a la disminución de Pb en el suelo sin adición de nutrientes, con *Echeveria elegans* se obtuvo un 52% de disminución a comparación de la concentración inicial y, para el caso de *Crassula ovata* se logró un 64%; mientras que, en el suelo con adición de nutrientes la disminución de concentración con *Echeveria elegans* fue de 81% y 82% con *Crassula ovata*, por lo tanto, con ambas especies se logró reducir la concentración de Pb en suelo con y sin adición de nutrientes.

Así mismo, cabe resaltar, que la especie *Helianthus annuus* conocida comúnmente como girasol, es considerada según diferentes estudios realizados en los últimos años una planta con capacidad fitorremediadora, puesto que ha demostrado que logra estabilizar metales almacenándolos tanto en las raíces como en los tejidos foliares debido a la presencia de grupos funcionales en sus exudados. Por lo tanto, en el año 2020 se llevó a cabo un trabajo denominado “Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost”, donde aseguran que la fitorremediación es una técnica menos costosa y tiene un mejor funcionamiento si está asistida por aplicación de microorganismos, fertilizantes o enmiendas naturales, facilitando así la bioacumulación del contaminante en la planta. En el Perú, el Valle del Mantaro posee suelos agrícolas muy fértiles, sin embargo, también presenta algunos sitios seriamente contaminados por Plomo y Cadmio, los cuales requieren recuperación, así pues, el estudio experimental, buscó solubilizar los contaminantes presentes en el suelo con ayuda de compost y vermicompost, a fin de que los metales pesados fuesen sustraídos por la planta fitorremediadora. Como resultados, las raíces

exhiben los valores más altos de extracción de plomo y cadmio; los factores de bioconcentración (FBC) y factores de translocación (FT) indicaron un comportamiento fitoestabilizador del girasol para ambos metales; especialmente con el uso del vermicompost (Pb: 1,2 - Cd: 1,4). Por lo anterior, los metales pesados extraídos presentaron un impacto significativo en la producción de biomasa de girasol; no obstante, las enmiendas orgánicas promovieron un mayor desarrollo de este, permitiendo continuar su ciclo vegetativo.

Siguiendo la línea, es presentada una investigación realizada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, donde los objetivos propuestos fueron la determinación del tratamiento más efectivo en la remediación de suelos contaminados con plomo y el establecimiento de la concentración de plomo en el suelo y sus principales propiedades edáficas en el mejor tratamiento, precisando el comportamiento del girasol en el proceso de remediación. La investigación experimental se realizó en condiciones controladas, empleando suelos de terrenos con aptitud agrícola, evaluando un número de 4 tratamientos: T1 (suelo contaminado con Pb + estiércol de lombriz + girasol); T2 (suelo contaminado con Pb + estiércol de lombriz; T3 (suelo contaminado con Pb + girasol) y T4 (suelo contaminado con Pb); realizando un análisis final con acompañamiento de procesamiento de datos; concluyendo así que la utilidad del girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) permite inmovilizar el Pb en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces.

Teniendo en cuenta los factores percibidos con anterioridad, en la siguiente monografía se pretende realizar una revisión de investigaciones científicas con respecto a la eficiencia del proceso de fitorremediación como tratamiento de suelos contaminados con plomo, permitiendo

identificar los métodos y las especies vegetales de mayor eficiencia para proponer su aplicación en contextos locales.

1. Problema

1.1 Título

Revisión de la eficiencia de fitorremediación para tratamiento de suelos contaminados con plomo.

1.2 Planteamiento del problema

El plomo según la Organización Panamericana de la Salud es definido como un metal tóxico, encontrado de forma natural en la corteza terrestre, el cual ha provocado afectaciones tanto ambientales como de salud pública en diferentes partes del mundo. En el ser humano puede ocasionar daños en sistemas cardiovasculares, neurológicos, hepáticos, sistema digestivo y renal; mientras que, en el suelo, dicho contaminante puede alcanzar elevadas concentraciones y provocar efectos negativos en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, obteniendo así: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, variación de pH, dificultad del crecimiento y erosión del suelo. (Zavala, 2012). No obstante, es importante mencionar que el daño está relacionado al tiempo de exposición del suelo al metal pesado. (Isaza, 2013).

Las principales afectaciones están dadas por la agricultura moderna, debido al uso excesivo de fertilizantes químicos los cuales aportan cantidades considerables de metales pesados al suelo, aumentando considerablemente su contaminación y degradación (Mahecha *et al.*, 2017); cabe destacar que, la mayoría de dichos componentes son indestructibles y representan una amenaza

para el ambiente, puesto que no son biodegradables y pueden concentrarse a lo largo de la cadena alimenticia para bioacumularse en el cuerpo humano. (Garbisu & Alkorta, 2003). _

1.3 Formulación del problema

¿Cuáles procesos de fitorremediación son eficientes para el tratamiento de suelos contaminados con plomo?

1.4 Objetivos

1.4.1 *Objetivo general*

Realizar una revisión para la identificación de eficiencia de fitorremediación en el tratamiento de suelos contaminados con plomo.

1.4.2 *Objetivos específicos.*

- Establecer una síntesis de investigaciones recientes realizadas en torno a fitorremediación de suelos contaminados con plomo.
- Analizar la viabilidad y las especies utilizadas en las técnicas de fitorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con plomo.

- Evaluar las eficiencias y sintetizar las técnicas obtenidas desde la revisión bibliográfica de fitorremediación de suelos contaminados con plomo.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

2.1.1 Revisión bibliográfica

Filtros de búsqueda

Se desarrolló una búsqueda intensiva de artículos y trabajos de grado sobre fitorremediación en suelos contaminados con plomo, en bases de datos disponibles como ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, PubMed, Springer Nature, Taylor and Francis Online, MDPI, y Google Académico; mediante el uso de tres palabras en español e inglés “fitorremediación – phytoremediation”, “suelos – soils”, “plomo – lead” y sus interacciones, para lograr una mejor búsqueda y captura de la información. Por lo tanto, fueron encontrados 75 artículos en primera instancia, donde se seleccionaron 40 de estos, comprendidos en el periodo 2013 – 2023; determinando información clave para la revisión en cuestión.

Seguidamente, se realizaron cuadros informativos para cada artículo seleccionado, donde fue presentada información relevante como título, resumen, especie fitorremediadora y conclusión, permitiendo filtrar las investigaciones desde un enfoque analítico que permitiese evaluar los estudios tanto nacionales como internacionales comprendidos en fitorremediación de suelos contaminados con plomo. El análisis fue realizado según tipo de especie, concentración inicial de plomo, porcentajes de eficiencia de remoción y suelos utilizados; resultando así, en 21 documentos seleccionados bajo dichas características en inglés y español.

2.2 Marco Conceptual

Suelo: El suelo es un recurso natural fundamental ubicado en la capa superior de la corteza terrestre, su composición está dada por lo general en porcentajes de minerales, materia orgánica y organismos vivos, resultando así en el sustento de la vida vegetal y animal; no obstante, esto dependerá de la región geográfica y los procesos de formación.

Cabe resaltar, que dicho recurso natural tiene vital importancia puesto que interviene en el ciclo del agua y los ciclos de los elementos, suponiendo gran parte de transformaciones de la energía y de la materia en los ecosistemas; así mismo, posee una amplia gama de usos y realiza funciones vitales en la sociedad, incluyendo la agricultura, la silvicultura, la construcción de infraestructuras, la conservación de la biodiversidad, la filtración del agua, entre otros. (Velásquez & Cobeña, 2022). Además, como su regeneración es lenta, el suelo es considerado un recurso no renovable y cada vez más escaso.

Por lo tanto, este es contaminado cuando sus características fisicoquímicas o biológicas, se ven alteradas por sustancias químicas y/o contaminantes, convirtiéndose de esta manera como una amenaza global y afectaciones en la salud humana. La problemática inicia por consecuencia de procesos naturales como erupciones volcánicas y meteorización de rocas, sin embargo, los factores antropogénicos resumidos en industrialización, urbanización, descarga de efluvios mineros sin tratamiento, desechos municipales, uso irresponsable de agroquímicos y uso de combustibles fósiles, son fuentes relevantes y con volúmenes considerables de metales pesados, los cuales terminan siendo depositados y acumulados en el suelo a lo largo del tiempo. (Vijendra & Achlesh, 2020).

Metales pesados: los metales pesados hacen parte de un grupo de elementos químicos caracterizados por tener una densidad relativamente alta y no ser ni química ni biológicamente degradables, tendiendo a bioacumularse, provocando así efectos tóxicos de diverso carácter. Es necesario mencionar que los metales pesados contaminan el suelo y su durabilidad es amplia, persistiendo durante años en dicho recurso natural, arruinando de esta forma, el equilibrio de los ecosistemas, degradando el suelo y perdiendo productividad; además de ser peligrosos para la salud humana. (Amanullah, Ping, Amjad, Mukesh, Altaf, Quan, Ronghua, Zengqiang., 2016); debido a que causa anemia, hipertensión, disfunción renal, inmunotoxicidad y efectos neurológicos y conductuales según la Organización Mundial de la Salud.

Dichos metales pesados tienden a acumularse en la superficie del suelo, permitiendo que las raíces de los cultivos los absorban. Las plantas que crecen en suelos contaminados generalmente absorben más elementos traza, y las concentraciones de estos elementos en los tejidos de las plantas a menudo están directamente relacionadas con su abundancia en el suelo, especialmente en soluciones húmedas. Se ha mencionado que las altas concentraciones de metales en el suelo pueden afectar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud ambiental a medida que avanzan en la cadena alimentaria a través del consumo de plantas por parte de animales y humanos. (Chaudhary, Bhat, Ram, Rana, Khatri, Gaurav, Vanish, Humira, Rupesh, 2020).

Fitorremediación: una alternativa prometedora para remediar los suelos con altos contenidos de metales pesados es la fitorremediación, esta se puede definir como el aprovechamiento de propiedades de las especies vegetales, las cuales tienen la capacidad de absorber, degradar e inmovilizar contaminantes químicos, destacando que, existen plantas

fitorremediadoras que, a pesar del alto contenido de metales pesados en el suelo, la planta no sufre daños adversos. (Velásquez & Cobeña, 2022).

Las plantas por medio de sus raíces absorben los metales pesados para luego ser bioacumulados en sus tejidos vegetales como tallo y hojas, así mismo, cabe destacar que, existen factores importantes para determinar la eficacia de la técnica de fitorremediación; como el tipo y la concentración de los contaminantes, la composición del suelo y sus características tanto físicas como químicas y biológicas, las condiciones climáticas y las propiedades de la planta. (Vijendra & Achlesh, 2020).

3. Metodología

La monografía en cuestión fue orientada a la búsqueda de material científico tanto nacional como internacional, relacionado con análisis, argumentos, metodología y resultados del alcance de fitorremediación de las plantas para el tratamiento de suelos contaminados con plomo. Por lo anterior, se presenta a continuación la metodología cumplida para dicha investigación:

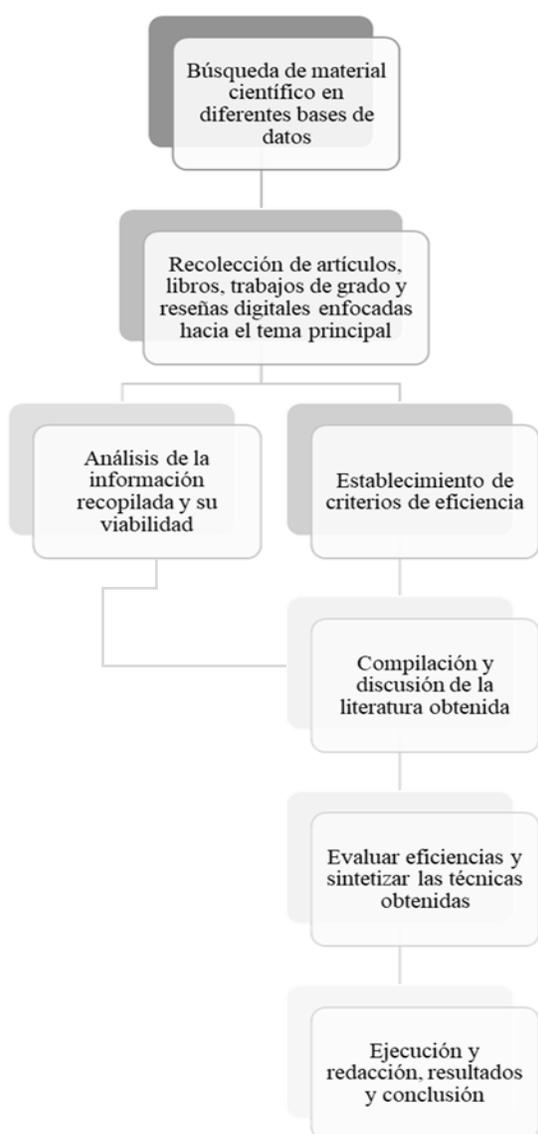


Figura 1. Diagrama de la metodología. Fuente: Autora del proyecto

3.1 Técnicas e instrumentos de recolección y selección de información

En general fue formulada una ecuación de búsqueda en español e inglés con palabras claves como: “fitorremediación”, “suelos”, “plomo”, “phytoremediation”, “soils”, “lead”, respectivamente; las cuales fueron filtradas en las fuentes de información utilizadas, teniendo en cuenta que cada documento estuviese relacionado con el tema principal. El análisis fue realizado según el año, tipo de especie, concentración inicial de plomo, porcentajes de eficiencia de remoción y tipos de suelos, resultando así en la correcta selección de la información utilizada y citada.

3.2 Fuentes de información

Las principales fuentes de datos utilizadas para esta revisión bibliográfica fueron los recursos abiertos; comprendidos por libros, artículos de investigación, artículos monográficos, trabajos de grado y reseñas digitales; haciendo uso de bases de datos como ScienceDirect, Scielo, ResearchGate, PubMed, Springer Nature, Taylor and Francis Online, MDPI, entre otras.

4. Resultados

4.1 Síntesis de investigaciones sobre fitorremediación de suelos contaminados con plomo

Una vez obtenida la base de datos bibliográfica fundamentada en artículos, tesis y publicaciones ejecutadas recientemente sobre fitorremediación de suelos contaminados con plomo (40 en total), se procedió a revisar cada uno de ellos para evidenciar qué tipo de plantas y técnicas se están empleando para los suelos contaminados con el metal pesado ya especificado. Así pues, se realizó un filtro a partir de ello, para así, efectuar una síntesis descrita por los objetivos de estas investigaciones:

Shuang, Tingan, Shanlin (2013), llevaron a cabo un experimento de cultivo en macetas para evaluar tres tipos de plantas: *Quamolit pennata*, *Antirrhinum majus L.* y *Celosia cristata pyramidalis*, investigando las características de acumulación y tolerancia al plomo (Pb). En base a los hallazgos de los experimentos de cultivo en macetas y gradiente de concentración, se identificó que *Celosia cristata pyramidalis* es un acumulador de Pb, puesto que, la concentración de Pb en la planta era alto y se pudo extraer de manera considerable los metales pesados cuando fue cosechada, influyendo así en la remediación de suelos contaminados como una forma de fitoestabilización.

Para el año 2016, los autores Yang, Liang, Han; investigaron los efectos de los hongos micorrízicos arbusculares (AMF) y la presencia de leguminosas o hierbas gramíneas en la fitorremediación en un suelo contaminado con plomo (Pb).; haciendo uso como planta fitorremediadora de un árbol denominado *Robinia pseudoacacia*. La evaluación microscópica confirmó que se estableció una simbiosis eficiente entre los AMF y las raíces de las plantas. La

mayor proporción de Pb entre raíces y brotes fue detectada en plantas micorrízicas, por lo que, se sugiere que la inoculación con micorrizas mejora la absorción y acumulación de Pb en el sistema radicular en comparación con las plantas no micorrízicas.

En el mismo año, la universidad de Mashhad, los autores Saghi, Rashed, Parsa y Hammami, utilizaron 2 tipos de plantas herbáceas correspondientes a *Rapistrum rugosum* y *Sinapis arvensis* las cuales causan una reducción significativa en el rendimiento de los cultivos. Sin embargo, evaluaron el nivel de acumulación, adsorción y transporte que presentan las plantas de raíz a tallo, con respecto al plomo. Se pudo observar que la acumulación de Pb en raíces y brotes es directamente proporcional a la concentración de Pb en el suelo puesto que, a medida que aumenta la concentración de Pb en el suelo conducen a aumentar la absorción de Pb por ambas especies, creando alta biomasa en periodos relativamente cortos, esto debido a presencia de enzimas como dismutasa, peroxidasa y lipoxigenasa; demostrando así, el alto potencial de fitoestabilización de *Sinapis arvensis* y *Rapistrum rugosum* para ser utilizadas en tecnologías de fitorremediación.

Ahora pues, Queupuan (2017) realizó una evaluación de fitorremediación de la especie *Atriplex halimus L.*, con condiciones controladas, utilizando un invernadero propio de la facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile, en la provincia de Santiago. La autora estableció 24 macetas con suelo contaminado con el metal pesado Plomo (2,950 mg/Kg) y ácido cítrico en dos dosis como agente quelante (4 g/L y 8 g/L) a través del agua de riego. Evaluando la concentración de Pb en la especie a los 90 y 180 días de ensayo. Los resultados obtenidos, permiten señalar que la aplicación continua de ácido cítrico produjo un aumento significativo en la concentración de Pb en la planta obteniendo concentraciones de $28,6 \pm 3,9$ mg Kg⁻¹ en hojas

y $200,2 \pm 38,8$ mg Kg⁻¹ en raíces. Así pues, se obtuvo que, la especie *Atriplex halimus* L. acumula en su mayoría plomo en sus raíces, fitoestabilizando suelos contaminados con plomo.

García, Villada y Gómez (2018), analizaron variables como longitud de tallo, número de hojas, peso fresco y peso seco para determinar la adaptación de la planta al medio, a través de una evaluación sobre la adaptación que tiene la planta *Helianthus annuus* en asociación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en un suelo contaminado con plomo. El estudio fue realizado como experimento de invernadero en las Instalaciones del Tecnológico de Antioquia en la sede de Robledo, ubicada en la ciudad de Medellín, donde se detectó que *H. annuus* es capaz de desarrollarse en medios contaminados con plomo. La producción de biomasa en las plantas de *H. annuus*, fue similar en todos los tratamientos, lo que indica que la asociación fue rápida, si se consideran las cuatro semanas de investigación.

Por su parte, en el año 2018 Ogundiran, Mekwunyei y Adejumo, investigaron el potencial de germinación, crecimiento, tolerancia y acumulación de plomo (Pb) en la planta *Moringa oleifera* en suelos contaminados con Pb y enmendados con compost y biochar, para su posible fitorremediación. Se analizaron las raíces y los brotes de las plantas, obteniendo como resultados que, la combinación de compost, biocarbón y planta de *Moringa oleifera* se puede utilizar para remediar los suelos contaminados con Pb; puesto que, la planta toleró la contaminación por Pb hasta 8.600 mg/Kg en suelos que fueron enmendados con compost de estiércol de girasol y aves, cáscara de arroz y cáscara de maní biochars sin evidencia de fitotoxicidad observable en ellas.

Prosiguiendo en el 2018, Sidhu, Bali, Batish y Kohli, pertenecientes al departamento de estudios ambientales de la Universidad de Panjab ubicada en India, llevaron a cabo un estudio

enfocado en el efecto de la toxicidad del Pb con respecto al crecimiento, rendimiento y eficiencias fotosintéticas de la planta *Coronopus didymus* durante un periodo de 4 y 6 semanas, en las cuales se utilizaron medios enriquecidos con Plomo en diferentes concentraciones (100, 350, 1500, 2500 mg kg⁻¹) para evaluar la respuesta a niveles elevados del metal. Como resultado de lo anterior, fue obtenido un alto crecimiento, mayor biomasa y una capacidad excepcional especialmente en raíces, surgiendo como una nueva especie efectiva para la remediación de suelos contaminados con Pb.

Siguiendo la línea, en el año 2019, es presentada una investigación realizada en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa por Febres, donde su objetivo principal es basado en la reducción del impacto negativo del Plomo en suelos, precisando el comportamiento del *Helianthus annuus* (girasol) y estiércol de *Eisenia foetida* (lombriz roja) en el proceso de remediación. Por lo tanto, se realizaron 4 pruebas distintas: T1 suelo contaminado con plomo, más estiércol de lombriz y girasol; T2 Suelo contaminado con plomo y estiércol de lombriz; T3 Suelo contaminado con plomo más girasol y T4 suelo contaminado con plomo como control. Resultando así, en la efectividad del tratamiento 2, el cual presentó los mejores resultados en comparación con los demás; con una efectividad del 81,21% y disminuyendo la concentración de 121,05ppm a 22,75ppm.

En búsqueda de alternativas que permitan remediar la contaminación del suelo por metales pesados, Peña (2019) en la investigación titulada “*Evaluación de la capacidad de absorción del Helianthus annuus, como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo*”, realizó un modelo a escala pequeña en un área de 2m², simulando suelos contaminados con plomo, tomando 2 recipientes con concentraciones de 700mg/Kg y 1200 mg/Kg. El experimento duró

aproximadamente 6 semanas y se llevaron al laboratorio para su respectivo análisis. El resultado concreto de la investigación comprueba que el *Helianthus annuus* es eficaz fitorremediador de suelos contaminados con plomo.

De igual manera, en el mismo año, AL-Jobori & Kadhim, realizaron un experimento en macetas utilizando un diseño de bloques completamente al azar (CRBD) con seis tratamientos y tres repeticiones. Las semillas de girasol se cultivaron en macetas de plástico con 10 Kg de suelo y se aplicaron diferentes concentraciones de plomo (0, 50, 100, 150, 200 y 250 mg Pb/kg suelo). Se tomaron muestras de plantas de diferentes macetas después de la cosecha y se estimó la acumulación de plomo de toda la planta, la raíz, el tallo y las hojas, la mayor concentración de plomo se encontró en las raíces, seguida por el tallo y las hojas. El presente estudio sugiere que el girasol con alta biomasa ha eliminado el plomo de manera eficiente convirtiéndola en una adecuada planta potencial fitorremediadora.

Ahora pues, para el año 2020, Menhas, Hayat, Niazi, afirman que *Cronobacter sakazakii* activa los mecanismos de tolerancia al estrés y promoción del crecimiento vegetal. Por lo que, se realizó un experimento en invernadero para examinar los efectos de la sinergia entre bacterias endófitas promotoras del crecimiento vegetal (PGPEB) y quelantes en plantas de maíz (*Zea mays L.*) para remediar suelos contaminados con plomo (Pb). La biomasa vegetal y la productividad es una característica integral para determinar el crecimiento y desarrollo de las plantas bajo condiciones de estrés por Pb. Resultando de esta manera, en que el complejo *C. sakazakii*-EDTA mejoró significativamente el crecimiento y el desarrollo del maíz, la capacidad de tolerancia al Pb, la absorción del Pb y la fitorremediación del Pb, bajo diferentes regímenes de tensión de Pb; como lo demuestran sus altas características de fitoextracción como BCF y TF.

Santos *et al.*, (2020); verificaron el potencial del uso combinado del método de fitorremediación y estabilización de metales con lodos de depuradora (SW) en la recuperación de suelos con alto contenido de plomo (Pb). Se ensayaron cinco dosis de SW (0; 13,4; 26,7; 53,4; 106,8 Mg ha⁻¹) y tres condiciones de cultivo (sin cultivar, avena negra y nabo forrajero). Por lo que, la aplicación de lodos de depuradora (SW) en suelos con alto contenido de Pb favoreció la nutrición y el crecimiento de las plantas *Avena strigosa Schreber* y *Raphanus sativus L.*, promoviendo una mayor absorción de Pb, combinación deseable en la técnica de fitoestabilización.

Seguidamente, en el mismo año Manzoor M, Gul I, Manzoor A, Kamboh UR, Hina K, Kallerhoff J y Arshad M., diseñan localmente un dispositivo de cultivo especial para el estudio de la rizosfera, el cual permite la investigación a cambios inducidos en esta zona del suelo, teniendo en cuenta el plomo biodisponible. Para este estudio se utilizan dos plantas acumuladoras de Pb denominadas *Stigmatocarpum criniflorum (L. f.) L. Bolus* y *Pelargonium × hortorum* las cuales fueron cultivadas en suelo enriquecido con plomo durante un periodo de 3 semanas a concentraciones de 500, 1000, 1500 y 2000 mg/Kg, analizando el contenido aumentativo de estrés oxidativo, capacidad de ajuste del suelo, pH y carbono orgánico disuelto con respecto a la captación de las 2 plantas. Según lo anterior, se realiza una comparación, indicando que la fracción biodisponible de Pb fue dos veces mayor en la rizosfera de *P. hortorum* que en *S. criniflorum* a la misma concentración de Pb en el suelo, para la captación del metal, los resultados indicaron una mayor tolerancia al Pb y la idoneidad de *P. hortorum* para fitoextracción de suelos contaminados con Pb.

De igual manera, en el año 2020, Zehra *et al.*, realizaron un prometedor estudio con 40 germoplasmas de girasol seleccionados en condiciones de campo para fitorremediación de suelo contaminado con plomo, debido a la exposición frecuente a diversos fertilizantes y pesticidas en las inmediaciones; con posibilidad de producción de aceite y harina. Fueron registradas características fenotípicas como la altura de la planta, la biomasa y el rendimiento de grano para evaluar germoplasmas de alta acumulación, que se utilizaron para análisis posteriores; concluyendo que, el girasol GP.8: 8585 gracias a su capacidad de fitoextracción eficiente y la producción de harina y aceite comestible de buena calidad era el más apropiado para restaurar suelos moderadamente contaminados con Pb.

Cabe resaltar que, la fitorremediación ha servido como herramienta de tratamiento de suelos afectados por metales pesados en Perú, ya que se calcula un promedio entre 2400 y 2800 km² de suelo afectados por plomo. Así pues, Vargas (2021) en su trabajo de investigación monográfico, definió al principal causante de la contaminación de suelos con plomo a la minería, sin embargo, también describió otras fuentes tales como: agroquímicos, descargue de aguas residuales domésticas, municipales e industriales y fuentes naturales. Por lo tanto, para Perú se han implementado técnicas de fitorremediación con especies como *Alopecurus magellanicus bracteatus*, *Muhlenbergia angustata*, *Helianthus annuus L.* y *Zea mays*, siendo estas dos últimas utilizadas en como enmiendas de suelo para remover el plomo, obteniendo remociones con un porcentaje del 10%; otro tipo de especies usadas son *Solanum nitidum*, *Brassica rapa*, *Fuertesimalva echinata*, *Urtica urens* y *Lupinus ballianus* que, acumulando los metales en sus raíces, cumplen con la intención clara de poder remediar los suelos contaminados y brindar un buen porcentaje de remoción; como conclusión en la investigación, se estableció la

fitorremediación como una técnica que genera menos perjuicios al ecosistema y posee mayores ventajas si se compara con otros sistemas de tratamiento.

Así mismo, en el año 2021 Oliveira *et al.*, afirman que, según lo informa un estudio realizado por el Departamento de Biología y Zootecnia de la Universidad Estadual Paulista, que en la sabana brasileña existe una especie de árbol denominado *Lonchocarpus cultratus* el cual soporta niveles altos de Pb. Por consiguiente, se evaluó el comportamiento de la especie Fabaceae, al ser cultivada en suelo contaminado artificialmente, aplicando 400 mL de soluciones que contenían diferentes concentraciones de acetato de plomo al suelo incubado por 15 días, durante un periodo de 6 meses. La concentración de Pb elegida para este experimento se basó en el rango de niveles de Pb en el suelo que son tóxicos para las plantas, teniendo en cuenta valores respecto a control y tratamientos (56, 120, 180 y 292 mg/Kg). El plomo se acumuló principalmente en las raíces (de 67 a 99%), lo que sugiere que la baja translocación de Pb de raíz a tallo es una estrategia de la planta para evitar daños inducidos por Pb en tejidos fotosintéticos, notando incrementos en el área foliar de las plantas y a su vez en la longitud de la raíz, tolerando así, altas concentraciones de plomo. Así mismo, la disponibilidad de biomasa para la fitoestabilización y el intercambio gaseoso del suelo tuvo un desarrollo eficiente en tierras contaminadas, demostrando que la planta *L. cultratus* presenta un alto impacto frente a la disminución de Pb en el suelo.

En ese mismo año, Rathika *et al.*, evaluaron el efecto sinérgico del biochar (BC) y el EDTA para mejorar la fitoextracción del metal pesado plomo (Pb) en suelos artificialmente contaminados, a través de la planta *Brassica juncea*. Los resultados obtenidos revelaron que el uso combinado de BC y EDTA fue la opción más ventajosa para el tratamiento de suelos

contaminados con Pb en comparación con las enmiendas individuales. Así pues, dicha investigación proporciona un apoyo comprensivo para la aplicación combinada con acumuladores para remediar el ambiente contaminado con Pb y demuestra que este enfoque sinérgico es practicable y prometedor.

En cuanto a Yang *et al.* (2022), basaron su estudio en la realización de experimentos en macetas con suelo contaminado de Plomo (Pb); teniendo en cuenta el crecimiento y la eficiencia de fitorremediación en el suelo; a través de la planta fitorremediadora *Sasa argenteostriata* (Regel) E.G. Camus. Como resultado y teniendo en cuenta factores como el riesgo ambiental, el crecimiento de las plantas y la eficiencia de la fitorremediación, el tratamiento EN900 es la estrategia más prometedora para la fitorremediación con *S. argenteostriata* en suelos contaminados con Pb. Este estudio aclara la elección de técnicas de remediación y las características fisiológicas de las plantas utilizadas en dichos estudios.

Posteriormente, en otro estudio realizado en el año 2022, Espada Juan, Rodríguez Rosalía, Gari Vanessa, Salcedo-Abraira Pablo y Bautista Luis Fernando; aplicaron la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para estudiar el desempeño ambiental de la fitoextracción usando *Festuca arundinacea*, así como otros tratamientos tradicionales para remediar un suelo contaminado con Pb; siendo el LCA un criterio metodológico para cuantificar los impactos ambientales de los productos y procesos. En cuanto al plomo, *F. arundinacea* acumula más cantidad de plomo en las raíces que en los brotes, según se muestra en los valores del factor de bioconcentración (FBC): 3,73 (raíces) y 1,84 (brotes), respectivamente; convirtiéndose así en una opción atractiva para la remediación de suelos altamente contaminados con Pb desde el punto de vista ambiental.

De igual manera, Yang Y., Jiang M., Liao J., Luo Z., *et al.*, buscó en el 2022 evaluar y comparar los efectos del EDTA, el ácido nitrilotriacético (NTA) y el ácido glutámico-N,N-diacético (GLDA) solos (tratamiento E, N, G) y en combinación (tratamiento EN y EG), en el crecimiento de la planta *Indocalamus decorus* Q.H. Dai, la eficiencia de fitorremediación y el ambiente del suelo en suelos contaminados con Pb. El tratamiento EN tuvo la mayor eficacia de fitorremediación en suelos contaminados con Pb cuando se combina con *I. decorus*, destacando así su enorme potencial en futuras investigaciones.

Por último, Castro Paes *et al.*, en el presente año 2023, evaluaron la capacidad de especies de plantas adaptadas a condiciones semiáridas brasileñas para crecer en suelos contaminados con plomo (Pb). El experimento se realizó en un vivero factorial 4×5, teniendo así: cuatro especies de plantas (*M. oleifera*, *P. juliflora*, *A. peregrina* y *U. ruziziensis*) y cinco concentraciones de Pb en el suelo (0.0; 0.52; 1.05; 2.10 y 4.20 g/Kg). Demostrando que, aunque las cuatro especies pudieron crecer y desarrollarse en ambientes altamente contaminados con Pb; *U. ruziziensis* pudo acumular niveles de Pb por encima de 1400 mg/Kg; por lo tanto, es una especie con potencial para la fitorremediación.

4.2 Viabilidad de especies utilizadas en fitorremediación de suelos contaminados con plomo

Partiendo de la síntesis de investigaciones recopiladas en el anterior capítulo, es fundamental para el presente estudio, analizar la viabilidad de las especies y técnicas utilizadas en los artículos y tesis experimentales, así como el tipo de suelo empleado. Así pues, se realizó un reconocimiento de dichos factores en cada uno de los trabajos revisados, resumidos en la tabla presentada a continuación:

Tabla 1. Especies vegetales y técnicas de fitorremediación utilizadas

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
Evaluation of three ornamental plants for phytoremediation of Pb-contaminated soil	Cui Shuang, Zhang Tingan, Zhao Shanlin <i>et al.</i>	2013	<i>Celosia cristata pyramidalis</i>	Fitoestabilización	Se usó como medio de cultivo suelo de burozem de pradera superficial (0–20 cm)
The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil	Yang Y., Liang Y., Han X. <i>et al.</i>	2016	<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	Fitoestabilización	Se recolectó suelo de la capa superior (0–15 cm) en el Vivero de la Facultad de silvicultura de la Universidad Northwest
Phytoremediation of Lead-Contaminated Soil by <i>Sinapis arvensis</i> and <i>Rapistrum rugosum</i>	Saghi, A., Rashed Mohassel, M. H., Parsa, M., & Hammami, H.	2016	<i>Sinapis arvensis</i> y <i>Rapistrum rugosum</i>	Fitoestabilización	Condiciones controladas de invernadero

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
Evaluación de fitorremediación de suelos contaminados con plomo mediante el cultivo de <i>Atriplex halimus L.</i>	Queupuan C. Millaray Elba.	2017	<i>Atriplex halimus L.</i>	Fitoestabilización	Suelo contaminado con Pb proveniente de La Comuna de Puchuncaví (Chile)
Evaluación de la adaptación de <i>Helianthus annuus</i> en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo	García Ávila Carolina, Villada Sierra Laura Andrea & Gómez Julián Robayo.	2018	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	Contaminado artificialmente
Compost and biochar assisted phytoremediation potentials of <i>Moringa oleifera</i> for remediation of lead contaminated soil	Ogundiran Mary B., Mekwunyei Nosike S., Adejumo Sifau A.	2018	<i>Moringa oleifera</i>	Fitoestabilización	Vertedero de escoria de fundición de Pb de batería de automóviles abandonados

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
Phytoremediation of lead by a wild, non-edible Pb accumulator <i>Coronopus didymus</i> (L.) Brassicaceae	Sidhu G. P. S., Bali A. S. Singh, H. P. Batish, D. R., & Kohli, R. K.	2018	<i>Coronopus didymus</i>	Fitoestabilización	Condiciones controladas de suelo y se agregó artificialmente el metal pesado
Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (<i>Helianthus annuus</i>) y estiércol de lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) en condiciones controladas	Febres Flores Shadai E.	2019	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	Condiciones controladas de invernadero, el plomo fue agregado por medio del sistema de riego

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
Evaluación de la capacidad de absorción del <i>Helianthus annuus</i> , como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo	Peña Álvarez Ivonne Margarita.	2019	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	Condiciones controladas
Evaluation of sunflower (<i>Helianthus annuus</i> L.) for phytoremediation of lead contaminated soil	Kamil M. AL-Jobori, Athar K. Kadhim.	2019	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoestabilización	Contaminado artificialmente

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
Microbe-EDTA mediated approach in the phytoremediation of lead-contaminated soils using maize (<i>Zea mays L.</i>) plants	Menhas S., Hayat K., Khan N., <i>et al</i>	2020	<i>Zea mays L.</i>	Fitoextracción	Contaminado artificialmente
Hybrid technologies for remediation of highly Pb contaminated soil: sewage sludge application and phytoremediation	Santos Maisa, Freitas Melo Vander, Monte Serrat Beatriz, Bonfleur Eloana, Moura Araújo Eloá & Cherobim Verediana Fernanda.	2020	<i>Avena strigosa Schreber</i> y <i>Raphanus sativus L.</i>	Fitoestabilización	Minería y actividades metalúrgicas
Lead availability and phytoextraction in the rhizosphere of <i>Pelargonium species</i>	Manzoor, M., Gul, I., Manzoor, A., Kamboh, U. R., Hina, K., Kallerhoff, J., & Arshad, M.	2020	<i>Stigmatocarpum criniflorum (L. F.) L. Bolus</i> y <i>Pelargonium × hortorum LH Bailey</i>	Fitoextracción	Condiciones controladas

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
Assessment of <i>sunflower</i> germplasm for phytoremediation of lead-polluted soil and production of seed oil and seed meal for human and animal consumption	Zehra Afsheen, Ali Sahito Zulfiqar, Tong Wenbin, Tang Lin, Hamid Yasir, Bilal Khan Muhammad, Ali Zarina, Naqvi Beena, Yang Xiaoe.	2020	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	Suelo agrícola moderadamente contaminado con plomo debido a la exposición frecuente de varios fertilizantes y pesticidas
<i>Lonchocarpus cultratus</i> , a Brazilian savanna tree, endures high soil Pb levels	Oliveira, D. G., Carvalho, M. E. A., Silva, H. F., Brignoni, A. S. <i>et al.</i>	2021	<i>Lonchocarpus cultratus</i>	Fitoestabilización	Condiciones controladas
Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by <i>Brassica juncea</i>	Rathika R., Srinivasan P., Alkahtani Jawaher, Al-Humaid L.A., Alwahibi Mona S., Mythili R., Selvankumar T.	2021	<i>Brassica juncea</i>	Fitoextracción	Contaminado artificialmente

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
Efficiency of heterogeneous chelating agents on the phytoremediation potential and growth of <i>Sasa argenteostriata</i> (Regel) E.G. Camus on Pb-contaminated soil	Yang Yixiong, Liao Jiarong, Chen Yahui, Tian Yuan, Chen Qibing, Gao Suping, Luo Zhenghua, Yu Xiaofang, Lei Ting, Jiang Mingyan.	2022	<i>Sasa argenteostriata</i> (Regel) EG Camus	Fitoextracción	Condiciones controladas en invernadero
Coupling phytoremediation of Pb-contaminated soil and biomass energy production: A comparative Life Cycle Assessment	Espada Juan J., Rodríguez Rosalía, Gari Vanessa, Salcedo-Abraira Pablo & Bautista Luis Fernando.	2022	<i>Festuca arundinacea</i>	Fitoextracción	Suelo altamente contaminado con Pb cercano a una mina abandonada
Effects of Simultaneous Application of Double Chelating Agents to Pb-Contaminated Soil on the Phytoremediation Efficiency of	Yang Y, Jiang M, Liao J, Luo Z, Gao Y, Yu W, He R, Feng S.	2022	<i>Indocalamus decorus</i> QH Dai	Fitoestabilización	Tierra vegetal recolectada y mezclada adecuadamente para obtener suelo contaminado

Investigación	Autor (es)	Año de presentación	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Suelo empleado
<i>Indocalamus decorus</i> <i>Q. H. Dai</i> and the Soil Environment					
Potential of plant species adapted to semi-arid conditions for phytoremediation of contaminated soils	Paes Ésio, Vieira Veloso Gustavo, de Castro Filho Manoel Nelson, <i>et al.</i>	2023	<i>Moringa oleifera</i> Lam, <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC., <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg., y <i>Urochloa ruziziensis</i>	Fitoextracción	Minería

Analizando lo planteado con anterioridad, es notable el uso de diferentes especies vegetales, las cuales han sido utilizadas a lo largo de los años para realizar el proceso de fitorremediación en suelos contaminados con plomo. Cada experimento fue realizado a partir de distintas metodologías planteadas, por lo que el estudio de la viabilidad fue estimado según los resultados obtenidos, la recurrencia de la especie en los estudios, las técnicas utilizadas y la disponibilidad de la planta en el país. Por ello, fue realizado un filtro de revisión, donde se ejecutó la comprobación de cada experimento teniendo en cuenta cada planta, árbol o arbusto empleado en las investigaciones sintetizadas en la Tabla 1; haciendo uso del Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF), definida como una base de datos especializada y de acceso abierto a información sobre especies vegetales nativas de cualquier parte del mundo y el Sistema de Información sobre Biodiversidad de Colombia (SiB), iniciativa nacional de carácter colaborativo y tecnológico con el propósito de brindar acceso libre a información sobre la diversidad biológica del país.

Así pues, cuatro de dichas especies cumplen el filtro realizado y experimentalmente muestran resultados favorables, comprobando así su viabilidad en las técnicas de fitoextracción y/o fitoestabilización del plomo (Pb) como metal pesado:

- ***Zea mays L.***: el maíz, es una especie de importancia en el sector agroalimentario de Colombia, esto, se ve reflejado en que está definido como el tercer cultivo con más extensiones de tierra sembradas en el país, por debajo del café y del arroz, por ende, posee ciertas ventajas en las cuales podemos destacar: su disponibilidad de semillas, su facilidad de siembra y su rápida tasa de crecimiento, así como su característica relevante de especie fitorremediadora, debido a su extenso sistema radicular. Cabe resaltar que, en los estudios anteriormente mencionados se

observa que la mayor cantidad de plomo se acumula hasta en un 90% en su raíz, demostrando que el proceso de fitoextracción se realiza de forma simplástica; pasando al tallo, haciendo uso de los tejidos xilemáticos y permitiendo su llegada a la hoja y de regreso a la raíz por medio del floema.

- ***Helianthus annuus***: en Cundinamarca, el girasol es la especie principal en las actividades de floricultura realizadas en la región; es perteneciente a la familia Asteraceae, destacada por su tolerancia a niveles por encima de lo normal de metales pesados; proponiéndola así, en múltiples investigaciones como planta fitorremediadora, y, al igual que en el caso del maíz, su capacidad fitorremediadora está dada por la raíz. Es destacable que en varias especies vegetales las concentraciones de plomo afectan directamente el crecimiento de la misma, no obstante, el girasol crece en condiciones de plomo elevadas y no presenta diferencias significativas en su desarrollo.

- ***Moringa oleífera***: en Colombia, la moringa es cultivada en varios departamentos, destacándose por ser un árbol resistente en zonas secas, pero vulnerable en condiciones donde existe una condición de humedad elevada. La fitoestabilización es una técnica de fitorremediación la cual utiliza la siembra de árboles que poseen una alta cobertura vegetal, lo cual restringe la llegada de metales pesados a los suelos, por lo tanto, no se utilizan árboles hiperacumuladores, sino que tengan características tales como resistencia a sequía, rápido crecimiento, alta biomasa, y toleren metales pesados, por lo que, la especie *Moringa oleífera*, tiene una capacidad de biosorventes en su semilla, corteza y hojas, lo cual permite quelar metales pesados y se convierte así en una especie fitorremediadora con gran capacidad de uso.

- ***Brassica juncea L.***: la Mostaza de india no es una especie de interés agrícola en Colombia como las descritas anteriormente, sin embargo, existen cultivos en nuestro territorio y cuentan con gran importancia en el área de la investigación biotecnológica específicamente en el ámbito de la fitorremediación. *Brassica juncea* extrae, secuestra y detoxifica los metales pesados, basando su capacidad fitorremediadora en sus características genotípicas, en las cuales se han encontrado 80 genotipos ligados en la fitoextracción de metales pesados.

4.3 Evaluación de eficiencias de especies y síntesis sobre técnicas de fitorremediación en suelos contaminados con plomo

Una vez obtenida la información necesaria en el Capítulo 2 y Capítulo 3, fue fundamental evaluar dichos datos y agregar, además, los factores de eficiencia presentados u obtenidos en cada investigación.

Por lo tanto, es presentada la síntesis respectiva de las técnicas utilizadas en los estudios a lo largo de la investigación, señalando su concepto y características peculiares; obteniendo así la fitoestabilización y la fitoextracción como técnicas principales:

- ***Fitoestabilización***: la fitoestabilización es una técnica derivada de la fitorremediación la cual realiza la acción de inmovilizar los contaminantes, en este caso, metales pesados del suelo, a través de la absorción, por lo tanto, permite disminuir la migración de contaminantes. Por lo general, no se utilizan especies vegetales con la capacidad de hiperacumular, sino que tengan la capacidad de biosorción. Además, esta técnica es aplicada cuando las contaminaciones de metales pesados se encuentran de forma superficial en el suelo (Méndez, 2020). Una

característica importante, en la fitoestabilización es que, los metales pesados son acumulados en las raíces, y no llegan a tallos y hojas, lo cual permite reducir la biodisponibilidad del metal pesado, minimizando su impacto ambiental. La fitoestabilización funciona de la siguiente manera: los metales pesados son transportados a través de la membrana plasmática de las células de la raíz, la translocación es a través del xilema y el secuestro de los metales pesados se realiza en toda la planta (Silva, 2016).

• **Fitoextracción:** la técnica de fitorremediación llamada fitoextracción, es justo lo contrario a la técnica descrita anteriormente, en esta se buscan especies hiperacumuladoras que activen procesos de absorción, translocación y acumulación de metales pesados en la parte superior de la planta. La especie utilizada en estas técnicas debe ser capaz de extraer una gran cantidad de metales pesados, siendo eficaz en el transporte de metales pesados por sus estructuras (tallo, raíz, hojas), además debe tener una capacidad única de almacenar e inactivar los metales pesados de forma que no cause daños afectando su crecimiento (Velázquez, 2022). La raíz es el tejido de entrada para el metal pesado, gracias a los intercambios catiónicos, las cargas negativas encontradas en la raíz interactúan con las cargas positivas de los metales pesados, una vez dentro de la planta, entra en acción los quelantes (ácido cítrico, ácido oxálico, ácido málico), aminoácidos y péptidos, para realizar la detoxificación el cual retiene el metal en la vacuola (Ávila, 2017).

Ahora pues, existen factores que permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y/o translocar metales del suelo a esta misma, definidas por Febres en 2019 como:

.Factor **de bioconcentración**: conocido por sus siglas en inglés como BFC (bioconcentration factor), es utilizado para medir la capacidad de captación de un metal por una planta (raíz y parte aérea) con relación a su concentración en el suelo. Para las plantas, el BCF se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales en biomasa, donde valores mayores a 1 indican que las especies son potencialmente hiperacumuladoras y valores menores a 1 denotan a aquellas especies exclusoras. Su fórmula es:

$$BFC = \frac{\text{Concentración del metal en la planta } \left(\frac{mg}{Kg}\right)}{\text{Concentración inicial del metal en el suelo } \left(\frac{mg}{Kg}\right)} \quad (Ec. 1)$$

.**Factor de translocación**: conocido por sus siglas en inglés como TF (translocation factor), es el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y la raíz. Un valor de TF mayor a 1 indica una eficiente translocación del metal a los brotes u órganos aéreos, por lo que la planta puede usarse con fines de fitoextracción. No obstante, si dicho valor es menor a 1, la translocación del metal es retenido principalmente en las raíces y puede usarse como técnica de fitoestabilización. Su fórmula es:

$$TF = \frac{\text{Concentración del metal en la parte aérea de la planta } \left(\frac{mg}{Kg}\right)}{\text{Concentración del metal en la raíz } \left(\frac{mg}{Kg}\right)} \quad (Ec. 2)$$

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta a continuación la información recolectada para dar cumplimiento al objetivo propuesto:

Tabla 2. Factores de eficiencia obtenidos

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Evaluation of three ornamental plants for phytoremediation of Pb-contaminated soil	Cui Shuang, Zhang Tingan, Zhao Shanlin <i>et al.</i>	<i>Celosia cristata pyramidalis</i>	Fitoestabilización	BCF = 0.23 TF = 0.97
The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil	Yang Y., Liang Y., Han X. <i>et al.</i>	<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	Fitoestabilización	BCF = 0.51 TF = 0.58
Phytoremediation of Lead-Contaminated Soil by <i>Sinapis arvensis</i> and <i>Rapistrum rugosum</i>	Saghi, A., Rashed Mohassel, M. H., Parsa, M., & Hammami, H.	<i>Sinapis arvensis</i> y <i>Rapistrum rugosum</i>	Fitoestabilización	<i>S. arvensis</i> BCF = 4.36 TF = 0.25 <i>R. rugosum</i> BCF = 3.35 TF = 0.32

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Evaluación de fitorremediación de suelos contaminados con plomo mediante el cultivo de <i>Atriplex halimus L.</i>	Queupuan C. Millaray Elba.	<i>Atriplex halimus L.</i>	Fitoestabilización	BCF = 0.01 TF = 0.7
Evaluación de la adaptación de <i>Helianthus annuus</i> en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo	García Ávila Carolina, Villada Sierra Laura Andrea & Gómez Julián Robayo.	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	BCF = >1 TF = >1
Compost and biochar assisted phytoremediation potentials of <i>Moringa oleifera</i> for remediation of lead contaminated soil	Ogundiran Mary B., Mekwunyei Nosike S., Adejumo Sifau A.	<i>Moringa oleifera</i>	Fitoestabilización	BCF = 0.07 TF = 0.55

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Phytoremediation of lead by a wild, non-edible Pb accumulator <i>Coronopus didymus</i> (L.) Brassicaceae	Sidhu G. P. S., Bali A. S. Singh, H. P. Batish, D. R., & Kohli, R. K.	<i>Coronopus didymus</i>	Fitoestabilización	BCF = 1.30 TF = 0.17
Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (<i>Helianthus annuus</i>) y estiércol de lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) en condiciones controladas	Febres Flores Shadai E.	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	BCF = 0.51 TF = 2.76
Evaluación de la capacidad de absorción del <i>Helianthus annuus</i> , como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo	Peña Álvarez Ivonne Margarita.	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	BCF = >1 TF = >1

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Evaluation of sunflower (<i>Helianthus annuus L.</i>) for phytoremediation of lead contaminated soil	Kamil M. AL-Jobori, Athar K. Kadhim.	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoestabilización	BCF = 0.723 TF = 0.116
Microbe-EDTA mediated approach in the phytoremediation of lead-contaminated soils using maize (<i>Zea mays L.</i>) plants	Menhas S., Hayat K., Khan N., <i>et al</i>	<i>Zea mays L.</i>	Fitoextracción	BCF = 8.41 TF = 1.34
Hybrid technologies for remediation of highly Pb contaminated soil: sewage sludge application and phytoremediation	Santos Maisa, Freitas Melo Vander, Monte Serrat Beatriz, Bonfleur Eloana, Moura Araújo Eloá & Cherobim Verediana Fernanda.	<i>Avena strigosa</i> <i>Schreber</i> y <i>Raphanus sativus L.</i>	Fitoestabilización	<i>A. strigosa</i> BCF = 0.037 TF = 0.021 <i>R. sativus</i> BCF = 0.047 TF = 0.018

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Lead availability and phytoextraction in the rhizosphere of <i>Pelargonium species</i>	Manzoor, M., Gul, I., Manzoor, A., Kamboh, U. R., Hina, K., Kallerhoff, J., & Arshad, M.	<i>Stigmatocarpum criniflorum</i> (L. F.) L. <i>Bolus</i> y <i>Pelargonium</i> × <i>hortorum</i> LH Bailey	Fitoextracción	<p><i>S. criniflorum</i> BCF = 0.93 TF = 0.30</p> <p><i>P. hortorum</i> BCF = 1.40 TF = 0.24</p>
Assessment of <i>sunflower</i> germplasm for phytoremediation of lead-polluted soil and production of seed oil and seed meal for human and animal consumption	Zehra Afsheen, Ali Sahito Zulfiqar, Tong Wenbin, Tang Lin, Hamid Yasir, Bilal Khan Muhammad, Ali Zarina, Naqvi Beena, Yang Xiaoe.	<i>Helianthus annuus</i>	Fitoextracción	BCF = >1 TF = 6.04
<i>Lonchocarpus cultratus</i> , a Brazilian savanna tree, endures high soil Pb levels	Oliveira, D. G., Carvalho, M. E. A., Silva, H. F., Brignoni, A. S. <i>et al.</i>	<i>Lonchocarpus cultratus</i>	Fitoestabilización	BCF = 0.69 TF = 0.44

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by <i>Brassica juncea</i>	Rathika R., Srinivasan P., Alkahtani Jawaher, Al-Humaid L.A., Alwahibi Mona S., Mythili R., Selvankumar T.	<i>Brassica juncea</i>	Fitoextracción	BCF = >1 TF = >1
Efficiency of heterogeneous chelating agents on the phytoremediation potential and growth of <i>Sasa argenteostriata</i> (Regel) E.G. Camus on Pb-contaminated soil	Yang Yixiong, Liao Jiarong, Chen Yahui, Tian Yuan, Chen Qibing, Gao Suping, Luo Zhenghua, Yu Xiaofang, Lei Ting, Jiang Mingyan.	<i>Sasa argenteostriata</i> (Regel) EG Camus	Fitoextracción	BCF = 0.17 TF = 0.32

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Coupling phytoremediation of Pb-contaminated soil and biomass energy production: A comparative Life Cycle Assessment	Espada Juan J., Rodríguez Rosalía, Gari Vanessa, Salcedo-Abraira Pablo & Bautista Luis Fernando.	<i>Festuca arundinacea</i>	Fitoextracción	BCF = >1 TF = >1
Effects of Simultaneous Application of Double Chelating Agents to Pb-Contaminated Soil on the Phytoremediation Efficiency of <i>Indocalamus decorus</i> Q. H. Dai and the Soil Environment	Yang Y, Jiang M, Liao J, Luo Z, Gao Y, Yu W, He R, Feng S.	<i>Indocalamus decorus</i> QH Dai	Fitoestabilización	BCF = 0.42 TF = 0.28

Investigación	Autor (es)	Especie fitorremediadora	Técnica de fitorremediación	Factores de eficiencia
Potential of plant species adapted to semi-arid conditions for phytoremediation of contaminated soils	Paes Ésio, Vieira Veloso Gustavo, de Castro Filho Manoel Nelson, <i>et al.</i>	<i>Moringa oleifera</i> Lam, <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC., <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg., y <i>Urochloa ruziziensis</i>	Fitoextracción	<p><i>M. oleifera</i> BCF = 0.33 TF = 0.061</p> <p><i>P. juliflora</i> BCF = 0.23 TF = 0.11</p> <p><i>A. peregrina</i> BCF = 0.08 TF = 0.075</p> <p><i>U. ruziziensis</i> BCF = 0.28 TF = 0.025</p>

La tabla 2. nos permite reconocer la investigación en cuestión y sus factores de eficiencias, teniendo en cuenta la técnica utilizada y el suelo estudiado. Cabe resaltar que, los factores de bioconcentración y translocación fueron tomados de los resultados obtenidos de cada investigación, no obstante, los valores no encontrados, se hallaron a través de la Ecuación 1 y Ecuación 2 respectivamente. Así pues, los datos adquiridos permiten demostrar la eficiencia de cada especie vegetal respecto al suelo utilizado y la técnica de fitorremediación escogida.

Las especies *Zea mays*, *Helianthus annuus* y *Brassica juncea* demuestran ser especies potencialmente fitorremediadoras puesto que, pueden almacenar los contenidos de plomo (Pb) en las diferentes partes de la planta (raíces, tallos, brotes u hojas), para poder ser absorbido, concentrado y precipitado desde el suelo hasta su biomasa resultante. Los altos valores obtenidos de bioconcentración y translocación, permiten definir su alto potencial de plantas hiperacumuladoras y extractoras de plomo. Cabe resaltar que, dichas plantas, según el Sistema Global de Información sobre Biodiversidad (GBIF) son encontradas en Colombia, permitiendo así, la experimentación a nivel local.

No obstante, el resto de las especies vegetales estudiadas, cumplen con la capacidad de fitorremediar suelos contaminados con plomo levemente, haciendo uso tanto de la fitoextracción como la fitoestabilización, debido a que los resultados obtenidos demuestran la depuración del metal pesado en los suelos contaminados y su alta tolerancia a este; convirtiéndose de esta forma, en enfoques prometedores para mejorar la remediación de suelos contaminados ampliamente reportados.

5. Conclusiones

Tras el análisis realizado con anterioridad, queda claro que el proceso de fitorremediación aprovecha la capacidad de las especies vegetales para absorber, acumular y/o estabilizar metales pesados como el plomo presente en suelos contaminados, colocando así, por encima a esta tecnología sobre otros métodos convencionales de remediación.

En la presente revisión se permiten establecer diferentes estudios en pro al tratamiento de suelos contaminados con Pb; cumpliendo los objetivos propuestos e identificando los métodos y las especies vegetales de mayor eficiencia para su aplicación en contextos nacionales.

La revisión bibliográfica, fue basada en artículos, libros, monografías, trabajos de grado y reseñas digitales de índole tanto nacional como internacional, encontradas en diferentes bases de datos seleccionadas; estableciendo de esta forma, la fundamentación teórica del proyecto, sustentando un material concreto y específico en el desarrollo.

Tanto el factor de bioconcentración (BCF) como el factor de translocación (TF) fueron importantes en la selección y evaluación de plantas para la fitorremediación de plomo, puesto que, resultados de investigaciones con valores mayores a 1, son ideales para el proceso de fitoextracción con plantas hiperacumuladoras y, valores menores a 1, cuentan con gran potencial para la fitoestabilización de los metales presentes de manera superficial.

Las especies investigadas crecieron en diferentes tipos de suelos y con niveles de Pb variables; no obstante, *Helianthus annuus*, *Zea mays* y *Brassica juncea*, demostraron tener un

mejor desarrollo y una alta capacidad de extracción para la recuperación de suelos contaminados con Pb.

6. Recomendaciones

En consideración a los resultados obtenidos, es recomendable la realización de experimentos para la remoción de Pb en suelos contaminados, haciendo uso de especies fitorremediadoras como *Helianthus annuus*, *Zea mays* y *Brassica juncea*, puesto que, dichas plantas muestran resultados prometedores y se desarrollan con normalidad en condiciones elevadas de plomo; resaltando el mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Así mismo, la técnica de *fitoextracción* resulta siendo mayormente favorable debido a su capacidad de absorción de contaminantes del suelo desde las raíces hacia sus partes aéreas y/o partes recolectables, eliminando así las sustancias y promoviendo la limpieza del recurso a largo plazo.

Referencias

- Afsheen, Z., Sahito Zulfiqar, A., Wenbin, T., Lin, T., Yasir, H., Khan, B., . . . Xiaoe, Y. (2020). Assessment of sunflower germplasm for phytoremediation of lead-polluted soil and production of seed oil and seed meal for human and animal consu (Afsheen, y otros, 2020)mption for human and animal consumption. *Journal of Environmental Sciences*, 87, 24-38. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.031>
- Alaboudi Khalid, A., Ahmed, B. & Brodie, G.. (2018). Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (*Helianthus annuus*) plant. *Annals of Agricultural Sciences*, 63(1), 123-127. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.aas.2018.05.007>
- Al-Jobori, K. & Kadhim, A.. (2019). Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus L.*) for phytoremediation of lead contaminated soil. *J. Pharm. Sci. & Res*, 11(3), 847-854.
Recuperado de:
<https://www.jpsr.pharmainfo.in/Documents/Volumes/vol11issue03/jpsr11031934.pdf>
- Saffari Aman, M., Jafari M., Karimpour Reihan, M. y Motesharezadeh, B.. (2018). Assessing some shrub species for phytoremediation of soils contaminated with lead and zinc. *Environ Earth Sci*, 77, (82). Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7256-2>
- Amanullah, M., Ping, W., Amjad, A., Mukesh, A., Altaf, H., Quan, W., Ronghua, L., Zengqiang, Z. (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126: 111-121.
Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.12.023>

- Ávila, D. (2017). *Fitoextracción de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos en la región de Atlixco, Puebla*. Puebla: Benemérita Universidad Autónoma De Puebla.
Recuperado de: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/server/api/core/bitstreams/8e2ab7c1-dabb-4e54-9afb-f95e85c05740/content>
- Bortoloti, G. & Baron, D. (2022). Phytoremediation of toxic heavy metals by *Brassica* plants: A biochemical and physiological approach. *Environmental Advances*, 8.
<https://doi.org/10.1016/j.envadv.2022.100204>
- Buendía, H.; Cruz, F.; Meza, C.; Arévalo, J. (2014). Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. *Alma Máter*, 1(1):113-121.
- Canchapoma, S., Centeno, G., Córdova, Y. & Sánchez, A. (2021). *Revisión Sistemática en fitorremediación con girasol ("Helianthus annuus L.") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021*. Lima Norte: Universidad César Vallejo.
Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/93687>
- Cao, Y., Tan, Q., Zhang, F., Ma, C., Xiao, J., Chen, G. (2022). Phytoremediation potential evaluation of multiple *Salix* clones for heavy metals (Cd, Zn and Pb) in flooded soils. *Science of The Total Environment*, 813. Recuperado de:
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152482>

- Chaudhary, J., Bhat, J., Ram, H., Rana, N., Khatri, P., Gaurav, A., Vanish, K., Humira, S., Rupesh, D. (2020). Distribution of Metals and Metalloids in Plants. *Metalloids in Plants*, 125–147. Recuperado de: doi: 10.1002/9781119487210.ch8
- Cui, S., Zhang, T, Zhao, Shanlin *et al.* (2013). Evaluation of three ornamental plants for phytoremediation of Pb-contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 15(4), 299-306. Recuperado de:
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2012.694502>
- Delgadillo A.; González C.; Prieto F.; Villagómez J. & Acevedo O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Trop. subtrop. Agroecosyt*,14(2). Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002
- Díaz, J., Silva, K. (2018). Identificación de niveles de toxicidad de metales pesados en el suelo y los potenciales peligros a la salud humana. *Compendio de trabajos de investigación. Dinámica ambiental*. Recuperado de:
<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/view/5798/5387>
- Díaz, S. & Sierra, C. (2017). *Fitorremediación con Artemisia absinthium y Lupinus pubescens Benth. como alternativa para la descontaminación de ecosistemas andinos y altoandinos amenazados por metales pesados*. Bogotá: Universidad De Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
Recuperado de:
<https://expeditiorepositorio.utadeo.edu.co/bitstream/handle/20.500.12010/2397/Tesis%20Ma>

estria%20en%20Ciencias%20Ambientales%20Sandra%20Milena%20Diaz%20Vargas%20C
%20Claudia%20Helena%20Sierra%20Nova.pdf?sequence=5&isAllowed=y

Espada Juan J., Rodríguez Rosalía, Gari Vanessa, Salcedo-Abraira Pablo & Bautista Luis

Fernando. (2022). Coupling phytoremediation of Pb-contaminated soil and biomass energy production: A comparative Life Cycle Assessment. *Science of The Total Environment*, 840.

Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156675>

Febres, S. (2019). Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en condiciones controladas”. Arequipa – Perú. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

Recuperado de: <https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/28c1354a-b099-4e58-a9b8-55d95cae5e7c/content>

García Ávila, C., Villada Sierra, L. & Gómez, J. (2018). Evaluación de la adaptación de

Helianthus annuus en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo.

Cuaderno Activa, 10(1), 93 - 111. Recuperado de:

<https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/497/668>

Guzmán Guerrero, A. (2021). Fitorremediación de suelos contaminados con arsénico, cobre y

plomo empleando *Echeveria elegans* y *Crassula ovata*. *Ciencias e Ingenierías Ambientales*.

Recuperado de: <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/8738>

- Han, R., Dai, H., Guo, B., Noori, A., Sun, W., Wei, S. (2021). The potential of medicinal plant extracts in improving the phytoremediation capacity of *Solanum nigrum L.* for heavy metal contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 220. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112411>
- Kocoń, A., & Jurga, B. (2016). The evaluation of growth and phytoextraction potential of *Miscanthus x giganteus* and *Sida hermaphrodita* on soil contaminated simultaneously with Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4990–5000. Recuperado de: doi:10.1007/s11356-016-8241-5
- Kumar Gurajala, H, Cao, X., Tang, L., Mallakuntla Ramesh, T., Lu, M.& Yang, X. (2019). Comparative assessment of Indian mustard (*Brassica juncea L.*) genotypes for phytoremediation of Cd and Pb contaminated soils. *Environmental Pollution*, 254, B. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113085>
- Liu, J., Xin & Zhou, Q. (2017). Phytoremediation of contaminated soils using ornamental plants. *Environmental Reviews*, 26(1), 43-54. Recuperado de: <https://doi.org/10.1139/er-2017-0022>
- Mahecha, J., Trujillo, G., Juan, M. & Torres, M. (2017). Análisis de estudios pesados en zonas agrícolas de Colombia. *Colombia Suplemento*, 21(1); 83-93. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v21s1/0121-3709-rori-21-s1-00083.pdf>
- Manzoor, M., Gul, I., Manzoor, A., Kamboh, U. R., Hina, K., Kallerhoff, J., & Arshad, M. (2020). Lead availability and phytoextraction in the rhizosphere of *Pelargonium* species.

Environmental Science and Pollution Research, Recuperado de: doi:10.1007/s11356-020-08226-0

Méndez Gómez Nayasli L. (2020). *Procesos de fitorremediación en suelos contaminados con cadmio: Revisión de Literatura*. Zamorano, Honduras, : Escuela Agrícola Panamericana. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/7404286e-67ee-41d5-b354-7aaedc832710/content>

Menhas, S., Hayat, K., Khan, Zhou, P., Bundschuh, J., Naeem, M., Farooq, M., Munis, H., Yang, X., Javed, H. (2021). Microbe-EDTA mediated approach in the phytoremediation of lead-contaminated soils using maize (*Zea mays L.*) plants. *International Journal of Phytoremediation*, 23 (6). Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2020.1842997>

Munive Cerrón, R., Gamarra Sánchez, G., Munive Yachachi, Y., Puertas Ramos, F., Valdiviezo Gonzales, L., Cabello Torres, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*, 11(2), 177-186. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.02.04>

Munive Cerrón, R., Loli, F., Azabache Leyton, A. & Gamarra Sánchez, G. (2018). Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 551-560. Recuperado de: [Recuperado de: https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11](https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.11)

- Ogundiran, M., Mekwunyei, N., Adejumo, S. (2018). Compost and biochar assisted phytoremediation potentials of *Moringa oleifera* for remediation of lead contaminated soil. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 2206-2213. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.025>
- Oliveira, D., Carvalho, M., Silva, H., Brignoni, A., Lima, L., Camargos, L., & Souza, L. (2021). *Lonchocarpus cultratus*, a Brazilian savanna tree, endures high soil Pb levels. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(36), 50931–50940. Recuperado de: [doi:10.1007/s11356-021-15856-5](https://doi.org/10.1007/s11356-021-15856-5)
- Paes, É., Vieira, G., De Castro, M., Barroso, H., Fernandes, E., Maurício, F., Barros, E. (2023). Potential of plant species adapted to semi-arid conditions for phytoremediation of contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 449. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131034>
- Paredes Campos, P. & Rodríguez Rojas, J. (2020). *Revisión sistemática: Especies Vegetales en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados*. Facultad de ingeniería y arquitectura, escuela profesional ingeniería ambiental. Recuperado de: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64119/Paredes_CPDS-Rodr%c3%adguez_RJJ-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Peña Álvarez, I. (2019). *Evaluación de la capacidad de absorción del Helianthus annuus, como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo*. Villa El Salvador: Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur. Recuperado de:

http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/167/1/Pe%c3%b1a_Ivonne_Trabajo_Suficiencia_2019.pdf

Queupuan, M. (2017). Evaluación de fitorremediación de suelos contaminados con plomo mediante el cultivo de *Atriplex halimus* L. Santiago de Chile: Universidad De Chile.

Recuperado de: <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152823/Evaluacion-de-fitorremediacion-de-suelos-contaminados-con-plomo-mediante-el-cultivo-de-Atriplex-halimus-L.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rathika, R., Srinivasan, P., Alkahtani, J., Al-Humaid, L., Alwahibi, M., Mythili, R.,

Selvankumar, T. (2021). Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoremediation of lead contaminated soil by *Brassica juncea*. *Chemosphere*, 271. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129513>

Saghi, A., Rashed, M., Parsa, M. & Hammami, H. (2015). Phytoremediation of lead-

contaminated soil by *Sinapis arvensis* and *Rapistrum rugosum*. *International Journal of Phytoremediation*, 18(4), 387–392. Recuperado de: [doi:10.1080/15226514.2015.1109607](https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1109607)

Salas, M. & Marrugo, J. (2020). Phytoremediation potential of Cd and Pb-contaminated soils by

Paspalum fasciculatum Willd. ex Flügge. *International Journal of Phytoremediation*, 22 (1),: Papers for the 2018 International Phytotechnology Conference in Novi Sad Serbia.

Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2019.1644291>

Santos, M., Freitas, V., Monte, B., Bonfleur, E., Moura, E., Cherobim, V. (2021). Hybrid technologies for remediation of highly Pb contaminated soil: sewage sludge application and phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, 23 3. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2020.1813077>

Sidhu, G., Bali, A., Singh, H., Batish, D., & Kohli, R. (2017). Phytoremediation of lead by a wild, non-edible Pb accumulator *Coronopus didymus (L.) Brassicaceae*. *International Journal of Phytoremediation*, 20(5), 483–489. doi:10.1080/15226514.2017.1374331

Silva, M. (2016). *Análisis de un método de fitoestabilización asistida para la remediación de un suelo contaminado con metales pesados*. Tepetitla de Lardizábal: Instituto Politécnico Nacional. Recuperado de: <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/27531/MIREYA%20JANETH%20SILVA%20SILVA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres Gonzales, Y., Rojas Carrizales, A., Salas Contreras, W., & Hinojosa Benavides, R. (2021). Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados. *Scientific Research Journal CIDI*, 1(1), 25–36. Recuperado de: <https://doi.org/10.53942/srjcdi.v1i1.43>

Vargas García, L. (2021). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú*. Lima – Perú: Universidad Científica del Sur. Recuperado de: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1890/TB-Vargas%20L-Ext.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Velásquez, J. & Cobeña, H. (2022). Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica. *Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9 (2).

Recuperado de: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2153488002/html/>

Vijendra, S. & Achlesh, D. (2020). Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology & Innovation*, 18.

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>

Yang, J., Huang, Y., Zhao, G., Li, B., Qin, X., Xu, J., Li, X. (2022). Phytoremediation potential evaluation of three rhubarb species and comparative analysis of their rhizosphere

characteristics in a Cd- and Pb-contaminated soil. *Chemosphere*, 296. Recuperado de:

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134045>

Yang, Y., Jiang, M., Liao, J., Luo, Z., Gao, Y., Yu, W., He, R., Feng, S. (2022). Effects of Simultaneous Application of Double Chelating Agents to Pb-Contaminated Soil on the Phytoremediation Efficiency of *Indocalamus decorus* Q. H. Dai and the Soil Environment.

Toxics, 10(12), 713. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/toxics10120713>

Yang, Y., Liang, Y., Han, X., Chiu, T., Ghosh, A., Chen, H., Tang, M. (2016). The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb

contaminated soil. *Sci Rep*, 6, 20469. Recuperado de: <https://doi.org/10.1038/srep20469>

Yang, Y., Liao, J., Chen, Y., Tian, Y., Chen, Q., Gao, S., Luo, Z., Yu, X., Lei, T., Jiang, M.

(2022). Efficiency of heterogeneous chelating agents on the phytoremediation potential and

growth of *Sasa argenteostriata* (Regel) E.G. Camus on Pb-contaminated soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.113603>

Yu, Q., Gao, B., Wu, P., Chen, M., He, C., Zhang, X. (2023). Effects of microplastics on the phytoremediation of Cd, Pb, and Zn contaminated soils by *Solanum photeinocarpum* and *Lantana camara*. *Environmental Research*, 231, Part 3. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116312>

Zavala, M. (2012). *Contaminación por plomo en suelos de Torreón Coah., daños a la salud y métodos de eliminación*. Torreón Coah, México: Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Recuperado de: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2637/MARIA%20EUGENIA%20ZAVALA%20MARTINEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zehra, A., Ali, S., Tong, W., Tang, L., Hamid, Y., Bilal, K., Ali, Z., Naqvi, B., Yang, X. (2020). Assessment of sunflower germplasm for phytoremediation of lead-polluted soil and production of seed oil and seed meal for human and animal consumption. *Journal of Environmental Sciences*, 87, 24-38. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.031>

Zulkernain, N., Uvarajan, T., Chuan, N. (2023). Roles and significance of chelating agents for potentially toxic elements (PTEs) phytoremediation in soil: A review. *Journal of Environmental Management*, 341. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117926>

Anexos

Anexo 1. Cuadros de revisión

CUADROS DE REVISIÓN

Nombre	Fitorremediación de suelos contaminados con arsénico, cobre y plomo empleando <i>Echeveria elegans</i> y <i>Crassula ovata</i>
Año	2021
Enlace	http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/8738
Resumen	En este proyecto se evaluó el proceso de fitorremediación en un suelo proveniente de una industria metalmecánica contaminado con arsénico, cobre y plomo, mediante la utilización de las especies vegetales <i>Echeveria elegans</i> (echeveria) y <i>Crassula ovata</i> (árbol de jade). Se realizaron dos experimentos, uno en suelo sin adición de nutrientes y el otro en un suelo con adición de nutrientes. El principal resultado obtenido resultó en que las dos especies fueron efectivas para la técnica de fitoestabilización a altas concentraciones, es decir, ambas plantas tuvieron la capacidad para acumular y estabilizar As, Cu y Pb en suelo con poco y con gran contenido de nutrientes.
País	México
Especie	<i>Echeveria elegans</i> y <i>Crassula ovata</i>
Conclusión	Ambas especies se clasificaron como especies hipertolerantes a los ya nombrados metales pesados, de acuerdo con los factores de bioconcentración (FBC) y factores de translocación (FT) obtenidos, en los dos experimentos. Estas especies resultaron ser efectivas para la fitoestabilización de As, Cu y Pb. Además, son especies suculentas capaces de resistir en suelos con altos niveles de salinidad y poca agua disponible, los resultados observados de los FBC indicaron que <i>Crassula ovata</i> fue más eficiente para extraer As, Cu y Pb del suelo en comparación con <i>Echeveria elegans</i> , con poco o gran contenido de nutrientes. Además, los factores de bioconcentración de las plantas en suelo con adición de nutrientes fueron mayores a los del suelo sin adición de nutrientes, los FBC en <i>Echeveria elegans</i> fueron 2% As, 32% Cu y 33% Pb, mientras que en <i>Crassula ovata</i> 22% As, 4% Cu y 43% Pb.

Nombre	Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost
Año	2020
Enlace	http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000200177
Resumen	El trabajo realizado, hizo uso del girasol como planta fitorremediadora, basándose en que dicha planta absorbe los metales pesados y demuestra su capacidad de estabilización, almacenándolos en tejidos foliares y raíces. Así pues, con el objetivo de reducir la contaminación en suelos agrícolas, fue decidido evaluar el efecto de la planta fitorremediadora en compañía de enmiendas orgánicas (compost y vermicompost). Para cumplir lo anterior, fueron empleados suelos agrícolas de las localidades de Mantaro y de Muqui del valle del Mantaro, ubicados en Perú. Se determinó la extracción de los elementos pesados del suelo, evaluando la capacidad fitorremediadora del girasol, para acumular cadmio y plomo en interacción con las enmiendas orgánicas.
País	Perú
Especie	<i>Helianthus annuus</i>
Conclusión	Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, la producción de biomasa del girasol fue afectada significativamente por los metales pesados, sin embargo, las enmiendas orgánicas lograron un mayor desarrollo de la planta, destacando que, en ambas localidades las raíces presentaron los mayores valores de extracción de plomo y cadmio. Así mismo, es relevante, afirmar que el girasol extrae mayor cantidad de plomo y cadmio cuando el suelo presenta mayor contenido de enmienda en el suelo.

Nombre	Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (<i>Helianthus annuus</i>) y estiércol de lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) en condiciones controladas
Año	2019
Enlace	https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/28c1354a-b099-4e58-a9b8-55d95cae5e7c/content

Resumen	La contaminación por plomo es un problema ambiental que debe ser gestionado ambientalmente mediante tecnologías de remediación adecuadas con el objetivo clave de reducir su impacto negativo. Como solución, se experimentaron las propiedades edáficas y el comportamiento del girasol en el proceso de fitorremediación en suelos contaminados con plomo. Por lo tanto, se realizaron 4 pruebas distintas: T1 suelo contaminado con plomo, más estiércol de lombriz y girasol; T2 Suelo contaminado con plomo y estiércol de lombriz; T3 Suelo contaminado con plomo más girasol y T4 suelo contaminado con plomo como control.
País	Perú
Especie	<i>Helianthus annuus</i>
Conclusión	El tratamiento 2 presentó los mejores resultados en comparación con los demás tratamientos, con una efectividad del 81,21%; disminuyendo la concentración de 121,05ppm a 22,75ppm. Así mismo, este tratamiento incrementó el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, pH y los niveles de N, P y K en el suelo sometido al proceso de remediación; concluyendo así la efectividad del girasol y estiércol de lombriz para inmovilizar el plomo.

Nombre	Evaluación de fitorremediación de suelos contaminados con plomo mediante el cultivo de <i>Atriplex halimus L.</i>
Año	2017
Enlace	https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/152823/Evaluacion-de-fitorremediacion-de-suelos-contaminados-con-plomo-mediante-el-cultivo-de-Atriplex-halimus-L.pdf?sequence=1&isAllowed=y
Resumen	Bajo la búsqueda de alternativas que permitan disminuir el impacto de suelos contaminados, fueron investigados los efectos de la fitorremediación en este caso mediante el cultivo de <i>Atriplex halimus L.</i> , en suelos contaminados con plomo (Pb). Por lo tanto, se establecieron 24 macetas con suelo contaminado con Pb (2,950 mg/Kg) y ácido cítrico en dos dosis como agente quelante (4 g/L y 8 g/L) a través del agua de riego. Así mismo, se evaluó la concentración de Pb en la

	especie a los 90 y 180 días de ensayo. Al finalizar el ensayo (180 días), se realizó una caracterización de los suelos de cada tratamiento.
País	Chile
Especie	<i>Atriplex halimus L.</i>
Conclusión	La adición de ácido cítrico (4 g/L y 8 g/L) en el suelo contaminado con plomo aumentó significativamente las concentraciones de plomo en hojas y raíces de <i>Atriplex halimus L.</i> , obteniendo así, las mayores concentraciones con la dosis de 8 g/L, correspondientes a valores de $28,6 \pm 3,9$ mg/Kg y $200,2 \pm 38,8$ mg/Kg para hojas y raíces respectivamente. Resultando en la demostración de la capacidad que tiene <i>Atriplex halimus L.</i> para acumular el plomo en las raíces, siendo una especie recomendable para la fitoestabilización de suelos contaminados con plomo.

Nombre	Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú
Año	2021
Enlace	https://onx.la/e75d7
Resumen	El objetivo del trabajo fue identificar la bibliografía disponible sobre la aplicación de la fitorremediación como mecanismo de solución a suelos contaminados por plomo a causa de las actividades mineras en el Perú, teniendo como fin, informar posibles soluciones para reducir el riesgo en el ambiente y la sociedad. La fitorremediación genera menos perjuicios al ecosistema y las ventajas de este método son mayores en comparación con otras tecnologías.
País	Perú
Especie	<i>Alopecurus magellanicus bracteatus</i> , <i>Muhlenbergia angustata</i> , <i>Helianthus annuus L.</i> y <i>Zea mays</i>
Conclusión	Las especies estudiadas y con resultados positivos fueron: <i>Alopecurus magellanicus bracteatus</i> , <i>Muhlenbergia angustata</i> , <i>Helianthus annuus L.</i> (girasol) y <i>Zea mays</i> (maíz), teniendo como principal ventaja su efecto positivo sobre el suelo, mejorando las propiedades físicas y químicas de dicho recurso. Cabe destacar que, las especies de girasol y maíz son las que acumulan mayor cantidad de metales en sus raíces.

Nombre	Evaluación de la capacidad de absorción del <i>Helianthus annuus</i> , como agente fitorremediador de suelos contaminados con plomo
Año	2019
Enlace	https://onx.la/dce17
Resumen	El presente trabajo se basó en la verificación de la capacidad de absorción de la planta <i>Helianthus annuus</i> , respecto al plomo; para comprobar su eficacia como agente fitorremediador de suelos contaminados de dicho metal pesado. La metodología fue basada en la separación de tierra de siembra en 2 recipientes, los cuales tendrán los suelos contaminados con diferentes concentraciones de plomo 700 mg/Kg y 1200 mg/Kg respectivamente, de igual manera, fueron seleccionadas plántulas de girasol de características similares para ser trasplantadas a los 2 recipientes con el contenido de suelos. El experimento duró aproximadamente 6 semanas y se llevaron al laboratorio para su respectivo análisis. El resultado concreto de la investigación comprueba que el <i>Helianthus annuus</i> es eficaz fitorremediador de suelos contaminados con plomo.
País	El Salvador
Especie	<i>Helianthus annuus</i>
Conclusión	Es concluido que la planta fitorremediadora se puede desarrollar con normalidad en suelos contaminados con plomo incluso hasta una concentración de 700 mg/Kg; puesto que, el <i>Helianthus annuus</i> en suelos contaminados con 1200 mg/Kg presentó efectos como quemaduras foliares. De este modo, según los resultados obtenidos se reduce entre 47 y 62% de plomo en un suelo contaminado.

Nombre	Phytoremediation of Lead-Contaminated Soil by <i>Sinapis arvensis</i> and <i>Rapistrum rugosum</i>
Año	2016
Enlace	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26552966/
Resumen	El artículo evalúa el potencial de <i>Sinapis arvensis</i> y <i>Rapistrum rugosum</i> como plantas fitorremediadora de plomo; para esto, utilizaron cultivos en macetas con diferentes proporciones de plomo (100, 200, 300, 400 y 500 mg Pb por 1 kg de

	suelo), incluyendo un control (0). Estas muestras de suelo se mezclaron cada dos días y después de cuatro semanas, las muestras se mezclaron uniformemente para colocarlas en macetas; posterior a esto, diez semanas después de la siembra, se cosecharon las plantas de las unidades experimentales y se separaron en raíces y brotes para su análisis final. En general la especie <i>S. arvensis</i> obtuvo mejores resultados en comparación con <i>R. rugosum</i> , en cuanto a acumulación de plomo en raíces.
País	Irán
Especie	<i>Sinapis arvensis</i> y <i>Rapistrum rugosum</i>
Conclusión	Según los resultados obtenidos, a pesar de las elevadas concentraciones del metal pesado en el suelo, ambas especies tuvieron un rápido crecimiento vegetativo en corto tiempo, por lo tanto, acumularon grandes cantidades de plomo en sus raíces en comparación con los brotes; demostrando así, el alto potencial de fitoestabilización de <i>Sinapis arvensis</i> y <i>Rapistrum rugosum</i> para ser utilizadas en tecnologías de fitorremediación.

Nombre	Phytoremediation of lead by a wild, non-edible Pb accumulator <i>Coronopus didymus</i> (L.) Brassicaceae
Año	2018
Enlace	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29020458/
Resumen	El principal objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la toxicidad del plomo sobre atributos fisiológicos como crecimiento, biomasa, contenido de clorofila y eficiencia fotosintética de <i>Coronopus didymus</i> y, así mismo, la tolerancia, absorción y potencial de acumulación de <i>Coronopus didymus</i> en una serie de suelos enriquecidos con Pb. Para evaluar las capacidades de fitorremediación de <i>C. didymus</i> se realizaron experimentos en suelos contaminados con plomo a diferentes concentraciones (100, 350, 1500, 2500 mg kg ⁻¹) en macetas de 4 a 6 semanas.
País	India
Especie	<i>Coronopus didymus</i>

Conclusión	El artículo identificó a <i>Coronopus didymus</i> como especie excepcional para la acumulación de plomo, su mayor acumulación se presentó en las raíces y su gran capacidad para tolerar y soportar altas concentraciones de Pb en el suelo hace que se convierta en una especie vegetal atractiva para la técnica. Es destacable que, las concentraciones de plomo en las raíces aumentaron en la sexta semana en comparación con la cuarta, sin embargo, los rendimientos de biomasa fueron mayores en la cuarta semana.
-------------------	--

Nombre	Lead availability and phytoextraction in the rhizosphere of <i>Pelargonium species</i>
Año	2020
Enlace	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32141003/
Resumen	La presente investigación se realizó con el objetivo de indagar los cambios en la rizosfera y el efecto de la biodisponibilidad del plomo y su acumulación en las diferentes partes de la planta; haciendo uso de dos especies acumuladoras de Pb <i>Stigmatocarpum criniflorum</i> (L. f.) L. Bolus y <i>Pelargonium × hortorum</i> LH Bailey, las cuales se cultivaron en una configuración de dispositivo de cultivo que contenía suelo enriquecido con Pb en distintas concentraciones (500, 1000, 1500 y 2000 mg/Kg) por un período de 3 semanas.
País	Pakistán
Especie	<i>Stigmatocarpum criniflorum</i> (L. f.) L. Bolus y <i>Pelargonium × hortorum</i> LH Bailey
Conclusión	Los resultados indicaron que, con el aumento de la concentración de Pb en el suelo, la acumulación de Pb en la raíz y los brotes de ambas plantas aumentó significativamente, en comparación con el control. Aparte de la absorción y acumulación de Pb, se ha encontrado una cantidad considerable del metal adherido de forma suelta a la pared celular de las raíces de las dos especies, denominado como [Pb] _{adsorbido} . No obstante, se obtuvo una mejor capacidad de y una mayor absorción por parte de <i>P. hortorum</i> en comparación a <i>S. criniflorum</i> , en todos los niveles de Pb en suelo enriquecido; por lo tanto, lo convierte en un candidato adecuado para fitorremediación de suelos contaminados con plomo.

Nombre	<i>Lonchocarpus cultratus</i> , a Brazilian savanna tree, endures high soil Pb levels
Año	2021
Enlace	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34378132/
Resumen	El objetivo de esta investigación se centró en evaluar el desempeño de <i>Lonchocarpus cultratus</i> , definida como especie arbórea propia de la sabana brasileña. Por lo que, se realizaron ensayos con concentraciones crecientes de plomo (4, 56, 120, 180 y 292 mg/Kg) durante 6 meses. En el experimento se utilizó un diseño completamente al azar que contuvo cinco repeticiones por tratamiento (es decir, concentraciones de Pb en suelo), totalizando 25 unidades experimentales. Todas las variables se obtuvieron a partir de mediciones en las cinco réplicas por tratamiento, excepto la cuantificación de Pb en órganos (para la que se utilizaron tres réplicas).
País	Brasil
Especie	<i>Lonchocarpus cultratus</i>
Conclusión	La biomasa de <i>L. cultratus</i> no se vio deprimida por la exposición al plomo, a pesar de la alta acumulación de este metal (hasta 7421.23 µg planta ⁻¹). Por lo tanto, gracias a este estudio se demostró que la especie <i>L. cultratus</i> , tolera grandes cantidades de plomo, lo cual lo hace un candidato con potencial para la fitoestabilización de suelos contaminados con plomo, teniendo como punto positivo el ser una especie nativa.

Nombre	The evaluation of growth and phytoextraction potential of <i>Miscanthus x giganteus</i> and <i>Sida hermaphrodita</i> on soil contaminated simultaneously with Cd, Cu, Ni, Pb, and Zn
Año	2017
Enlace	https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27995509/
Resumen	La investigación está enfocada en evaluar toda posibilidad de crecimiento y potencial de fitoextracción de <i>Miscanthus x giganteus</i> y <i>Sida hermaphrodita</i> , en dos suelos contaminados simultáneamente con cinco metales pesados: Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). Este experimento de microparcels tuvo una duración de 3 años, ubicado en Polonia. Durante la

	temporada de crecimiento de la planta, en el segundo y tercer año del experimento, se tomaron medidas del intercambio gaseoso foliar, incluyendo la intensidad de la fotosíntesis y transpiración, y la conductancia estomática en las hojas.
País	Polonia
Especie	<i>Miscanthus x giganteus</i> y <i>Sida hermaphrodita</i>
Conclusión	Los resultados obtenidos indican que <i>M. giganteus</i> resultó ser más tolerante en comparación con <i>S. hermaphrodita</i> , evidenciado por una mayor tasa de fotosíntesis neta, mayores rendimientos y una mayor acumulación de metales pesados, por ende, la especie posee un potencial alto y concreto de fitoextracción de contaminantes pesados.

Nombre	Efficiency of heterogeneous chelating agents on the phytoremediation potential and growth of <i>Sasa argenteostriata</i> (Regel) E.G. Camus on Pb-contaminated soil
Año	2022
Enlace	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651322004432
Resumen	Este estudio evaluó los efectos de la aplicación combinada de EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) y NTA (ácido nitrilotriacético) en diferentes concentraciones (900, 1200 y 1500 mg/Kg) y con diferentes métodos (1 aplicación o 3 aplicaciones) en la planta bambú enano (<i>Sasa argenteostriata</i> (Regel) EG Camus). Las plántulas de <i>S. argenteostriata</i> se obtuvieron de un vivero cercano a la base experimental. Se realizaron experimentos en macetas con suelo contaminado de Plomo (Pb); teniendo en cuenta el crecimiento y la eficiencia de fitorremediación en el suelo. La mayor disponibilidad de Pb en el suelo produjo una respuesta de estrés en las plantas de bambú enano, lo que incrementó significativamente su biomasa. Este estudio aclara la elección de técnicas de remediación y las características fisiológicas de las plantas utilizadas en dichos estudios.
País	China
Especie	<i>Sasa argenteostriata</i> (Regel) E.G. Camus

Conclusión	Teniendo en cuenta factores como el riesgo ambiental, el crecimiento de las plantas y la eficiencia de la fitorremediación, el tratamiento EN900 es la estrategia más prometedora para la fitorremediación con bambú enano en suelos contaminados con Pb. Es para destacar que la aplicación combinada de EDTA y NTA llevó la disponibilidad de Pb del suelo a un nivel más razonable que el EDTA solo, lo que resultó en una reducción de riesgos ambientales.
-------------------	---

Nombre	Coupling phytoremediation of Pb-contaminated soil and biomass energy production: A comparative Life Cycle Assessment
Año	2022
Enlace	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972203772X
Resumen	El presente trabajo estudia la fitorremediación como técnica para la eliminación de plomo (Pb) de un suelo contaminado ubicado en España, haciendo uso de la planta <i>Festuca arundinacea</i> aplicando de igual manera el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida (LCA), definido como un criterio metodológico para cuantificar los impactos ambientales de los productos y procesos. En cuanto al plomo, <i>F. arundinacea</i> muestra un mayor factor de translocación (TF) entre brotes y raíces que otros metales. Además, se ha reportado la posibilidad de recuperar energía (electricidad y calor) de <i>F. arundinacea</i> utilizando diferentes tecnologías como digestión anaeróbica, pirolisis o cogeneración; por lo que, estas características hacen que dicha planta se convierta en una alternativa prometedora para la fitoextracción de Pb en suelos contaminados. Para cumplir con lo anterior, se evaluaron tres tratamientos: fitoextracción (caso de estudio 1), lavado de suelo (caso de estudio 2) y excavación y depósito en vertedero (caso de estudio 3). Destacando que, los datos de inventario de los tres estudios de casos (que involucran todos los pasos) se calcularon y adaptaron de la literatura y/o se simularon utilizando SuperPro Designer 9.5.
País	España
Especie	<i>Festuca arundinacea</i>
Conclusión	Se aplicó la metodología de análisis de ciclo de vida (LCA) para estudiar el desempeño ambiental de la fitoextracción usando <i>Festuca arundinacea</i> , así como

	<p>otros tratamientos tradicionales para remediar un suelo contaminado con Pb. No obstante, en general, la fitorremediación de Pb utilizando <i>F. arundinacea</i> es superior a los tratamientos de lavado y excavación del suelo. Así mismo, es concluyente que, en el primer caso, la planta acumula más cantidad de plomo en las raíces que en los brotes, según se muestra en los valores del factor de bioconcentración (FBC): 3,73 (raíces) y 1,84 (brotes), respectivamente; convirtiéndose así en una opción atractiva para la remediación de suelos altamente contaminados con Pb desde el punto de vista ambiental.</p>
--	--

Nombre	The roles of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in phytoremediation and tree-herb interactions in Pb contaminated soil
Año	2016
Enlace	https://www.nature.com/articles/srep20469#Sec9
Resumen	<p>Este estudio investigó los efectos de los hongos micorrízicos arbusculares (AMF) y la presencia de leguminosas o hierbas gramíneas en la fitorremediación; con un árbol denominado <i>Robinia pseudoacacia</i> en un suelo contaminado con plomo (Pb). Se ha sugerido que <i>R. pseudoacacia</i> tiene potencial para extraer contaminantes metálicos del suelo debido a su rápido crecimiento, alta biomasa, capacidad de acumular grandes cantidades de HM y fijación de nitrógeno (N) atmosférico. Las hierbas leguminosas disminuyeron el pH del suelo y, por lo tanto, aumentaron las concentraciones de Pb en las plantas. La mayor proporción de Pb entre raíces y brotes fue detectada en plantas micorrízicas, por lo que, se sugiere que la inoculación con micorrizas mejora la absorción y acumulación de Pb en el sistema radicular en comparación con las plantas no micorrízicas.</p>
País	China
Especie	<i>Robinia pseudoacacia</i> L.
Conclusión	<p>Los resultados destacan los roles importantes de los AMF y las hierbas leguminosas en la mejora de la eficiencia de la fitorremediación en suelos contaminados con Pb. La evaluación microscópica confirmó que se estableció una simbiosis eficiente entre los AMF y las raíces de las plantas.</p>

Nombre	Comparative assessment of Indian mustard (<i>Brassica juncea</i> L.) genotypes for phytoremediation of Cd and Pb contaminated soils
Año	2019
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113085_
Resumen	Fue realizado un experimento de campo con el fin de comparar la eficiencia de ochenta cultivares de la planta mostaza india para la fitoextracción de cadmio (Cd) y plomo (Pb) de suelos contaminados. Los genotipos utilizados en el experimento se obtuvieron del mercado local de semillas, Hangzhou, provincia de Zhejiang, China. Las concentraciones totales de Cd y Pb fueron $1,44\pm 0,33$ y $123,66\pm 0,84$ mg/Kg de suelo respectivamente. Los resultados sugirieron que la mostaza puede tolerar estrés moderado de Cd y Pb; sin embargo, para suelos fuertemente contaminados, se deben elegir los genotipos más tolerantes para asegurar que la planta fitorremediadora complete su ciclo de vida.
País	China
Especie	<i>Brassica juncea</i> L.
Conclusión	Después de 90 días de cultivo, los resultados indicaron diferencias significativas en el contenido de Cd y Pb de los brotes de ochenta genotipos de <i>Brassica juncea</i> L. cultivados en suelos contaminados de bimetales. Entre todos los genotipos, los brotes de IM-25, IM-13 e IM-65 acumularon más Cd y IM-79, IM-24 e IM-32 acumularon más Pb, lo que indica que estas variedades cuentan con un buen potencial en comparación con otros genotipos estudiados. Así pues, los cultivares de <i>Brassica juncea</i> L. son adecuados para la eliminación de Cd y Pb en suelos de baja a moderadamente contaminados.

Nombre	Phytoremediation of Pb and Cd contaminated soils by using sunflower (<i>Helianthus annuus</i>) plant
Año	2018
Enlace	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0570178318300174
Resumen	Este estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de <i>H. annuus</i> para remediar suelos impactados por metales (Pb y Cd) y su efecto sobre la biomasa total de girasol. El suelo utilizado en el estudio contaba con cantidades relativas de Pb

	total con una concentración promedio de 26,3 mg/Kg y la concentración de Cd estuvo por debajo del límite de detección del instrumento utilizado. Después de ocho semanas de cultivo, las plantas se retiraron suavemente de las macetas; se separaron suavemente los brotes y las raíces, y se midieron las longitudes y los pesos de ambos.
País	Australia
Especie	<i>Helianthus annuus</i>
Conclusión	Es concluyente que, las plantas parecían sanas en el control y el suelo enmendado con una baja concentración de metales, mientras que las plantas que crecieron en los suelos más contaminados con Pb y Cd mostraron un color amarillento a parduzco en las hojas. De este modo, los resultados obtenidos mostraron que <i>H. annuus</i> tiene la capacidad de acumular Pb y Cd en sus tejidos (brotes y raíces).

Nombre	Evaluation of three ornamental plants for phytoremediation of Pb-contaminated soil
Año	2013
Enlace	https://n9.cl/ubx8a
Resumen	En este estudio, se llevó a cabo un experimento de cultivo en macetas para evaluar tres tipos de plantas: <i>Quamolit pennata</i> , <i>Antirrhinum majus L.</i> y <i>Celosia cristata pyramidalis</i> , investigando las características de acumulación y tolerancia al plomo (Pb), definiéndolas como hiperacumuladoras o acumuladoras del metal en cuestión. Los resultados indicaron que el factor de enriquecimiento de Pb (concentración en planta/suelo) y el factor de translocación de Pb (concentración en brote/raíz) de estas plantas fueron principalmente <1 en experimentos de cultivo en maceta y gradiente de concentración.
País	China
Especie	<i>Quamolit pennata</i> , <i>Antirrhinum majus L.</i> y <i>Celosia cristata pyramidalis</i>
Conclusión	En base a los hallazgos de los experimentos de cultivo en macetas y gradiente de concentración, se identificó que <i>Celosia cristata pyramidalis</i> es un acumulador de Pb, puesto que, la concentración de Pb en la planta era alto y se pudo extraer de manera considerable los metales pesados cuando fue cosechada, así mismo,

	pudo crecer normalmente y cumplir sus periodos de crecimiento, influyendo así en la remediación de suelos contaminados como una forma de fitoestabilización.
--	--

Nombre	Effects of Simultaneous Application of Double Chelating Agents to Pb-Contaminated Soil on the Phytoremediation Efficiency of <i>Indocalamus decorus</i> Q. H. Dai and the Soil Environment
Año	2022
Enlace	https://www.mdpi.com/2305-6304/10/12/713
Resumen	El presente estudio evaluó y comparó los efectos del EDTA, el ácido nitrilotriacético (NTA) y el ácido glutámico-N,N-diacético (GLDA) solos (tratamiento E, N, G) y en combinación (tratamiento EN y EG), en el crecimiento del bambú enano (<i>Indocalamus decorus</i> QH Dai), la eficiencia de fitorremediación y el ambiente del suelo en suelos contaminados con Pb. Para el cumplimiento del experimento, el suelo se mezcló adecuadamente con $(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \text{Pb} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ para obtener un suelo contaminado con una concentración final de Pb de 1500 mg/Kg. Los agentes quelantes generalmente aumentaron la actividad de las enzimas del suelo en la rizosfera, indicando así, que estos pueden promover la absorción de metales pesados en las plantas.
País	China
Especie	<i>Indocalamus decorus</i> Q. H. Dai
Conclusión	Todos los agentes quelantes, excepto E, no inhibieron el crecimiento de la planta, siendo así, los tratamientos con N y EN los más propicios para mejorar el aumento de biomasa en las partes aéreas de la planta. Sin embargo, el tratamiento EN tuvo la mayor eficacia de fitorremediación en suelos contaminados con Pb cuando se combina con <i>I. decorus</i> , destacando así su enorme potencial en futuras investigaciones.

Nombre	Assessment of <i>sunflower</i> germplasm for phytoremediation of lead-polluted soil and production of seed oil and seed meal for human and animal consumption
Año	2020

Enlace	https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.05.031_
Resumen	En este estudio, 40 germoplasmas de girasol fueron seleccionados en condiciones de campo para fitorremediación con posibilidad de producción de aceite y harina. El suelo del campo estaba moderadamente contaminado con plomo debido a la exposición frecuente a diversos fertilizantes y pesticidas en las inmediaciones. Se registraron características fenotípicas como la altura de la planta, la biomasa y el rendimiento de grano para evaluar germoplasmas de alta acumulación, que se utilizaron para análisis posteriores. Las diferentes partes del germoplasma de girasol se comportaron de manera diferente en términos de concentración y acumulación de Pb, con la mayor concentración y acumulación de metales en el brote, la raíz y la semilla, respectivamente.
País	China
Especie	<i>Helianthus annuus</i>
Conclusión	Entre los criterios evaluados, se encontró que el girasol GP.8: 8585 era el más apropiado para restaurar suelos moderadamente contaminados con Pb. El contenido de Pb en el aceite de GP.8: 8585 estaba por debajo del estándar de seguridad alimentaria de China, con un 59,5 % de ácido oleico y 32,1% de ácido linoleico. Además, el análisis de aminoácidos en la harina ilustró diferencias significativas entre los aminoácidos esenciales y no esenciales. Por lo tanto, su capacidad de fitoextracción es eficiente y la producción de harina y aceite comestible de buena calidad hacen que GP.8: 8585 sea el germoplasma de girasol más conveniente para la fitorremediación de suelos moderadamente contaminados con Pb, con beneficios adicionales para agricultores y propietarios de tierras.

Nombre	Hybrid technologies for remediation of highly Pb contaminated soil: sewage sludge application and phytoremediation
Año	2020
Enlace	https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15226514.2020.1813077
Resumen	El objetivo fue verificar el potencial del uso combinado del método de fitoextracción y estabilización de metales con lodos de depuradora (SW) en la

	recuperación de suelos con alto contenido de plomo (Pb) (total = 28,650 mg/Kg e intercambiable = 1,120 mg/Kg). Se ensayaron cinco dosis de SW (0; 13,4; 26,7; 53,4; 106,8 Mg ha ⁻¹) y tres condiciones de cultivo (sin cultivar, avena negra y nabo forrajero). La aplicación de SW y el cultivo de plantas tuvo un efecto positivo en la estabilización de Pb en el suelo.
País	Brasil
Especie	<i>Avena strigosa Schreber</i> y <i>Raphanus sativus L.</i>
Conclusión	La aplicación de lodos de depuradora (SW) en suelos con alto contenido de Pb favoreció la nutrición y el crecimiento de las plantas <i>Avena strigosa Schreber</i> y <i>Raphanus sativus L.</i> , promoviendo una mayor absorción de Pb, combinación deseable en la técnica de fitoestabilización. El uso combinado de lodos de depuradora y fitorremediación es muy prometedor y debería probarse en suelos con niveles moderados de metales pesados.

Nombre	The potential of medicinal plant extracts in improving the phytoremediation capacity of <i>Solanum nigrum L.</i> for heavy metal contaminated soil
Año	2021
Enlace	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0147651321005236
Resumen	Este estudio fue centrado en los efectos de ocho extractos de plantas medicinales sobre el potencial de <i>Solanum nigrum L.</i> , con el objetivo de acumular Cadmio y Plomo del suelo. Los ocho extractos acuosos al 10% se realizaron a partir de la cáscara de <i>Citrus reticulata Blanco</i> (PCR), fruto de <i>Phyllanthus emblica L.</i> (FPE), raíz de <i>Pueraria Lobata</i> (Willd.) Ohwi (RPL), rizoma de <i>Polygonatum sibiricum Red</i> (RPS), raíz de <i>Astragalus propinquus Schischkin</i> (RAP), yema de <i>Hemerocallis citrina Baroni</i> (BHC), semilla de <i>Nelumbo nucifera Gaertn</i> (SNN) y fruto de <i>Prunus mume (Sieb.) Sieb.etZuce</i> (FPM). Las biomasas de brotes y raíces de las plantas se determinaron con base en el peso seco de las plantas. Se proporcionó información valiosa sobre cómo mejorar el potencial de fitorremediación del hiperacumulador. Sin embargo, se requiere más investigación para comprender mejor el mecanismo de mejora de dicho material orgánico.

<i>País</i>	China
<i>Especie</i>	<i>Solanum nigrum L.</i>
<i>Conclusión</i>	Este estudio demostró que la aplicación de algunos extractos de plantas medicinales puede facilitar la fitorremediación. Los resultados mostraron que, entre todas las exposiciones, el tratamiento con FPE resultó en un aumento significativo ($p < 0.05$) de la concentración de Cd y Pb en brotes y raíces de <i>S. nigrum</i> en 32.5% y 65.2% para Cd, y 38.7% y 39.6% para Pb; potencializando la eliminación de Cd y Pb del suelo sin un efecto negativo sobre el crecimiento de las plantas. Esto resultó en una mayor acumulación general de los metales pesados estudiados en comparación con el control. El efecto beneficioso del FPE podría estar relacionado con su alta concentración de compuestos polifenólicos u otras materias orgánicas desconocidas.

<i>Nombre</i>	Evaluation of sunflower (<i>Helianthus annuus L.</i>) for phytoremediation of lead contaminated soil
<i>Año</i>	2019
<i>Enlace</i>	https://n9.cl/bhz1s
<i>Resumen</i>	Este estudio tuvo como objetivo investigar los efectos del plomo (Pb) en el crecimiento de las plantas, centrándose específicamente en el girasol (<i>Helianthus annuus L.</i>). Los investigadores realizaron un experimento en macetas utilizando un diseño de bloques completamente al azar (CRBD) con seis tratamientos y tres repeticiones. Las semillas de girasol se cultivaron en macetas de plástico con 10 Kg de suelo y se aplicaron diferentes concentraciones de plomo (0, 50, 100, 150, 200 y 250 mg Pb/kg suelo). Se tomaron muestras de plantas de diferentes macetas después de la cosecha y se estimó la acumulación de plomo de toda la planta, la raíz, el tallo y las hojas. También se evaluaron los niveles de pigmentos fotosintéticos (clorofila a y b, carotenoides) y el peso seco de raíces, brotes y planta entera.
<i>País</i>	Irak
<i>Especie</i>	<i>Helianthus annuus</i>

Conclusión	Los resultados mostraron que a medida que aumenta la concentración de plomo, los niveles de pigmentos fotosintéticos, raíces, brotes y peso seco de toda la planta no diferían significativamente del control. No obstante, a concentraciones más altas de plomo, hubo una disminución significativa en el contenido relativo de agua y la altura de la planta. La mayor concentración de plomo se encontró en las raíces, seguida por el tallo y las hojas. El presente estudio sugiere que el girasol con alta biomasa ha eliminado el plomo de manera eficiente convirtiéndola en una adecuada planta potencial fitorremediadora.
-------------------	--

Nombre	Phytoremediation potential of Cd and Pb-contaminated soils by <i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex Flüggé
Año	2019
Enlace	https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1644291
Resumen	En este estudio se evaluó la capacidad de <i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex Flüggé, una planta para fitorremediar suelos contaminados con cadmio (Cd) y plomo (Pb) en una mina de oro. Se utilizaron tres niveles de concentración de cada metal (15, 30 y 50 mg kg ⁻¹) y fue evaluada la asimilación de Cd y Pb en diferentes tejidos de la planta durante 90 días. Se tuvieron en cuenta parámetros de crecimiento de la planta, la acumulación de Cd y Pb, así como los factores de translocación (TF) y bioacumulación (BAF). Se observó que <i>P. fasciculatum</i> tuvo un efecto fitoestabilizador en relación al Cd, con altas concentraciones de metales en los tejidos y poca translocación. Por otro lado, mostró capacidad de fitoextracción de Pb. Además, se encontró que esta planta puede aumentar el pH y la materia orgánica en la rizosfera del suelo.
País	Colombia
Especie	<i>Paspalum fasciculatum</i> Willd. ex Flüggé
Conclusión	<i>P. fasciculatum</i> expuesto a Cd y Pb mostró buen crecimiento y desarrollo a pesar de las altas concentraciones de estos metales en el experimento, lo que indica una alta capacidad de tolerancia. <i>P. fasciculatum</i> puede considerarse un candidato adecuado para la fitoestabilización de Cd y la fitoextracción de Pb en suelos contaminados con dichos metales a corto y mediano plazo. Esta especie pueden

	contribuir a la restauración y reforestación de áreas degradadas por la minería y mejorar las condiciones del suelo disminución de la acidez del suelo y aumento del contenido de materia orgánica
--	--

Nombre	Microbe-EDTA mediated approach in the phytoremediation of lead-contaminated soils using maize (<i>Zea mays L.</i>) plants
Año	2020
Enlace	https://doi.org/10.1080/15226514.2020.1842997_
Resumen	En este estudio, se investigó el potencial de fitorremediación asistida por <i>Cronobacter sakazakii</i> con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en plantas de maíz (<i>Zea mays L.</i>) para remediar suelos contaminados con plomo (Pb). <i>C. sakazakii</i> activa los mecanismos de tolerancia al estrés y promoción del crecimiento vegetal. Por lo que, se realizó un experimento en invernadero para examinar los efectos de la sinergia entre bacterias endófitas promotoras del crecimiento vegetal (PGPEB) y quelantes en plantas de maíz en suelos contaminados con Pb. Este enfoque combinatorio podría ser utilizado como base para futuros ensayos a largo plazo en condiciones de campo para la recuperación de suelos contaminados con Pb.
País	Pakistán
Especie	<i>Zea mays L.</i>
Conclusión	Los hallazgos del estudio actual indican que el complejo <i>C. sakazakii</i> -EDTA mejoró significativamente el crecimiento y el desarrollo del maíz, la capacidad de tolerancia al Pb, la absorción del Pb y la fitorremediación del Pb, bajo diferentes regímenes de tensión de Pb; como lo demuestran sus altas características de fitoextracción como BCF y TF.

Nombre	Compost and biochar assisted phytoremediation potentials of <i>Moringa oleifera</i> for remediation of lead contaminated soil
Año	2018
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.03.025_

Resumen	El objetivo de este estudio fue investigar el potencial de germinación, crecimiento, tolerancia y acumulación de plomo (Pb) en la planta <i>Moringa oleifera</i> en suelos contaminados con Pb y enmendados con compost y biochar, para su posible fitorremediación. Se diluyó suelo contaminado con escoria de plomo (100% - 32,640 mg/Kg) en tres niveles de contaminación de Pb (75%, 50% y 25%) mezclándolo con suelo sin contaminar (0%). Fue aplicado el compost de gallinaza de girasol, biochar de cáscara de arroz (RHB) y biochar de cáscara de cacahuete (GSB) a 10 g/Kg por separado en los suelos en triplicado y se incubaron durante 2 semanas. Se analizaron las raíces y los brotes de las plantas.
País	Nigeria
Especie	<i>Moringa oleifera</i>
Conclusión	La combinación de compost, biocarbón y planta de <i>Moringa oleifera</i> se puede utilizar para remediar los suelos contaminados con Pb. En ausencia de enmiendas de compost y biocarbón, el suelo contaminado con plomo no soportó germinación de semillas, por lo que, la adición de compost y enmiendas de biocarbón al suelo contaminado, mejora la supervivencia y el crecimiento de las plantas de <i>M. oleifera</i> . La planta toleró la contaminación por Pb hasta 8.600 mg/Kg en suelos que fueron enmendados con compost de estiércol de girasol y aves, cáscara de arroz y cáscara de maní biochars sin evidencia de fitotoxicidad observable en ellas.

Nombre	Assessing some shrub species for phytoremediation of soils contaminated with lead and zinc
Año	2018
Enlace	https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-018-7256-2
Resumen	El objetivo de esta investigación es estudiar los efectos del efluente de la refinería de Alborz Industrial City (Irán) en el suelo y el crecimiento de plantas, incluyendo <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Cercis siliquastrum</i> y <i>Caesalpinia gilliesii</i> . Por lo que, el muestreo del área se realizó de acuerdo con el método de muestreo aleatorio sistemático de las tierras regadas con aguas residuales, y se tomaron muestras de

	control de las regiones regadas con agua limpia. El cultivo de las plantas en invernadero se hizo para evaluar la capacidad de <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Caesalpinia gilliesii</i> y <i>Cercis siliquastrum</i> para absorber plomo (Pb) y zinc (Zn) bajo diferentes tratamientos de las aguas residuales. Los tratamientos incluyeron cuatro niveles de efluente (100, 50, 25 y 0%) y tres especies de plantas. Al final de los experimentos, se midieron las concentraciones de Pb y Zn en el suelo y en los órganos de las plantas. Las concentraciones más altas de Pb y Zn en los suelos agrícolas regados con aguas residuales tratadas y en las cercanías de los sitios industriales fueron de 49,91 y 85,62 mg/kg, respectivamente.
País	Irán
Especie	<i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Cercis siliquastrum</i> y <i>Caesalpinia gilliesii</i> .
Conclusión	Los resultados de las pruebas iniciales del suelo revelaron que las concentraciones de Pb y Zn en los suelos agrícolas regados con aguas residuales tratadas mostraron diferencias significativas ($P < 0,01$). Así pues, <i>C. siliquastrum</i> , <i>C. gilliesii</i> y <i>R. pseudoacacia</i> tienen un potencial apropiado para acumular plomo y zinc en sus órganos, mientras que sus las condiciones de crecimiento han sido estresantes (cambio de pH y valores CE), por lo tanto, este potencial puede ser explotado con fines de fitorremediación.

Nombre	Influence of biochar and EDTA on enhanced phytoextraction of lead contaminated soil by <i>Brassica juncea</i>
Año	2021
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129513
Resumen	Este estudio evaluó el efecto sinérgico del biochar (BC) y el EDTA para mejorar la fitoextracción del metal pesado plomo (Pb) en suelos artificialmente contaminados, a través de la planta <i>Brassica juncea</i> . La enmienda de BC y EDTA mejoró el crecimiento y la supervivencia de <i>B. juncea</i> en un entorno estresado por Pb, así como el aumento significativo de la biomasa y el contenido total de clorofila. Los resultados obtenidos revelaron que el uso combinado de BC y EDTA fue la opción más ventajosa para el tratamiento de suelos contaminados con Pb en comparación con las enmiendas individuales.

País	India
Especie	<i>Brassica juncea</i>
Conclusión	Los resultados indican que el Pb en suelo contaminado podría ser eliminado por la combinación de BC y EDTA, puesto que las características estudiadas, aumentaron significativamente. Así pues, dicha investigación proporciona un apoyo comprensivo para la aplicación combinada con acumuladores para remediar el ambiente contaminado con Pb y demuestra que este enfoque sinérgico es practicable y prometedor.

Nombre	Fitorremediación con Maíz (<i>Zea mays L.</i>) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados
Año	2018
Enlace	http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172018000400011&script=sci_arttext&tlng=pt
Resumen	Se realizó el presente trabajo utilizando maíz como planta fitorremediadora; para ello se emplearon los suelos agrícolas cuyos contenidos de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el suelo superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del Perú. El Diseño Experimental utilizado fue completamente al Azar (DCA) con 3 Tratamientos (T1: Compost de Stevia, T2: Vermicompost de Stevia y T3: Químico), completando 3 repeticiones por cada localidad, destacando que, para la interpretación de resultados se compararon los tratamientos de ambas localidades: Mantaro (MA) y Muqui (MU). Es recomendable llevar el trabajo experimental a nivel de campo para poder completar el ciclo vegetativo y así comprobar <i>in situ</i> los resultados obtenidos.
País	Perú
Especie	<i>Zea mays L.</i>
Conclusión	Las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción. Los resultados indican que la planta de maíz absorbe los metales pesados del suelo como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz de ésta, confirmando que la aplicación de las enmiendas orgánicas contribuye a

	solubilizar el Pb y Cd del suelo. Los cálculos del Factor de Bioconcentración (FBC) y de Translocación (FT), indican que el maíz es una planta excluyente o estabilizadora.
--	---

Nombre	Fitorremediación con <i>Artemisia absinthium</i> y <i>Lupinus pubescens Benth.</i> como alternativa para la descontaminación de ecosistemas andinos y altoandinos amenazados por metales pesados
Año	2017
Enlace	https://n9.cl/c8vor
Resumen	En la presente investigación realizada en un área del municipio de Guachetá-Cundinamarca en zonas aledañas a minas de carbón, fue evaluada la viabilidad de fitorremediar mediante el uso de <i>Artemisia absinthium</i> y <i>Lupinus pubescens Benth.</i> , concentraciones de plomo, cadmio y mercurio. Se plantaron 16 materas con seis esquejes y 16 materas con ocho semillas cada una, adicionando diferentes concentraciones de Cd, Hg y Pb. Las plantas se cultivaron durante 158 días y se realizó toma de muestras a los 60, 102 y 158 días., teniendo en cuenta la dinámica de crecimiento propio de cada especie y algunas investigaciones, que sugieren periodos comprendidos entre dos y seis meses.
País	Colombia
Especie	<i>Artemisia absinthium</i> y <i>Lupinus pubescens Benth.</i>
Conclusión	Las especies <i>Artemisia absinthium</i> y <i>Lupinus pubescens Benth.</i> favorecen al ecosistema al contribuir con la reducción de metales pesados en el área en la que se encuentran, particularmente acumulando plomo entre 13,08–98,733 mg/Kg y 4,447–172,190 mg/Kg respectivamente. En general el <i>Lupinus pubescens</i> tuvo un mejor desempeño en la fitorremediación que la <i>Artemisia absinthium</i> .

Nombre	Evaluación de la adaptación de <i>Helianthus annuus</i> en asocio con hongos micorrízicos en suelos contaminados con plomo
Año	2018
Enlace	https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/497/668

Resumen	En el presente estudio, se evaluó la adaptación que tiene la planta <i>Helianthus annuus</i> en asocio con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en un suelo contaminado con plomo. Se analizaron variables como longitud de tallo, número de hojas, peso fresco y peso seco para determinar la adaptación de la planta al medio. El estudio fue realizado como experimento de invernadero en las Instalaciones del Tecnológico de Antioquia en la sede de Robledo, ubicada en la ciudad de Medellín, donde se detectó que <i>H. annuus</i> es capaz de desarrollarse en medios contaminados con plomo y, que, además, los HMA tienen una alta capacidad infectiva en los medios utilizados.
País	Colombia
Especie	<i>Helianthus annuus</i>
Conclusión	Los resultados concretos muestran que <i>H. annuus</i> y los hongos micorrízicos arbusculares demostraron adaptarse a medios contaminados con plomo en concentraciones de 300, 500 y 700 mg/Kg, sin embargo, la planta manifiesta síntomas morfológicos como clorosis y deformaciones que indican la presencia del contaminante. Cabe destacar que dichos organismos pueden colonizar las raíces de <i>H. annuus</i> y crear estructuras como hifas extrarradiculares e intrarradiculares, permitiendo la captación y almacenamiento de nutrientes. La producción de biomasa en las plantas de <i>H. annuus</i> , fue similar en todos los tratamientos, lo que indica que la asociación fue rápida, si se consideran las cuatro semanas de investigación. Es recomendable continuar con el proceso investigativo y el análisis de las concentraciones de plomo que <i>H. annuus</i> es capaz de absorber en asocio con hongos micorrízicos.

Nombre	Phytoremediation of toxic heavy metals by <i>Brassica</i> plants: A biochemical and physiological approach
Año	2022
Enlace	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666765722000400
Resumen	El objetivo de la revisión fue explicar el uso potencial fisiológico y bioquímico de diferentes especies pertenecientes al género <i>Brassica</i> para biorremediar y tolerar los efectos nocivos de ciertos contaminantes ambientales, puesto que,

	<p>presentan procesos de fitorremediación eficientes. Las especies de Brassica pueden acumular concentraciones de metales pesados en partes no metabólicas previniendo así los efectos tóxicos sobre el crecimiento y el metabolismo de las plantas. Sin embargo, altas concentraciones de contaminantes pueden inhibir el crecimiento de las plantas, principalmente al afectar la absorción de nutrientes, limitando el desarrollo celular y reduciendo la asimilación fotosintética.</p>
<i>País</i>	Brasil
<i>Especie</i>	<i>Brassica</i>
<i>Conclusión</i>	<p>En esta extensa revisión, fueron estudiados diferentes procesos bioquímicos y estrategias fisiológicas con respecto al potencial de las especies de Brassica para fitoestabilizar/fitovolatilizar y/o fitoextraer, translocar e hiperacumular concentraciones tóxicas de iones de metales pesados en orgánulos celulares de baja actividad. Dichas especies muestran potencial fitorremediador ya que tienen procesos fisiológicos eficientes para las estrategias de dicha técnica y un mecanismo de defensa enzimático y no enzimático eficiente. La literatura actual reporta el abordaje de otras técnicas auxiliares de la fitorremediación; las cuales pueden ser potencialmente utilizadas en especies de Brassica, incluyendo reguladores de crecimiento vegetal (PGR) y promotores de crecimiento vegetal (PGP), agentes quelantes y acidificantes, selección de cultivares tolerantes e ingeniería genética.</p>

<i>Nombre</i>	Phytoremediation of contaminated soils using ornamental plants
<i>Año</i>	2018
<i>Enlace</i>	https://cdnsiencepub.com/doi/full/10.1139/er-2017-0022
<i>Resumen</i>	<p>En comparación con otros tipos de plantas fitorremediadoras, las plantas ornamentales cultivadas con fines decorativos en jardines y proyectos de diseño de paisajes han sido una fuente importante de plantas de remediación en los últimos años; puesto que, cuentan con la función de acumular o degradar impurezas cuando crecen en suelos contaminados con metales pesados o contaminantes orgánicos. Por lo que, en esta revisión bibliográfica, se sintetiza la investigación actual sobre la fitorremediación de suelos contaminados usando</p>

	plantas ornamentales, evaluando su capacidad fitorremediadora en la actualidad y explicando hallazgos relacionados con los principales mecanismos de la fitorremediación en suelos contaminados.
País	China
Especie	Plantas ornamentales
Conclusión	Las plantas ornamentales son candidatas muy apropiadas para la fitorremediación, debido a que tienden a acumular contaminantes en sus biomásas no alimentarias, lo que supone un importante impulso para su valor económico y ecológico. Así pues, el uso de estas en la remediación de suelos urbanos contaminados es una excelente alternativa, sin embargo, se requieren futuras investigaciones sobre los mecanismos moleculares de tolerancia y acumulación/degradación de contaminantes y su aplicación práctica, teniendo en cuenta que la mayor parte de la literatura se centra actualmente en resultados de laboratorio.

Nombre	Revisión Sistemática en fitorremediación con girasol (" <i>Helianthus annuus L.</i> ") para el tratamiento de suelos contaminados con cadmio y plomo en el Perú, 2021
Año	2021
Enlace	https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/93687
Resumen	El presente trabajo investigativo fue realizado con el fin de evaluar la revisión sistemática sobre fitorremediación con girasol (" <i>Helianthus annuus L.</i> ") respecto al tratamiento de suelos contaminados por cadmio y plomo en suelos contaminados de Perú. La metodología se basó principalmente en la búsqueda de artículos científicos referente al tema principal, en diferentes bases de datos como ScienceDirect, SciELO, Redalyc Académico, SpringerLink y Academia.
País	Perú
Especie	<i>Helianthus annuus L.</i>
Conclusión	Se evidenció con los datos recopilados de diversos autores internacionales que el <i>Helianthus annuus</i> es una planta hiperacumuladora de diversos metales pesados que se puede aprovechar principalmente para la depuración de suelos contaminados por Cd y Pb; los resultados observados acerca de las características

	del girasol fueron que el tiempo de crecimiento, tamaño de la planta y tipo de materia orgánica, varía según cada autor y lugar de experimentación.
--	---

Nombre	Fitorremediación de Suelos Contaminados por Metales Pesados
Año	2021
Enlace	https://srjournalcidi.org/index.php/ojs/article/view/43
Resumen	El objetivo fue demostrar la capacidad fitorremediadora en suelos adulterados por plomo y cadmio de las plantas <i>Alopecurus magellanicus var. bracteatus</i> y <i>Muhlenbergia angustata</i> ; determinando a través de estudios la efectividad de dichas plantas para remover los metales en mención, resaltando que, los suelos estudiados, son contaminados debido a las diversas actividades vinculadas al sector minero. Cabe destacar que se realizó una meticulosa revisión bibliográfica en diferentes fundamentos de antecedentes como LILACS, SciELO, ScienceDirect, redalyc, PubMed, Scopus, Web of Science y EBSCOhost.
País	Perú
Especie	<i>Alopecurus magellanicus var. bracteatus</i> y <i>Muhlenbergia angustata</i>
Conclusión	Los tratamientos obtuvieron óptimos resultados al analizar la capacidad fitorremediadora y al valorar los suelos después del tratamiento, encontrándose que el <i>Alopecurus magellanicus var. bracteatus</i> , es la más efectiva para remover plomo y cadmio. Se requiere más información sobre las interacciones planta-microorganismos, sobre las moléculas o metabolitos responsables del fenómeno de quelación de metales pesados al interior de las plantas, así como ciertas enzimas en el proceso de fitorremediación.

Nombre	Revisión sistemática: Especies Vegetales en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados
Año	2020
Enlace	https://n9.cl/g9t0w
Resumen	En la presente investigación fue realizado un trabajo de revisión sistemática, con el fin único de determinar las especies vegetales con mayor capacidad fitorremediadora de suelos contaminados con metales pesados. La metodología

	se basó en la revisión de trabajos de investigación usando palabras clave de búsqueda en las bases de datos en Google Académico, Worldwidescience, ProQuest y ScienceDirect.
País	Perú
Especie	<i>Cistus L.</i> , <i>Allium fistulosum</i> , <i>Origanum</i> y <i>Helianthus annuus</i>
Conclusión	Teniendo como resultados que las especies arbóreas como la <i>Acacia Saligna</i> , son favorables para remediar suelos con cromo y las especies arbustivas como <i>Cistus L.</i> mostraron tener resultados favorables en la captación arsénico, zinc y plomo. Así mismo, fue encontrado que, las hortalizas como el <i>Allium fistulosum</i> y <i>Origanum</i> acumulan plomo, siendo favorables debido a su rápido desarrollo vegetativo. Por último, dentro de las especies herbáceas se encuentra el <i>Helianthus annuus</i> , la cual presentan una mejor alternativa para proyectos de fitorremediación mediante técnicas de fitoextracción por su fácil manejo y versatilidad para remover diversos contaminantes.

Nombre	Roles and significance of chelating agents for potentially toxic elements (PTEs) phyto remediation in soil: A review
Año	2023
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117926
Resumen	Este artículo de revisión resume las funciones de varios agentes quelantes y los mecanismos de fitorremediación inducida por quelatos. De igual manera, se analizan los hallazgos recientes sobre los impactos de los agentes quelantes en la absorción de elementos potencialmente tóxicos (PTEs) y el crecimiento y desarrollo de las plantas en la fitorremediación. Por último, se presenta una visión exhaustiva de la importancia del uso de agentes quelantes a través del análisis FODA para discutir las ventajas y limitaciones de fitorremediación inducida por quelatos.
País	Malasia
Especie	Elementos potencialmente tóxicos (PTEs)
Conclusión	La adición de agentes quelantes para la fitorremediación de PTEs ha mejorado la absorción de elementos tóxicos y la tasa de translocación de las raíces a las partes

	<p>aéreas de la planta. Los hallazgos contradictorios de la aplicación de agentes quelantes en la fitorremediación que afectan negativa y positivamente a la biomasa vegetal pueden atribuirse al uso de diferentes tipos de quelantes. La creciente preocupación por el riesgo ambiental y el potencial de lixiviación de los agentes quelantes sintéticos ha llevado a muchos investigadores a explorar el uso de agentes quelantes orgánicos como el ácido cítrico y ácido oxálico, que son biodegradables y más ecológicos.</p>
--	---

Nombre	Phytoremediation potential evaluation of multiple <i>Salix</i> clones for heavy metals (Cd, Zn and Pb) in flooded soils
Año	2022
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152482
Resumen	<p>El presente trabajo probó quince clones de <i>Salix</i> cultivados en suelos contaminados con multimetales (Cd, Zn y Pb) en condiciones no inundadas versus en condiciones inundadas. Los resultados indicaron que todos los clones de <i>Salix</i> probados resistieron inundaciones a largo plazo (90 días). Realizando una comparación, la condición inundada redujo el contenido de Cd en todos los órganos, pero aumentó drásticamente el Zn y el Pb contenidos en las raíces. Dichos clones probados se caracterizaron por una alta capacidad de fitoextracción de Cd y Zn en condición no inundada y rasgo de fitoestabilización para Pb en condición inundada.</p>
País	China
Especie	<i>Salix sp.</i>
Conclusión	<p>Todos los clones de <i>Salix</i> utilizados toleraron y crecieron en suelo fuertemente contaminado por múltiples metales (Cd, Zn y Pb) bajo condiciones de inundación. Por lo que, se demuestra un gran potencial para hacer frente a inundaciones y contaminación por metales. J1010, J792 y P164 tenían una acumulación relativamente alta de Cd y Zn en los órganos aéreos de las plantas con FBC y TF altos bajo condición no inundada, lo que indica que estos clones de <i>Salix</i> tienen una fuerte capacidad de fitoextracción de Cd y Zn. Y para la</p>

	fitoestabilización de Pb, el clon J795 exhibió la mayor variabilidad en condición inundada.
--	---

Nombre	Potential of plant species adapted to semi-arid conditions for phytoremediation of contaminated soils
Año	2023
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131034
Resumen	El objetivo de este estudio es evaluar la capacidad de especies de plantas adaptadas a las condiciones semiáridas brasileñas para crecer en suelos contaminados con plomo (Pb). El experimento se realizó en un vivero factorial 4×5, teniendo así: cuatro especies de plantas (<i>M. oleifera</i> , <i>P. juliflora</i> , <i>A. peregrina</i> y <i>U. ruziziensis</i>) y cinco concentraciones de Pb en el suelo (0.0; 0.52; 1.05; 2.10 y 4.20 g/Kg). Todas las especies crecieron en todos los niveles de Pb, pero solo <i>P. juliflora</i> y <i>A. peregrina</i> no exhibieron reducciones significativas en la mayoría de las variables de crecimiento. Así mismo, <i>U. ruziziensis</i> , a pesar de mostrar reducciones en las variables de crecimiento, fue la especie con mayor acumulación de materia seca tanto en brotes como en raíces, además de acumular mayores cantidades de Pb.
País	Brasil
Especie	<i>Moringa oleifera</i> Lam, <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC., <i>Anadenanthera peregrina</i> (L.) Speg., y <i>Urochloa ruziziensis</i> .
Conclusión	Se demostró el potencial de las especies <i>M. oleifera</i> , <i>U. ruziziensis</i> , <i>A. peregrine</i> y <i>P. juliflora</i> para crecer y desarrollarse en ambientes altamente contaminados con Pb. Todas las especies estudiadas presentaron factores de translocación y bioacumulación inferiores a uno, lo que las hace, por tanto, excluyentes de las plantas, con baja capacidad de transferencia de metales desde la raíz al brote y desde el suelo a la planta. Aunque <i>U. ruziziensis</i> tenía una FA inferior a uno, pudo acumular niveles de Pb por encima de 1400 mg/Kg; por lo tanto, es una especie con potencial para la fitorremediación.

Nombre	Effects of microplastics on the phytoremediation of Cd, Pb, and Zn contaminated soils by <i>Solanum photeinocarpum</i> and <i>Lantana camara</i>
Año	2023
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116312
Resumen	Los microplásticos son contaminantes emergentes y se han convertido en un problema medioambiental mundial. Por lo cual, se realizó un experimento en macetas para investigar los efectos de cuatro adiciones (0, 0,1%, 0,5% y 1% w/w) de polietileno (PE) y suelos contaminados con cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn) en el crecimiento y acumulación de metales pesados de dos plantas hiperacumuladoras (<i>Solanum photeinocarpum</i> y <i>Lantana camara</i>). El PE disminuyó significativamente el pH y las actividades de deshidrogenasa y fosfatasa en el suelo, mientras que aumentó la biodisponibilidad de Cd y Pb en este.
País	China
Especie	<i>Solanum photeinocarpum</i> y <i>Lantana camara</i>
Conclusión	En este estudio, fue descubierto que, los microplásticos de PE redujeron el pH del suelo y mejoraron en gran medida el estado efectivo de Cd y Pb. Este resultado puede haber estado relacionado con la desorción de metales pesados por microplásticos durante el envejecimiento. Los resultados de este estudio muestran que los microplásticos inhibieron el crecimiento de <i>S. photeinocarpum</i> y <i>L. camara</i> , especialmente el brote y la raíz biomasa y la longitud de la raíz de las dos plantas.

Nombre	Phytoremediation potential evaluation of three <i>Rhubarb</i> species and comparative analysis of their rhizosphere characteristics in a Cd- and Pb-contaminated soil
Año	2022
Enlace	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134045
Resumen	En este estudio, se analizaron las características de acumulación de <i>Rheum officinale</i> , <i>Rheum palmatum</i> y <i>Rheum tanguticum</i> para evaluar su potencial de fitorremediación y su tolerancia al cadmio (Cd) y al plomo (Pb). La prueba de germinación de semillas indicó que estas tres especies de ruibarbo podrían tolerar

	10 mg/L de Cd y 100 mg/L de Pb. Sin embargo, cuando se siembra en suelo contaminado con Cd y Pb, las tres especies exhibieron una capacidad de acumulación de Cd relativamente alta pero una capacidad de acumulación de Pb considerablemente baja según los factores de bioconcentración de Cd (0,42-0,47 en brotes y 0,11-0,15 en raíces) y Pb (0,004–0,008 en brotes y 0,007–0,013 en raíces).
<i>País</i>	China
<i>Especie</i>	<i>Rheum officinale</i> , <i>Rheum palmatum</i> y <i>Rheum tanguticum</i>
<i>Conclusión</i>	El presente estudio exploró las características de tolerancia y acumulación de metales pesados, cadmio (Cd) y plomo (Pb) en especies vegetales como <i>R. officinale</i> , <i>R. palmatum</i> , y <i>R. tanguticum</i> . Los altos factores de translocación de indicaron que estas tres especies de ruibarbo eran adecuadas para la fitoextracción de dichos metales.