

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA AMBIENTAL**

**FITORREMEDIACION DE SUELOS
CONTAMINADOS POR METALES PESADOS
(PLOMO Y CADMIO) MEDIANTE EL USO DE “ZEA
MAYS L.” UNA REVISION SISTEMATICA**

Tesis para optar al título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Lizeth Francisca Altamirano Villanueva

Rolando Santiago Gamez Garcia

Asesor:

Mg. Julián Ricardo Diaz Ruiz

<https://orcid.org/0000-0002-1870-6648>

Trujillo - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	Marieta Eliana Cervantes Peralta	29425048
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Irma Geralda Horna Hernandez	40317442
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Juan Carlos Flores Cerna	18898536
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUDFITORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS POR
METALES PESADOS (PLOMO Y CADMIO) MEDIANTE EL USO DE
"ZEA MAYS L." UNA REVISION SISTEMATICA

INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

0%TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTE QUE CONTIENE COINCIDENCIAS

1

Acosta, J.A.. "Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation", Journal of Geochemical Exploration, 201104/06

Publicación

4%

4%

★ Acosta, J.A.. "Multivariate statistical and GIS-based approach to evaluate heavy metals behavior in mine sites for future reclamation", Journal of Geochemical Exploration, 201104/06

Publicación

DEDICATORIA

Dedicamos esta investigación principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerzas para continuar en este proceso para lograr uno de los anhelos más deseados.

A nuestros padres por todo su amor, trabajo y sacrificio a lo largo de los años, es gracias a ustedes que logramos llegar hasta aquí y ser quienes somos. Fue un orgullo y un privilegio ser sus hijos, son los mejores padres.

A nuestras hermanas que siempre han estado ahí para nosotros, acompañándonos y nos han apoyado a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.

A todas las personas que nos apoyaron, hicieron que el trabajo fuera un éxito y compartieron sus conocimientos.

AGRADECIMIENTO

Damos gracias a Dios por bendecir nuestras vidas, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en momentos de dificultad y de debilidad.

A nuestros padres Victor y Teresa, Rolando y Karinna, quienes fomentaron nuestros sueños, por creer en nuestras expectativas y confiar en nosotros, por los consejos, valores y principios que nos inculcaron.

Agradecemos a los profesores de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Privada del Norte, por compartir sus conocimientos durante nuestra preparación de carrera, de manera especial, al magister Julián Ricardo Diaz Ruiz, tutor de nuestro proyecto de investigación quien ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docente.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	30
CAPÍTULO III: RESULTADOS	39
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	49
REFERENCIAS.....	52
ANEXOS.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. ECUACIONES DE BÚSQUEDA.....	31
Tabla 2. CRITERIOS DE INCLUSIÓN.....	33
Tabla 3. CRITERIOS DE EXCLUSIÓN.....	33
Tabla 4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	34
Tabla 5. MATRIZ DE REGISTRO DE ARTÍCULOS SELECCIONADOS	40
Tabla 6. CONCENTRACIÓN INICIAL Y POST TRATAMIENTO	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes de contaminación	13
Figura 2. Técnicas de Fitorremediación	21
Figura 3. Gráfico de variación de concentración de Cadmio.....	46
Figura 4. Gráfico del porcentaje de absorción de Cadmio	46
Figura 5. Gráfico de variación de concentración de Plomo.....	47
Figura 6. Gráfico del porcentaje de absorción de Plomo	48

RESUMEN

En los últimos años, la degradación de suelo provocada por metales pesados se ha convertido en un grave problema., ocasionando degradación del suelo lo que afecta en su productividad, entre las opciones de tratamiento, se presenta la fitorremediación utilizando el Maíz en suelos contaminados por Pb y Cd. La siguiente investigación tiene como objetivo la revisión y análisis de información en diferentes estudios y/o artículos sobre la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio) utilizando *Zea Mays L.*, durante el periodo de años 2018-2022.

El trabajo siguió un modelo descriptivo que consistió en la recolección de datos de diversos autores relacionados a nuestro tema de investigación, fue elaborado utilizando la metodología PRISMA, para recopilar información veraz de motores de búsqueda confiables, tales como; Scielo, Redalyc, Google Académico; esto dio como resultado una comparación entre la concentración inicial, concentración final y el porcentaje de eficiencia del cadmio y plomo en suelos contaminados, demostrando que el *Zea Mays L.* resulto eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio). Por lo tanto, la fitorremediación con el maíz resulta una alternativa sostenible.

PALABRAS CLAVES: Fitorremediación, Metales pesados, *Zea Mays L.*

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo es un tema de mucha importancia en los últimos años, puede ser causada por múltiples elementos y factores, y genera graves consecuencias en diversos ámbitos. Se identificó este problema como la tercera amenaza más importante en Europa, cuarta en África del Norte, quinta en Asia, séptima en Pacífico del Noroeste, octava en Norteamérica y novena en el África y Latinoamérica (Rodríguez-Eugenio, et al., 2019, p. 1). La degradación del suelo es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos; la productividad de los ecosistemas se ve afectada por estos procesos, esto puede ser irreversible y tener consecuencias en los ámbitos sociales, políticos, económicos y ecológicos (Torres, et al., 2003, p. 117). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura define la degradación de suelo en: una alteración en la salud del suelo que da como resultado una disminución en la capacidad del ecosistema para prestar servicios y producir bienes para sus receptores (Enríquez, 2018, p. 41).

Los suelos de las regiones de Europa y Asia han sido acidificados significativamente en el pasado y su funcionamiento está aún afectado (FAO y GTIS, 2015, p. 28). La degradación también está asociada con la pobreza y la falta de acceso a la tierra y los recursos hídricos. Los agricultores tienen menos acceso a la tierra y el agua y trabajan en suelos de mala calidad que son muy vulnerables a la degradación.

La contaminación de suelos en América se evidencia en la disminución de la cobertura vegetal, la fertilidad. El 14% de la degradación mundial ocurre en Latinoamérica, siendo más grave en América Central, donde afecta al 26% de la tierra, mientras que este fenómeno afecta al 14% de las tierras de América del Sur. Las principales causas de la

degradación incluyen la aplicación de agroquímicos, la erosión hídrica y la deforestación.

(FAO, 2014, p. 1).

Perú es un país escaso en suelos. Solo el 6% posee potencial para el desarrollo agrícola, mientras que el 13,94% para pastos naturales; contamos con solo 25.525.000ha aptas para la producción agropecuaria. En comparación con otros países de América del Sur, nuestro país tiene la menor proporción de tierra productiva para el cultivo de alimentos (Díaz, 2016, p. 4).

La problemática es diferente en cada región, por ejemplo, en la costa se presenta la salinización de suelos, erosión (eólica, fluvial y hídrica), desertificación; en la sierra y selva alta la erosión hídrica es grave, así como el sobrepastoreo, la quema de pajonales y la cobertura forestal, mientras que, en la selva baja, se suma a los problemas señalados la pérdida de fertilidad de los suelos una vez que se pierde la cobertura forestal (Díaz, 2016, p. 5).

El Manual de Procedimientos de Análisis de Suelos y Aguas con Fines de Riego forma parte de las metas nacionales y sectoriales del país encaminadas a proteger los suelos agrícolas de su continuo deterioro y degradación, ya que se ha establecido que su uso sin considerar su aptitud impactando en la baja productividad de los cultivos, sumándose al cambio climático, lo que conduce al empobrecimiento de los productores y la inseguridad alimentaria (Bazán, 2017, p. 10). El uso a largo plazo de fertilizantes y pesticidas más la carga acumulada de estos componentes en el suelo, han originado su desgaste, afectando a: los ecosistemas, el crecimiento de las plantas, la estructura del suelo y finalmente afectando a la salud humana por medio de los alimentos que en él se producen (Alarcón, 2020, p. 21).

El suelo es un material compuesto de partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que varían en profundidad desde la capa superior terrestre (Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), 2014, p. 5). El suelo es un sistema natural de gran complejidad en cuanto a procesos físicos, químicos y biológicos. Estos procesos sustentan la vida de otros ecosistemas, como el ciclo de los nutrientes y el ciclo del agua, por lo que son propicios para la supervivencia humana, además, su conocimiento permitirá el estudio de la calidad y propiedades de los suelos agrícolas (Hernández, 2019, p. 1). Las funciones del suelo se entienden como las capacidades que tienen los suelos en la agricultura, el medio ambiente, la conservación de la naturaleza y la arquitectura del paisaje (Trujillo, et al., 2018, p. 31).

La contaminación del suelo es la adición de productos químicos o materiales al suelo. tener un efecto negativo en cualquier función del suelo. Un contaminante se entiende como cualquier sustancia química o material fuera de lugar, o que están presentes en concentraciones superiores a las normales (FAO y GTIS. 2015, p.3). La contaminación industrial, tecnológica, agrícola, minera y el uso masivo de diversos fertilizantes químicos en el suelo, que contienen metales pesados, eventualmente ingresan a los ríos, las plantas, los animales y los alimentos, estos modifican la durabilidad de la cadena trófica, provocando una amenaza potencial para el medio ambiente y la sociedad, porque causan graves problemas de salud (Londoño-franco, et al., 2016, p. 146), por ejemplo: la inhalación y el consumo de alimentos son dos de las causas más sobresalientes de contaminación. Los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, su concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta. (Reyes, et al., 2016, p. 68).

Figura 1.

Fuentes de contaminación



Nota: Fuentes de contaminación por metales pesados en aire, suelo, agua y planta. Tomado de: Reyes, et al., 2016 p. 68.

Metal pesado, es un término químico para elementos con una densidad mayor de 5 g cm⁻³ (González, 2017, p.4). Los metales pesados son persistentes, es decir, no pueden crearse ni descomponerse ni por procesos biológicos ni antropogénicos (Reyes, et al., 2016, p. 67). Tienen la propiedad de propagarse en el medio ambiente en varios niveles de la cadena trófica, por ejemplo, se acumulan en el suelo, ríos, lagos o estanques, y luego pasan a los organismos vivos, provocando efectos tóxicos según el tipo de exposición y sensibilidad de los organismos (Díaz, 2020, p. 7). Los principales contaminantes son: arsénico (As), plata (Ag), boro (B), bario (Ba), berilio (Be), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), flúor (F), mercurio (Hg), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), níquel (Ni), plomo (Pb), antimonio (Sb), selenio (Se), estaño (Sn), talio (Tl), vanadio (V) y zinc (Zn) (González, 2017, p.4).

La presencia en un alto porcentaje de metales pesados como: el plomo, mercurio, cadmio, entre otros, en el ambiente contribuye en aumentar los índices de la problemática mencionada. Algunos estudios que evalúan la contaminación de alimentos con metales

pesados han concluido que el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico son cuatro elementos que deben ser monitoreados y evaluados con precaución por su concentración y sus efectos sobre la salud (Reyes, et al., 2016, p. 68). Por otro lado, muchos resultan esenciales en nuestra dieta y en algunos casos, su deficiencia o exceso conduce a problemas de salud, por ejemplo, el organismo requiere de hierro, cobalto, manganeso, molibdeno, vanadio, estroncio y zinc (Londoño-franco, et al., 2016, p. 147). Otros en cambio son perjudiciales para la salud y lo mejor es evitarlos.

El plomo es un elemento químico cuyo símbolo es el Pb y su número atómico es 82, ha sido utilizado durante muchos años debido a su resistencia a la corrosión, maleabilidad y ductilidad (Reyes, et al., 2016, p. 68).

Propiedades químicas (PRTR España, s.f):

- Peso atómico: 207,2 g/mol.
- Compone de 82 protones, 82 electrones y 126 neutrones.
- Resistente al ácido sulfúrico y ácido clorhídrico.
- El plomo tiene tendencia a disolverse al tener contacto con ácido nítrico y bases nitrogenadas.

Propiedades Físicas (PRTR España, s.f):

- El plomo es sólido, bajo temperaturas normales.
- Punto de ebullición: 1749 °C
- Punto de fusión: 327 °C
- Densidad: 11340 kg/m³.
- Color gris azulado, textura blanda, dura, semiferosa.
- Tiene las propiedades de conducir el calor y la electricidad.

El plomo ese presenta como sulfuro de plomo en su estado elemental, en la corteza terrestre.

Fuentes de contaminación (Poma, 2008, p. 121):

- Fundiciones y minas.
- Soldaduras y tuberías.
- Contenedores.
- Pinturas.
- Gasolina.
- Establecimientos de trabajo con productos con plomo.
- Alimentos, curas, cosméticos, joyas, juguetes.

La absorción de plomo es un riesgo grave para la salud pública; causa retraso del desarrollo mental e intelectual en niños, causa enfermedades cardiovasculares en adultos (Londoño-franco, et al., 2016, p.149). La intoxicación ocurre como resultado de la ingestión accidental de compuestos de plomo o la ingestión por parte de animales de forrajes o piensos que contienen plomo de áreas contaminadas (Londoño-franco, et al., 2016).

Según el Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes los efectos no deseados causados por el plomo (PRTR España, s.f):

- Incremento de la presión sanguínea o taquicardia.
- Daño a los riñones y en el sistema urinario.
- Abortos.
- Perturbación del sistema nervioso.
- Daño al cerebro.
- Disminución de la fertilidad del hombre.
- Disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños.
- Comportamiento impulsivo e hipersensibilidad en los niños.
- Puede producir mutaciones leves y mutaciones severas en fetos.

El cadmio es un elemento químico de símbolo Cd y número atómico 48, forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos. Las actividades antrópicas pueden aumentar significativamente su concentración en el medio ambiente, ya que es un metal muy utilizado en la industria y los productos agrícolas, lo que se ha traducido en un aumento progresivo de su producción (Reyes, et al., 2016, 68).

Propiedades químicas:

- Masa atómica: 112.4 g/mol.
- Es altamente tóxico y bioacumulativo.
- Las sustancias que lo contienen son cloruro de cadmio, óxido de cadmio e hidróxido de cadmio.
- Posee 48 protones, 64 neutrones y 48 electrones.

Propiedades físicas:

- Tiene un punto de ebullición de 767 °C y un punto de fusión de 321 °C, es de color blanco azulado, suave e inodoro y con una textura cristalina. El cadmio es un buen conductor del calor y la electricidad, tiene una densidad de 8650 kg/m³ (PRTR España, s.f).

Se encuentra en el suelo, el agua y en la atmósfera. Ingresa al medio ambiente de forma natural, ingresa a la atmósfera debido a incendios forestales, desechos industriales y municipales, combustión de combustibles fósiles y actividad volcánica.

Fuentes de contaminación (Ramírez, 2002, p. 52).

- Industria minero metalúrgica
- Incineración de residuos de madera, carbón o "plásticos"
- Combustión de gasolina y aceites
- Usos industriales del cadmio.
- Fertilizantes fosfatados

El cadmio ingresa por vía oral o respiratoria, se transporta en la sangre y se concentra en el riñón y el hígado, tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales, causando daños irreversibles incluso en bajas concentraciones (Reyes, et al., 2016, p. 68). En exposición crónica se observa anemia, disfunción renal, cálculos, osteoporosis, trastornos respiratorios, hipertensión y trastornos nerviosos (Londoño-franco, et al., 2016, p.148).

Según PRTR ESPAÑA (s.f) los efectos no deseados causados por el cadmio son:

- Diarreas, dolor de estómago y vómitos severos.
- Fractura de huesos.
- Fallos en la reproducción, infertilidad.
- Daño al sistema nervioso central.
- Desordenes psicológicos.
- Posible daño en el ADN o desarrollo de cáncer.

Los metales pesados ingresan a los suelos agrícolas principalmente en los fertilizantes, pesticidas y estiércol. Por ejemplo, los fertilizantes fosfatados y el agua de riego aportan cantidades significativas de Cd al suelo., así mismo con el agua de riego (Jiménez, 2020 p.36) Cuando los niveles de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que superan los límites máximos permisibles, provocan efectos inmediatos tales como: inhibición del crecimiento y desarrollo normal de las plantas, reducción de las poblaciones microbianas en el suelo (Cunningham., 1995, como se citó en Falcon, 2017, p. 10).

La contaminación del suelo por metales pesados está relacionada con diversos tipos de actividades humanas (González, 2011, p. 2). Científicos e investigadores han desarrollado técnicas para intentar recuperar los ambientes afectados por la contaminación. Una de esas técnicas es la fitorremediación.

Existen métodos fisicoquímicos para la limpieza de suelos muy contaminados, estas opciones son costosas y poco adecuadas para grandes extensiones de terreno donde los

contaminantes están presentes en concentraciones relativamente bajas y se encuentran dispersos sobre la superficie. Los esfuerzos por recuperar suelos contaminados con compuestos inorgánicos y orgánicos han investigado alternativas económicas, no invasivas, ecológicas y sostenibles, como la fitorremediación (Mendarte, et al., 2021, pg. 4).

El término fitorremediación se refiere a un conjunto de tecnologías que se basan en el uso de plantas para limpiar o restaurar ambientes contaminados como el agua, el suelo e incluso el aire (Corpus Quiroz, 2018, pg. 57). La fitorremediación surge recientemente como alternativa ante esta problemática ambiental, y se basa en utilizar ciertas plantas capaces de absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo; presentes en el agua o suelo.

El uso de la fitorremediación tiene limitaciones: profundidad de penetración de las raíces, condiciones óptimas del suelo (PH, salinidad, disponibilidad de nutrientes) y una concentración de contaminantes que este dentro del rango de tolerancia para la planta. Estos dos últimos factores afectaran el tiempo estimado para remediar un sitio contaminado (Corpus Quiroz, 2018, pg. 59).

Existen varias técnicas de fitorremediación aplicables a suelos contaminados con metales pesados:

La fitoestabilización se basa en el uso de plantas tolerantes a metales para inmovilizarlos a través de la absorción y acumulación en las raíces o precipitación en la rizosfera, (Cortez, 2019, pg. 12). La planta reduce la biodisponibilidad y movilidad de uno o más metales/metaloides al inmovilizarlos en sus raíces por acumulación o precipitación en la rizosfera (Álvarez, 2019, pg.25).

En la fitodegradación las plantas y los microorganismos asociados a ellas degradan los contaminantes orgánicos en productos inofensivos (Alarcón, 2020, pg. 29). Es el uso de

plantas y microorganismos para la degradación de contaminantes orgánicos (Cortez, 2019, pg. 12).

La fitovolatilización nos dice que es el uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire (Falcon, 2017, p. 14). Hay un riesgo asociado a las emisiones de metales pesados a la atmósfera, por lo que, se emplean junto a otras técnicas de contención de gases como invernaderos y bombas de extracción de gases (Álvarez, 2019, pg.25).

La fitorrestauración trata sobre la reforestación de terrenos contaminados con especies resilientes y de rápido crecimiento que previenen la migración de partículas contaminantes y la erosión del suelo (Álvarez, 2019, pg.25).

El uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes se le conoce como rizofiltración (Falcon, 2017, pg.14).

La fitoextracción utiliza la capacidad de las plantas para absorber y extraer contaminantes del suelo, principalmente metales, a través de sus raíces y acumularlos en tallos y hojas. Estas posteriormente pueden ser extraídas y destruidas o recicladas (Corpus Quiroz, 2018, pg. 61). Consiste en la absorción de metales pesados desde las raíces hasta las partes aéreas de las plantas (Cortez, 2019, pg. 12). Es la técnica más prometedora y ha recibido una importante atención, se le considera como una tecnología para la recuperación de metales en los suelos contaminados (Falcon, 2017, pg.15).

Su efectividad depende de muchos factores; la concentración del metal, el tipo, la fuerza, la distribución del flujo de acondicionamiento y las condiciones de crecimiento de las especies de plantas. Es necesario agregar ácidos orgánicos (EDTA) para mantener una concentración óptima de metales solubles durante el proceso de fitoextracción (Falcon, 2017, pg.15).

La evaluación de la fitoextracción se le conoce como a la capacidad de exclusión o acumulación que está presente, puede ser evaluada por el factor de bioconcentración y la movilidad de los metales en la planta por el factor de translocación (Falcon, 2017, pg. 17). El Factor de traslocación en la raíz de la planta es un valor de Traslocación (TF) mayor que 1 indica una translocación eficiente del metal a los brotes, lo que permite que la planta se utilice con fines de fitoextracción. Por el contrario, si este valor es inferior a 1, la translocación del metal es débil, por lo que queda principalmente retenido en las raíces y puede usarse para fitoestabilización (Falcon, 2017, pg. 17).

- Si el $TF > 1$ significa que el potencial de la planta es hiperacumular metales en la parte aérea.
- Si el $TF < 1$ significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de Fitoestabilizar metales en sus raíces (Falcon, 2017, pg. 18).

El Factor de bioconcentración en la raíz de la planta (BCF raíz). Según Yom, (2009) "Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la planta (raíz) y la concentración en suelo" (Citado en Falcon, 2017, pg. 18).

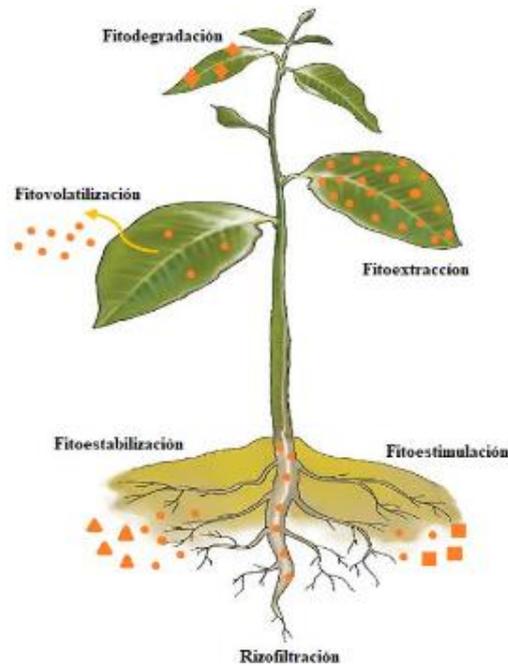
- Si el $BCF\ raíz < 1$ la planta es excluyente.
- Si el $BCF\ raíz > 1$ la planta es acumuladora.
- Si el $BCF\ raíz > 10$ la planta es hiperacumuladora.

El Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta (BCF aérea). Vyslouzilova, (2003) afirma que: es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo (Citado en Falcon, 2017, pg. 18).

- Si el $BCF\ aérea < 1$ la planta es excluyente.
- Si el $1 < BCF\ aérea < 10$ la planta es acumuladora.
- Si el $BCF\ aérea > 10$ la planta es hiperacumuladora.

Figura 2.

Técnicas de Fitorremediación.



Nota: Procesos de fitorremediación como una alternativa de solución para la remediación de suelos contaminados por distintas fuentes. Tomado de: Ávila, 2017, pg. 13.

La fitoextracción depende de la capacidad natural de ciertas plantas para acumular, mover y resistir grandes cantidades de metales durante el ciclo de desarrollo. Las plantas hiperacumuladoras son las más adecuadas para la fitoextracción de suelos contaminados con metales (Falcon, 2017, pg. 16).

Se identificaron aproximadamente 415 especies vegetales hiperacumuladoras en 45 familias de plantas, que poseen la capacidad de recolectar algunas sustancias. (Boyd, 2008, como se citó en Marrero-Coto, 2012, p. 55). Las hiperacumuladoras son especies que pueden acumular metales 100 veces más que las plantas comunes. (Boyd, 2008, como se citó en Grandez, 2017, pg. 55). Mojiri, (2011) afirma que en la mayoría de los casos se trata de cultivos bien conocidos, como el girasol, que puede absorber grandes cantidades de uranio acumulado en el suelo y el maíz, que tiene una gran acumulación de cadmio y plomo (Citado en Grandez, 2017, p. 29).

El maíz, pertenece a la familia de las Pomáceas o Gramíneas y es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen, es uno de los cultivos básicos más importantes y extendidos en todo el mundo. Constituye una de las fuentes principales de alimento de millones de personas, sobre todo en América y Asia. Es una de las primeras plantas en ser domesticada y extendida por todo el mundo, y es uno de los alimentos básicos de muchas poblaciones (Ortega y Pérez, 2015, p. 151).

La raíz del maíz se divide en dos tipos, las primarias que son fibrosas y las raíces adventicias, que se forman por encima de la superficie del suelo (Flores, et al. 2017, p. 7).

Una epidermis exterior, una pared por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso donde la planta almacena sus reservas alimenticias, son las tres capas por las que el Tallo del maíz está compuesto (Flores, et al. 2017, p. 5).

Las Hojas, son largas, alargadas y estrechas, sus extremos son cortantes (Guacho, 2014, p. 7), en un inicio tienen color verde, pero con la madurez se tornan amarillas. El maíz tiene flores masculinas y femeninas y el fruto y la semilla forman un solo cuerpo, el grano de maíz es un fruto pequeño, seco (Abad, 2015, p. 10).

La planta de maíz (*Zea mays L.*) es utilizada en la fitorremediación para remover, transferir, estabilizar, concentrar contaminantes en los suelos. Estos contaminantes se incorporan a la planta de *Zea mays L.* y favorece el proceso de asimilación por las raíces (Poma y Quiñones, 2022, p. 75). La bioconcentración se da en la raíz, principalmente por la facilidad que tiene para poder absorber el metal pesado en comparación con el transporte o traslocación de un metal pesado hacia los diferentes órganos de la parte aérea de la planta; esto debido a que la raíz constituye el tejido de entrada principal de metales pesados de la planta (Poma y Quiñones, 2022, p. 75).

Bustamente, (2018) comprende tres mecanismos por los cuales se puede dar el movimiento de los iones:

Intercepción Radicular: A medida que se agranda el sistema de raíces del maíz, su volumen radicular aumenta y, por lo tanto, queda atrapado el volumen de solución (Bustamente, 2018, p. 31).

Flujo de Masas: Consiste en el movimiento de agua y nutrientes desde la solución hasta la raíz. Este proceso se produce por la pérdida de agua en la planta, lo que provoca succión entre el interior y el exterior de la planta de maíz por la diferencia de presión del agua. (Bustamente, 2018, p. 31-32).

Difusión: proceso espontáneo en el que los iones se mueven de una solución de mayor concentración a una solución de menor concentración a través de un gradiente de potencial químico (Bustamente, 2018, p. 32).

La bioconcentración en la raíz se debe principalmente a la facilidad de absorber el metal pesado en lugar de transportar o transferir un metal pesado hacia los diversos órganos de la parte aérea de la planta; debido a que la raíz es el tejido de entrada de metales pesados a la planta, los mismos que llegan a ella por tres procesos principales: difusión en el medio ambiente, flujo de masa o intercambio catiónico (Muso, 2012, como se citó en Poma y Quiñonez, 2022, p 66).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) está relacionado con la materia orgánica, debido a que cuando hay mayor presencia de materia orgánica, se incrementa el número de grupos funcionales (aumento de cargas) que son los responsables de la adsorción del metal. Por ello, cuando exista mayor capacidad de intercambio catiónico el suelo tendrá una mayor capacidad para fijar los metales pesados (Subero, 2021, como se citó en Poma y Quiñonez, 2022, p. 53).

Para el transporte de metales pesados a la parte aérea (fitoextracción), existe una sola vía, a través de la xilema, en contraste con las diversas formas de metales pesados que ingresan a la parte de la raíz de la planta y, sobre todo, para la traslocación se requiere dos

fuerzas necesarias, la ósmosis y la fuerza de succión, que son independientes de la planta o del suelo (Muso, 2012, como se citó en Poma y Quiñonez, 2022, p. 77).

La fitotoxicidad de la planta depende del mecanismo por el cual absorbe y/o acumula el metal, como también sobre sus mecanismos de defensa, que le dan a la planta resistencia contra los metales pesados (Seregin y Ivanov, 1997, como se citó en Yllanes, Vélez y Lozano, 2014, pg. 338). Asimismo, esto puede deberse a mecanismos de defensa no específicos que se activan cuando las plantas se exponen al plomo (Sharma y Dubey, 2005, como se citó en Yllanes, Vélez y Lozano, 2014, p. 338).

García (2006) menciona que “las adaptaciones específicas de las plantas al estrés por metales pesados se basan en mecanismos de resistencia que reducen su entrada a la planta, o que al ser absorbidos permiten que se mantengan en lugares que no dañan las células” (p. 4).

Li, (2019) afirmó que en la fitorremediación de suelos con la especie *Zea Mays L.* los resultados mostraron a la planta como fitoestabilizadora por su absorción de metales en las raíces (Citado en Munive Cerrón, et al., 2020, pg. 178). Además, Julca, (2022) concluyó que: “el maíz tiene la capacidad de eliminar metales pesados del suelo y que tiene un efecto de capacidad fitorremediadora positivo” (pg. 36). La planta de maíz absorbe los metales pesados del suelo como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en su raíz (Cerrón, et al., 2018, pg. 551). La acumulación en las raíces, tallos, hojas, flores, envoltura y semillas, fueron óptimas en la descontaminación de metales pesados que se encontraban en el suelo (Falcon, 2016, pg.4).

Por otro lado, se examinaron varios antecedentes sobre la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Pb Y Cd) utilizando *Zea Mays L.* Encontrando trabajos de investigación tanto a nivel internacional y nacional que se detallan a continuación.

Munive, Loli, Azabache, & Gamarra (2018) desarrollaron un estudio titulado: "Fitorremediación con Maíz (*Zea mays L.*) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados", en la ciudad de Huancayo. Para ello se empleó los suelos agrícolas de las localidades Mantaro y Muqui del valle del Mantaro, cuyos contenidos de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el suelo superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del Perú. Los resultados indican que la planta de maíz absorbe los metales pesados: plomo y cadmio en la raíz de ésta, el cultivo de maíz presenta los mayores valores de extracción de cadmio en el tratamiento MA T3 (Químico) de la localidad de Mantaro quien presenta la mayor extracción con 15,5 mg/kg de Cd.

Grandez, (2017) en su tesis: "Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (*Helianthus Annus*) y maíz (*Zea Mays*) utilizando enmiendas", se realizó mediante 6 tratamientos con enmiendas, más 2 usando testigos sin enmiendas, 3 repeticiones dando un total de 24 pruebas. El tiempo de duración de los cultivos fue de 64 días, los resultados obtenidos durante el tratamiento estadístico arrojaron con un nivel de confianza del 95%, se pudo determinar la remoción de los metales pesados en el suelo contaminado con un 11% de remoción de cadmio, 9.951% de remoción de plomo con las respectivas plantas cultivadas, dando óptimos resultados en la eficiencia de la remoción de metales pesados en suelos contaminados teniendo en cuenta que los mejores resultados se dieron con el Maíz usando Compost + Humus.

Falcon, (2017) en su investigación titulada "Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con *Zea mays L.* en la estación experimental el Mantaro - Junín", se utilizó la tecnología de Fitoextracción. En cada lote se tomó muestras al azar de suelo de 1.0 kg aproximadamente; para proceder a su caracterización y cuantificación de las propiedades fisicoquímicas como: pH (6.61, 7.10, 7.08), textura (Franco arcillosa). La Fitoextracción de metales fue evaluada por la densidad de siembra del *Zea mays L.* La especie vegetal de los

tres lotes se cosechó en su etapa de madurez a los siete meses de crecimiento y se hicieron cortes de las raíces, tallos, hojas, flores y semillas. Los resultados obtenidos, mostraron la presencia de metales pesados en los suelos de la Estación Experimental y la Fitoextracción en el primer año fue efectiva, ya que el factor de traslocación, en los lotes A y B para el manganeso y zinc fue mayor que 1 y para el lote C: cobre, manganeso y zinc fue mayor que 1.

Torrel, (2020) en su tesis titulada "Evaluación de la bioacumulación de plomo en tallo, hojas y coronta de *Zea mays* en muestras sintéticas", se trató de una investigación experimental pura, realizo 7 pruebas sobre el proceso de bioacumulación en columnas de lecho fijo utilizando un diseño completamente al azaro, con repeticiones por hojas, tallo y coronta de maíz. En donde la concentración inicial de plomo es de 100 ppm Los resultados indican que la capacidad de bioacumulación de Pb en hojas, tallo y coronta de *zea mays*. Teniendo como conclusión que la capacidad de Bioacumulación de plomo en el tallo, hojas y coronta de maíz (*Zea mays*) es una solución muy eficaz ya que absorbe hasta un 99.9% del metal, dando a demostrar que es un gran bioacumulador de plomo.

Jiménez, (2020) en su tesis: Análisis Descriptivo Del *Helianthus Annus* Y *Zea Mays* Como Acumuladores De (Cd, Pb) Para La Recuperación De Suelos Agrícolas Contaminados, tuvo la finalidad de reducir la contaminación por metales pesados como Cd y Pb en suelos agrícolas, que tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la fitoextracción de las dos diferentes especies vegetales. Comparando las dos especies más estudiadas en la remoción de Cd y Pb, para Pb la alternativa más eficiente se demostró en el *Helianthus annus*, reportando una eficiencia del 33% en comparación del *Zea mays* que reporto 18%, expuestas a pH alcalinos. Mientras que el *Zea mays* es eficiente para la remoción de Cd obteniendo una remoción de 59.88%, convirtiéndola como planta fitoestabilizadora de Cd a suelos con pH <6. En conclusión, el *Helianthus annus* puede participar en el proceso de fitoextracción

en suelos contaminados con Pb, por su tolerancia e hiperacumulación en el tejido vegetal. Mientras que, el *Zea mays* participa como planta fitoestabilizadora en suelos contaminados con Cd; considerando para los dos casos la disposición final ambientalmente adecuada y prevenir su consumo.

Velásquez y Cobeña, (2022) en su investigación: "Fitorremediación como alternativa de remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica", su finalidad fue buscar una mitigación o reducción para reducir o mitigar en el ambiente, por lo que su objetivo fue averiguar qué especies vegetales son más eficaces en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. La capacidad de las plantas nativas como *Aloe vera*, *Allium sativum L.*, *Zea mays*, *Oryza sativa* y *Helianthus annuus* son disponibles para absorber, adsorber, metabolizar, acumular, estabilizar o volatilizar contaminantes orgánicos y/o inorgánicos. Concluyó que esta es una técnica que combina la flora nativa con la toxicidad del metal, siendo el *Zea mays* la planta con mayor capacidad de remoción de 76.22 mg/kg de plomo.

Poma y Quiñonez (2022), en su tesis: "Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con *Zea mays L.* en un suelo contaminado con cadmio", aplicaron enmiendas orgánicas que asisten a la planta (*Zea mays L.*) en el proceso de fitorremediación, para luego evaluar la disponibilidad de Cd en el suelo y en el maíz. Mientras que los resultados mostraron que la aplicación de enmiendas orgánicas incrementó la concentración total de Cd en *Zea mays L.*, con una variación de 6.94 mg/kg a 13.79 mg/kg, los tratamientos con vermicompost en dosis de 5%, 10% y 20% obtuvieron resultados positivos. Asimismo, se concluyó que el compost y el vermicompost influyen en el incremento del factor de bioacumulación y de traslocación del cadmio en el *Zea mays L.*

En la actualidad el tema de la fitorremediación es algo novedoso, es por esto que se esta investigación se realizó con la finalidad que facilite al investigador, estudiante o todo a

aquel que necesite información respecto a la fitorremediación de metales pesados utilizando *Zea Mays L.*, a través de una revisión sistemática, lo cual será útil, ya que tendrán la oportunidad de realizar una breve lectura del resumen y las conclusiones para identificar que el tema de interés esté relacionado, sin necesidad de ingresar a cada uno de los artículos o revistas, es decir seleccionará el documento y podrá consultar solo el que sea concerniente al tema necesitado, esto con el fin de disminuir tiempos de búsqueda. Además, puede encontrar información adicional como autores, años de creación y un enlace directo para acceder a la información.

El resultado servirá al área de gestión ambiental en la toma de decisiones de las autoridades de las diferentes Municipalidades, ya que permitirá conocer las soluciones ante una posible contaminación por metales pesados en suelos agrícolas. Asimismo, beneficiará a la población, quienes obtienen sustento económico de las actividades agrícolas, ya que podrán exigir que se controle la contaminación mediante la ejecución de proyectos como esta propuesta para controlar los niveles de concentración de metales pesados.

Esta investigación es conveniente porque muestra un tipo de recuperación para suelos afectados por los metales pesados provenientes de los agroquímicos como plaguicida y fertilizantes, lo que ha provocado que los metales como cadmio y plomo se encuentren en grandes cantidades, proponiendo una tecnología poco invasiva mediante la aplicación de procesos bioquímicos realizados por el maíz, absorbiendo los elementos y compuestos contaminantes en la raíz, tallo y hojas de esta, esta especie de planta, acumula y reduce los contaminantes a menores influencias siendo esta alternativa sustentable de menor costo y menor impacto en comparación a los métodos de origen industrial.

Este estudio muestra el desarrollo de una revisión sistemática de artículos de investigación sobre la fitorremediación de metales pesados utilizando *Zea Mays L.*, con el

fin de dar solución al problema planteado, también para sintetizar la evidencia científica y servirá de utilidad para las próximas investigaciones relacionadas con nuestro tema.

1.1. Formulación del problema

¿Es posible la fitorremediación de suelos agrícolas contaminados por Plomo y Cadmio utilizando *Zea Mays L.*?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Presentar una revisión sistemática sobre la capacidad fitorremediadora del *Zea Mays L.* para suelos contaminados por Pb y Cd.

1.2.2. Objetivo específico

Identificar la metodología y los resultados obtenidos en los estudios.

Determinar si el uso de Maíz (*Zea Mays L.*) es efectivo en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Plomo y Cadmio).

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La fitorremediación de suelos contaminados por plomo y cadmio utilizando *Zea Mays L.* es posible.

1.3.2. Hipótesis específica

La metodología identificada es eficiente para la fitorremediación.

El uso del *Zea Mays L.* es efectivo para la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados (Cadmio y Plomo).

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El presente estudio, de revisión sistemática, reúne toda la evidencia empírica que responde criterios de elegibilidad previamente establecidos, para responder una pregunta específica de investigación (Arévalo, Gonzalo, Arévalo, 2010, pg. 69). La metodología fue realizada en base a una estrategia PRISMA, la declaración PRISMA 2020 se puede utilizar para revisiones sistemáticas originales, revisiones sistemáticas actualizadas o continuamente actualizadas.

2.1. Tipo de Investigación

El enfoque utilizado en este estudio es cualitativo, ya que según Hernández, Fernández y Baptista (2010) el enfoque cualitativo, utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en este caso, sobre la fitorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo para así con toda la información obtenida dar respuesta a nuestra pregunta de investigación (p. 7).

El presente estudio es de diseño no experimental, dado Hernández, Fernández y Baptista (2010), señalan que podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables (p. 149).

El tipo de investigación del presente proyecto es de carácter descriptivo, con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. En otras palabras, pretenden medir o recopilar información solo de forma independiente o junto con los conceptos o variables a los

que se refieren, no tienen la intención de mostrar cómo se relacionan (Hernández y Torres, 2018, p.92).

2.2 . Población y muestra.

Según Arias (2012), la población es un conjunto finito o infinito de elementos, personas o instituciones que son motivo de investigación y tienen características comunes. La cual queda delimitada por el problema y por los objetivos del estudio. La población finita es en la que se conoce la cantidad de unidades que la integran.

Este estudio se considera una población limitada, ya que se conoce el número exacto de elementos que constituyen en el estudio. Continuamos con la recolección de artículos, se observa en la Tabla N.º1 las ecuaciones de búsqueda, para que la recolección de datos sea más eficiente, el total de artículos localizados inicialmente fue de 84 registros, de los cuales 31 fueron de Scopus, 8 de SciELO, 31 de Google Académico, 8 de Repositorio UPN y 6 de Redalyc

Tabla 1.

ECUACIONES DE BÚSQUEDA

Nº	Base de datos	Ecuaciones de Búsqueda
1	Scopus	<i>“phytoremediation” and “contaminated soils” and “heavy metals” and “Zea mays l.”</i>
2	SciELO	<i>"phytoremediation" and "heavy metals" and "contaminated soils"</i>
3	Redalyc	<i>(Phytoremediation of contaminated soils) or (phytoremediation) and (heavy metals)</i>

4	Google Académico	"fitorremediación" y "suelos contaminados" y "metales pesados" y " <i>Zea mays L.</i> "
5	Repositorio UPN	"fitorremediación" y "suelos contaminados" y "metales pesados" y " <i>Zea Mays L.</i> "

Nota: En esta tabla se muestra las plataformas de búsqueda, asimismo las palabras claves.

Elaboración: Propia.

Hernández, Fernández y Baptista (2010), mencionan que “la muestra es en esencia, un subgrupo de la población. Es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido por sus propiedades, al que llamamos población” (p. 175).

Con el objetivo de sintetizar los resultados de todas las investigaciones, se desarrollaron las estrategias de búsqueda sistemática y exhaustiva de los artículos potencialmente relevantes, las de selección mediante criterios explícitos de los artículos a incluir (Lucerón, 2018, pg. 45) de los cuales se trabajará con solo 6.

Se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión para determinar la muestra:

Criterios de inclusión: Artículos y/o tesis cuyo tópico central fuese fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados, se tomarán en cuenta artículos que se relacionen con nuestras palabras clave: Fitorremediación, Metales pesados (Cadmio y Plomo), *Zea Mays L.*, teniendo en cuenta la Tabla N°2.

Tabla 2.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Criterios de inclusión	
Tipo de acceso	Acceso libre
Tipo de literatura	Artículos científicos indexados, tesis
Idioma	Español e Inglés
Año de publicación	2018 – 2022
Tipos de fitorremediación	Fitoextracción, fitoestabilización

Nota: En esta tabla se muestra los criterios de inclusión de artículos y/o tesis.
 Elaboración: Propia.

Criterios de exclusión: Estudios basados en datos incompletos (Lucerón, 2018, pg. 50), fuera del periodo de tiempo (2018-2022), que no tengan nuestras variables o palabras clave, así también como lo muestra la Tabla N°3.

Tabla 3.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Criterios de exclusión	
Tipo de acceso	Acceso cerrado
Tipo de literatura	Tesis de fin de ciclo
Idioma	Artículos publicados en otros idiomas
Año de publicación	Fuera del periodo (2018-2022)

Nota: En esta tabla se muestra los criterios de exclusión de artículos y/o tesis.
 Elaboración: Propia.

Tabla 4.

OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE INDEPENDIENTE: <i>Zea Mays L.</i>	El maíz tiene la capacidad de remover metales pesados del suelo, ya que se demostró estadísticamente que remueve significativamente el Plomo, Arsénico, Mercurio y Cadmio. Por lo tanto, se puede afirmar que el maíz tiene un efecto de capacidad fitorremediadora positivo (Julca, 2022, pg. 36).	Se recopilará información para calcular la eficiencia de <i>Zea Mays L.</i> para la fitorremediación.	Absorción de metales pesados (Cd y Pb)	<ul style="list-style-type: none"> • % de absorción
VARIABLE DEPENDIENTE Suelo contaminado por Cadmio y Plomo	Suelo contaminado cuyas características químicas, han sido alteradas negativamente por la presencia de sustancias contaminantes depositadas por la actividad humana (MINAM, 2014, pg. 5).	Se realizará una comparación entre la concentración inicial y final de los metales pesados (Cd, Pb) en el suelo.	La concentración de Cd y Pb en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo • Cadmio

Elaboración: Propia.

2.3 . Métodos, Técnicas e instrumentos de recolección.

Newman (2006), señala que el razonamiento deductivo e inductivo es de gran utilidad para la investigación. La inducción conlleva a acumular conocimientos e informaciones aisladas (p. 181). Por medio del presente método se obtendrá conocimientos de lo general a lo particular y viceversa; es decir, del análisis de cada variable (*Zea Mays L.* y Suelos contaminados por Cadmio y Plomo) involucrada en nuestro objetivo para dar respuesta a nuestra pregunta de investigación, ¿Es posible la fitorremediación de suelos agrícolas contaminados por Plomo y Cadmio utilizando *Zea Mays L.*?

Arias (2012), afirma que “la técnica de investigación se refiere a un procedimiento o forma particular de adquirir conocimiento o información, las técnicas son específicas y propias de la disciplina, de modo que complementen al método científico” (p. 67). El análisis documental y análisis de contenido son algunos de los ejemplos de técnicas.

Por tanto, la técnica que utilizaremos para la recopilación de datos en este estudio es el análisis de documentos, registro de datos a través de revisión bibliográfica, todos los artículos son seleccionados de la base de datos, Scopus, Scielo (Biblioteca científica electrónica en línea), Redalyc (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal), Repositorio UPN (Universidad Privada del Norte) y Google Académico.

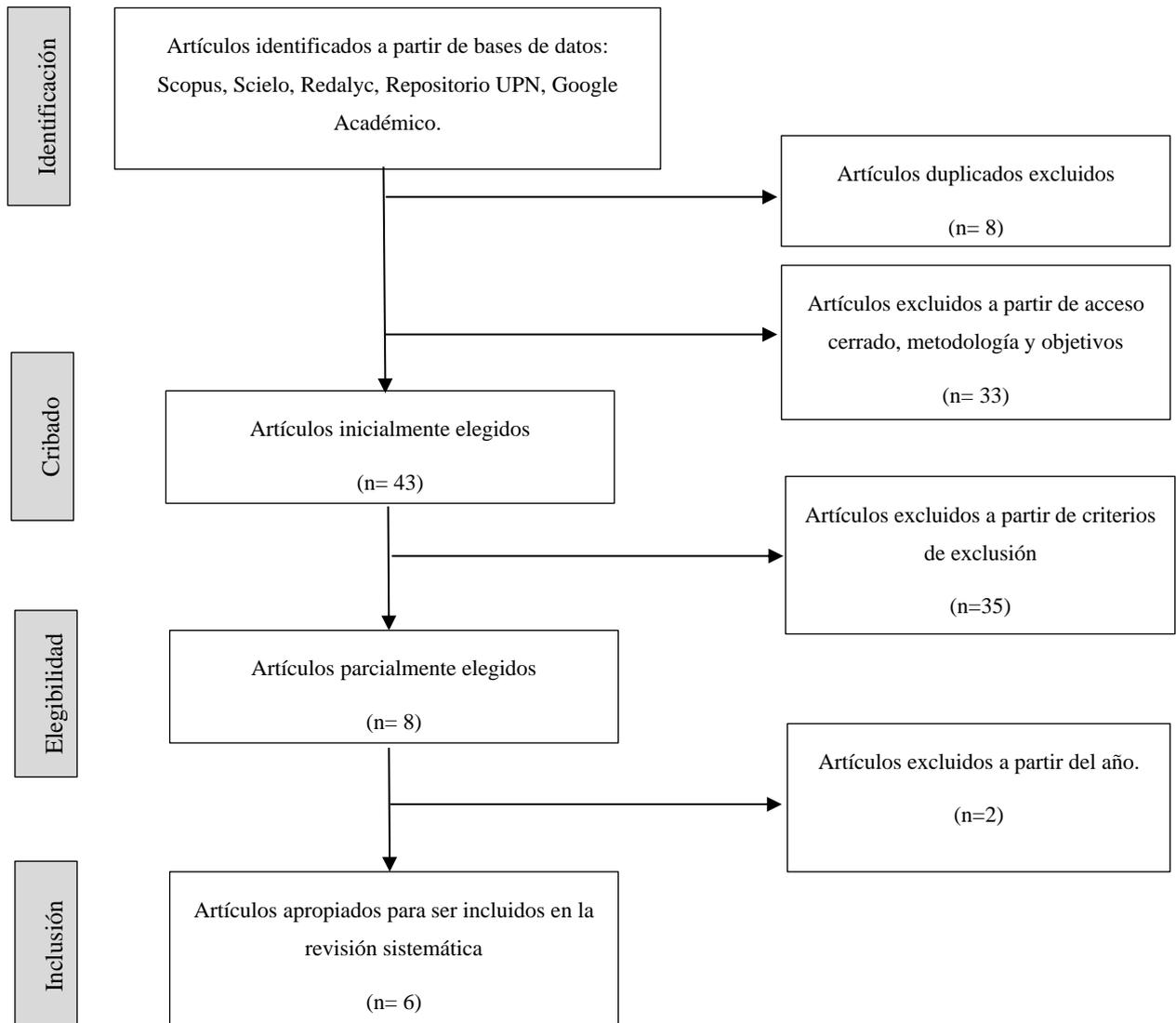
Arias (2012), señala que “una herramienta de recolección de datos es cualquier medio, dispositivo (papel o digital), empleado para capturar, registrar y almacenar información “(p. 68).

Para la recopilación de información para este estudio, se comenzó con una búsqueda limitada en las bases de datos usando palabras claves: "Fitorremediación", "suelos contaminados", "metales pesados" y "Zea Mays L.", se combinó con el conector "y", mediante una ecuación de búsqueda (phytoremediation AND contaminated soils AND heavy metals OR cadmium, plomo OR Cd, Pb). Luego, se utilizó una matriz de datos comparativa (Ver anexo 1), la cual estuvo basada en los resultados de la revisión bibliográfica seleccionada. Esta matriz (Anexo 1) recogerá información sobre los siguientes puntos: autores, año de publicación, metodología, país donde se realizó el estudio.

En el presente estudio se organizó la información para el análisis mediante categorías (Fitorremediación, Metales pesados, Fitoextracción y Plomo, Cadmio), teniendo en cuenta los objetivos y los temas principales de estudio, lo cual nos permitió manejar de manera óptima la información recopilada durante la investigación y plantear los resultados de acuerdo con los objetivos. Además, los criterios de inclusión y exclusión (ver Tabla 2 y 3) se aplicaron en todas las etapas para el análisis crítico y detallado con el fin de suprimir los errores en la selección.

Figura 3.

Diagrama de flujo para la selección de artículos – Método Prisma



Nota: Procesos de recolección de datos para esta investigación. Fuente: Elaboración Propia.

La validez y confiabilidad se sustenta en la recopilación de información veraz y detallada de las distintas fuentes, como en artículos de revistas indexadas y de libre acceso para su lectura en bases de datos aceptadas por la comunidad científica como: Redalyc, que integra revistas de alta calidad científica y editorial de la región; Scopus, donde se encuentra investigación relevante y acreditada; SciELO, que es uno de los sistemas de información

más reconocidos e importantes para la comunicación científica regional; y también Google Académico, ya que se alimenta de fuentes profesionales como bibliotecas universitarias y editoriales.

Después de haber recopilado información, se continuo a organizarla en Microsoft Excel, lo que permitió elaborar tablas descriptivas sobre los resultados finales en base a los objetivos, para la redacción de todo el trabajo de investigación se utilizó el paquete Microsoft Office 2016.

Se citará cada una de las fuentes consideradas en esta investigación, bajo la Guía de Normas APA (American Psychological Association) 7ma edición. En esta investigación se tuvo en consideración las normas éticas relacionadas con el respeto a las citas y referencias relacionadas con los autores de los diversos artículos científicos. Toda información recolectada será utilizada únicamente con fines académicos, se respetará la autoría de cada uno de los datos y resultados obtenidos por los diferentes autores, cabe recalcar que no serán alterados. Para la demostración de autoría propia, el documento finalizado será llevado a un programa autenticador el cual podrá determinar el porcentaje de similitud que se presenta con otras obras e investigaciones.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

En este capítulo se presentará los resultados alcanzados, los cuales proporcionan solución a los objetivos planteados. Para obtener los datos más relevantes de los 6 trabajos seleccionados para ser incluidos en la revisión sistemática se utilizó una matriz de registro de artículos, la cual permitió organizar la información de cada artículo.

Los resultados se presentan en 2 tablas, en la tabla 5 se muestran los artículos seleccionados, los 6 trabajos son apropiados, donde estudiaremos principalmente su metodología. En la Tabla 6 se reporta la comparación entre la concentración inicial y la concentración post tratamiento del suelo contaminado por metales pesados de los diversos estudios, datos de los autores, valores de cada metal que estudiaremos (Pb, Cd), En la figura 4, 5, 6 y 7 se muestra la eficiencia de la fitorremediación usando *Zea Mays L.* donde se demuestra la variación de los metales pesados (Cd, Pb) de los autores.

Tabla 5.

MATRIZ DE REGISTRO DE ARTÍCULOS SELECCIONADOS

N°	Autor(es)	Año	Título	Base de datos	Metodología
1	Rubén Munive Cerrón, Oscar Loli Figueroa, Andrés Azabache Leyton y Gilberto Gamarra Sánchez	2018	Fitorremediación con Maíz (<i>Zea mays L.</i>) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados	SciELO	<p>Este trabajo fue de diseño experimental.</p> <p>-Suelos agrícolas contaminados al usarse agua del río Mantaro para riego.</p> <p>- Muestras al azar con 3 repeticiones por cada localidad y con 3 Tratamientos (T1: Compost de Stevia, T2: Vermicompost de Stevia y T3: Químico).</p> <p>-Se utilizó 5 semillas de maíz para la fitorremediación (absorción).</p> <p>-Se realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina (ex sito).</p> <p>-Se apoyó utilizando compost de Stevia (20g por cada kg de suelo).</p> <p>-A los 90 días se determinó las concentraciones de los metales pesados.</p>

2	<p>Félix Huaranga Moreno, Eduardo Méndez García, Feliciano Bernui Paredes, Noé Costilla Sánchez, y Félix Huaranga Arévalo</p>	<p>2022</p>	<p>Fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el "maíz" (<i>Zea mays L.</i>) y "beterraga" (<i>Beta vulgaris L.</i>)</p>	<p>SciELO</p>	<p>En este trabajo se utilizó la metodología de la espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer Pin Acle 900F, siguiendo el protocolo de la norma EPA 2003 guía para la preparación estándar y procedimientos de operación para análisis de aguas, suelos y material vegetal.</p> <p>-Suelo contaminado por relaves mineros (Zona Samne).</p> <p>- Muestras de suelos agrícolas contaminados por plomo, arsénico y cadmio, aplicadas a las plantas recién germinadas.</p> <p>-Se utilizó 3 semillas de maíz y 3 semillas de beterraga para la fitorremediación (extracción).</p> <p>-Se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo (ex sito).</p> <p>-Las concentraciones de los metales pesados se determinó a los 65, 95 y 125 días de experimento.</p>
3	<p>Jhack Jhelsin Julca Castañeda</p>	<p>2022</p>	<p>Capacidad fitorremediadora del maíz y el girasol en suelos contaminados del botadero municipal de Lucma</p>	<p>Repositorio UPN</p>	<p>En este trabajo su diseño metodológico es no experimental, transversal - descriptiva que consiste en obtener información de la concentración de metales antes y después de aplicar la fitorremediación</p> <p>-Suelo contaminado del botadero del Distrito de Lucma.</p>

-La muestra se recolecto en base a la GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS, se identificaron tres estratos (bajo, medio y alto).

-Se utilizó semillas de maíz y de girasol para la fitorremediación.

-Se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo (ex sito).

-Las concentraciones de los metales pesados se determinó a los 60 días de experimento.

El método general de este trabajo es científico por seguir un procedimiento, su método específico es inductivo experimental. Y su tipo de investigación es aplicada, debido a que utiliza la investigación teórica.

-Suelo agrícola del distrito de Leonor Ordoñez, regadas por aguas del río Mantaro.

- La muestra se recolecto al azar.

-Se utilizó 7 semillas de maíz para la fitorremediación.

-Se realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina (ex sito).

-Los resultados se determinó a los 60 días de experimento.

4	Anderson Anibal Poma Jiménez Ciro Elias Quiñonez Rojas	2022	Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con <i>Zea mays L.</i> en un suelo contaminado con cadmio. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021	Google Académico
---	--	------	---	------------------

					-Se apoyó utilizando compost de Stevia.
					Este trabajo es experimental, de diseño completamente al azar.
					-Suelo artificial (Bosque húmedo premontano tropical) contaminado por plomo.
					- La muestra se recolecto al azar.
5	Yeffry Jhair Sanchez Tarrillo Carmen Isabel Vilcas Guerrero	2021	Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (<i>Brachiaria brizantha</i>) y maíz (<i>Zea mays</i>)	Google Académico	-Se utilizó semillas de maíz para la fitorremediación. -Se realizó en la Universidad Peruana Unión- Filial Tarapoto (ex sito). -La concentracion de plomo se determinó a los 4 meses de experimento.
6	Yoel Oswaldo Gama Retamozo	2019	La fitorremediación como alternativa en la recuperación de suelos afectados con desmontes de construcción – Cajabamba	Google Académico	Este trabajo fue cuasi-experimental de diseño estadístico descriptivo- longitudinal. -Suelo contaminado por materiales de construcción. - La muestra de suelo fue inicial y después del tratamiento. -Se utilizó semillas de maíz para la fitorremediación.

-Se realizó en la propiedad del señor Jhon Custodio, Cajabamba (in sito).

-Las concentraciones de los metales pesados se determinó a los 5 meses de experimento.

Nota: En este matriz se utilizaron campos tales como la base de datos, el título del artículo; los autores, el año de publicación y la metodología. Elaboración: Propia.

En esta matriz se muestran los 6 trabajos seleccionados que respetaban los criterios establecidos para su revisión. En la elección de cada artículo se tomaron en cuenta según el criterio de relacionamiento más cercano al tema de la revisión sistemática, se tuvo en cuenta los objetivos, la metodología y sus resultados. A continuación, se presentan tablas donde se detallan los resultados obtenidos de cada autor.

Comparación de la concentración inicial y final de cadmio y plomo.

La Tabla 6 describe una comparación entre la concentración Inicial y la Concentración Post Tratamiento de los metales pesados (plomo, cadmio), así mismo se muestra el suelo con el que trabajaron diversos autores, la cantidad removida y el tiempo, las mediciones, permiten establecer diferencias entre ellos.

Tabla 6.

CONCENTRACIÓN INICIAL Y POST TRATAMIENTO.

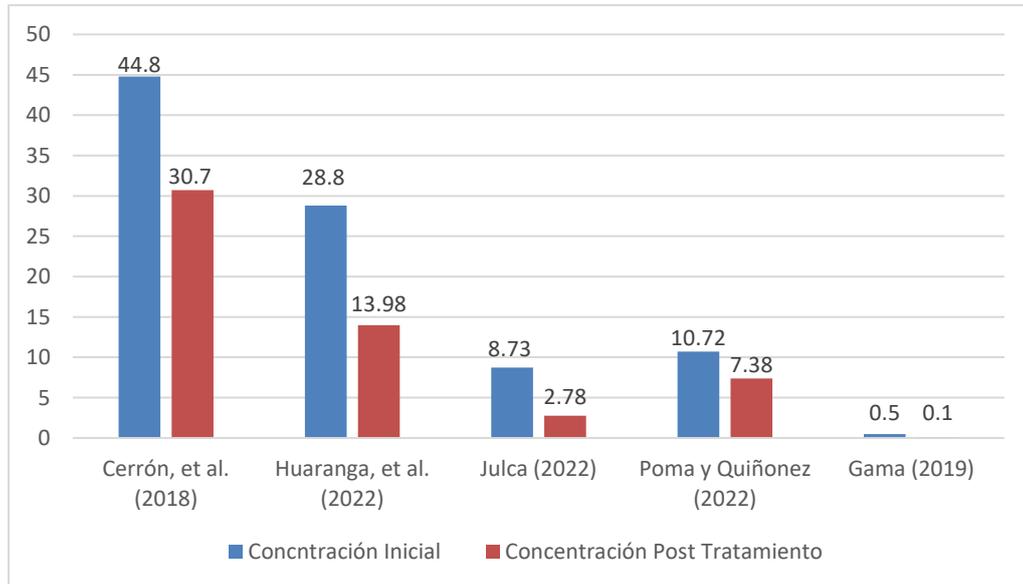
Autores	Suelo	Concentración Inicial		Concentración Post Tratamiento		Removida		Tiempo
		(ppm)		(ppm)		(ppm)		
		Cd	Pb	Cd	Pb	Cd	Pb	
Cerrón, et al. (2018)	Agrícola	44.8	208.2	30.7	138.53	14.14	69.67	90 días
Huaranga, et al. (2022)	Agrícola	28,80	1359,60	13.98	987.94	14.82	371.66	125
Julca (2022)	Botadero	8.73	77.44	2.78	44.05	5.95	33.39	60
Poma y Quiñonez (2022)	Agrícola	10.72	-	7.38	-	3.34	-	60
Sanchez y Vilcas (2021)	Artificial	-	642.8	-	381.92	-	260.88	4 meses
Gama (2019)	Agrícola	0.50	0.25	0.1	0.05	0.4	0.2	5 meses

Nota: En esta Tabla se muestran datos obtenidos de los artículos seleccionados.

Elaboración: Propia.

Figura 3.

Gráfico de variación de concentración de Cadmio

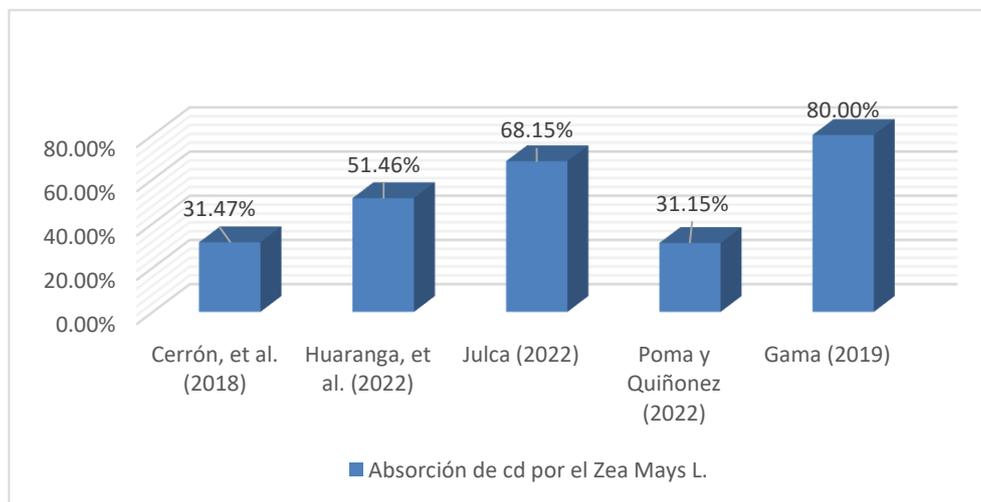


Nota: Comparación de las concentraciones determinadas para el cd de los distintos autores.

Elaboración: Propia

Figura 4.

Gráfico del porcentaje de absorción de Cadmio

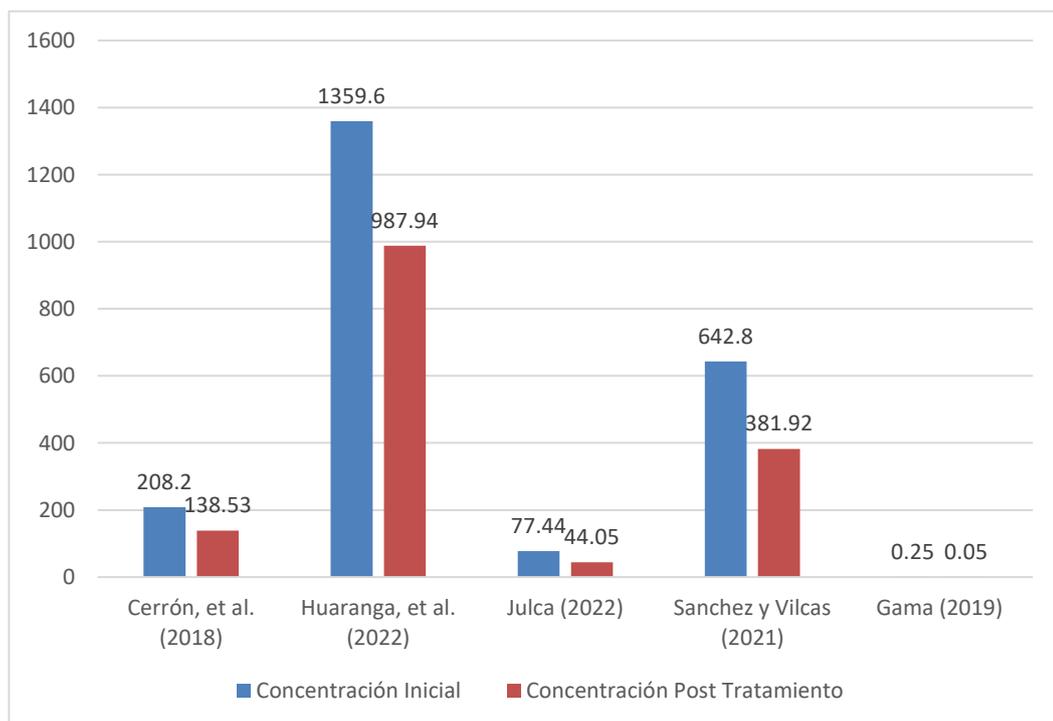


Nota: Variación de la absorción del cadmio en el *Zea mays L.* en los suelos contaminados por los distintos autores. Elaboración: Propia.

En la figura 4 se muestra la variación de los porcentajes de eficiencia de la fitorremediación respecto al cadmio, en el cual observamos que Gama (2019) y Julca (2022) tuvieron la mayor cantidad de absorción en el maíz con un porcentaje de 80.0% y 68.15% respectivamente, asimismo Huaranga, et al. (2022) logro un 51.46% de absorción, estos resultados fueron los que estuvieron más cerca al 100%, ya que Cerrón, et al. (2018) tuvo el 31.47% de absorción y Poma y Quiñones (2022) solo lograron el 31.15%, es importante destacar que existe una significativa eficiencia de fitorremediación, debido a que si logra bioacumular este metal pesado en el maíz.

Figura 5.

Gráfico de variación de concentración de Plomo

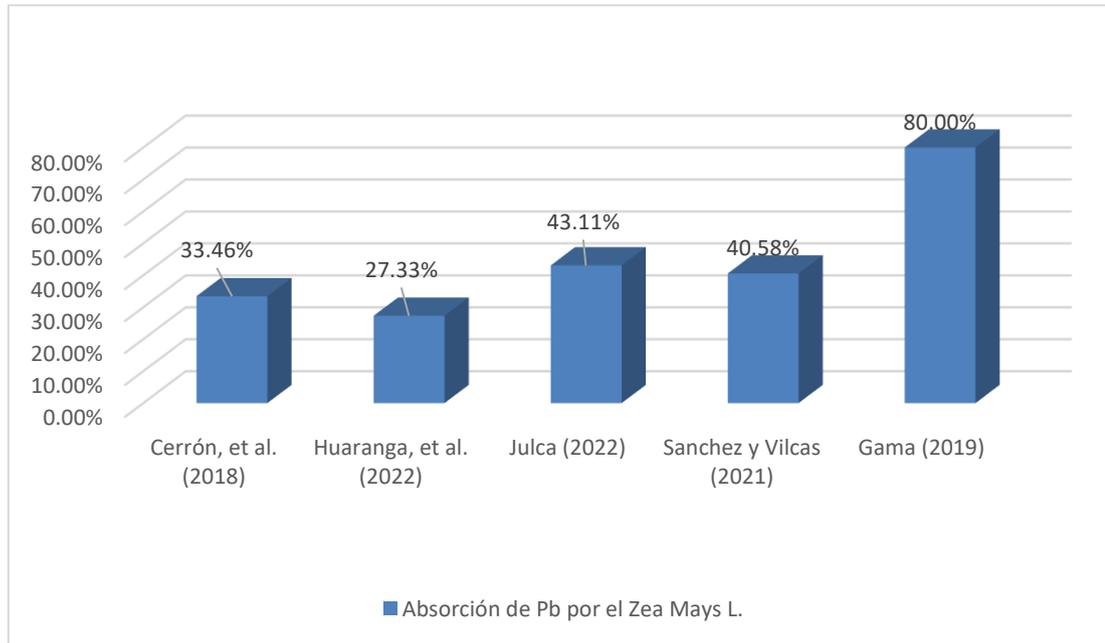


Nota: Comparación de las concentraciones determinadas para el pb de los distintos autores.

Elaboración: Propia.

Figura 6.

Gráfico del porcentaje de absorción de Plomo



Nota: Variación de la absorción del plomo en el *Zea mays L.* en los suelos contaminados por los distintos autores Elaboración: Propia.

En la figura 6 se muestra la variación de los porcentajes de eficiencia de la fitorremediación respecto al plomo, en el cual observamos que el mejor resultado en la absorción de plomo fue el de Gama (2019) con un porcentaje de 80.0%, asimismo le sigue Julca (2022) que tuvo el 43.11% de absorción de plomo, en esa misma línea se encuentra Sanchez y Vilcas (2021) con 40.58%, en comparación con Cerrón, et al. (2018) y Huaranga, et al. (2022) que solo lograron el 33.46% y 27.33% de absorción de dicho metal en el *zea mays l.*, siendo los que obtuvieron menos porcentaje.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se trabajó con una matriz de recolección de datos, la cual permitió registrar 6 artículos, los cuales respondieron a la pregunta de investigación, contenían las variables de estudio y se encontraban en el rango (2018-2022). Para la búsqueda y selección final de estos artículos se siguió un proceso basado en el método PRISMA. En la Tabla 5 se muestran los resultados de la búsqueda de información; se trabajó en las bases de datos de Scielo, Google Académico y el repositorio UPN, para ello se utilizaron palabras claves, se eliminaron artículos duplicados y finalmente se aplicaron criterios de inclusión y exclusión. En la tabla 5 se reporta el registro de los artículos científicos seleccionados, organizados mediante el autor, título, año de publicación, metodología y base de datos.

En las figuras 3 y 5 se observa la variación de la concentración de Plomo y Cadmio, donde los resultados que más resaltaron fueron:

Cerrón (2018) y Huaranga, et al. (20202), ya que trabajaron con una concentración inicial de cadmio de 44.8 ppm y 28.8 ppm y una concentración inicial de plomo de 208.2 ppm y 1359.6 ppm respectivamente; esto se debe a que ambos autores trabajaron con suelos agrícolas contaminados por relaves mineros. Sin embargo, ambos demostraron un porcentaje de absorción en el maíz de 31.47% y 51.46% para el cadmio y 33.46% y 27.33%, respectivamente.

Por otro lado, el autor que presento el resultado más alto en el porcentaje de absorción fue Gama (2019), con un porcentaje de 80% de absorción para cadmio y plomo, el trabajo con 3 plantas (maíz, taya, grass/trébol) y el método que utilizo fue el de sembrar entre surcos de 0.80cm y un espacio entre golpes de 25 cm, por golpe se colocó 3 semillas, dividió el terreno en 3 parcelas, la toma de muestra fue 5 meses

después de la siembra, la muestra inicial se obtuvo a través de la recolección de 5 submuestras en un orden de zigzag, iniciando a 50 cm de los bordes de cada lado del terreno. Realizó el análisis de la concentración de los metales, mediante la absorción atómica. Donde obtuvo mejores resultados para plomo y cadmio con maíz (*Zea mays L.*). Asimismo, Velásquez (2022), afirma que: Una de las principales plantas con mayor capacidad de remoción es el *Zea mays* (maíz) que puede acumular hasta 76.22 mg/kg de plomo. A la par Grandez (2017), en su estudio demostró que la especie con mejores resultados para remoción de metales pesados del suelo contaminado fue el *Zea Mays*.

Por lo tanto, se puede afirmar que el maíz tiene una buena capacidad fitorremediadora, se demostró que si logra absorber los contaminantes del suelo. Ya que según Huaranga (2020), "Se pueden seleccionar a la especie "maíz", como organismo biorremediador de suelos contaminados por Pb, debido a su alto poder de bioconcentración de este metal", de mismo modo Cerrón afirma que "el maíz extrae mayor cantidad de plomo". En conjunto con lo anteriormente mencionado, Torrel (2020), al determinar la capacidad Bioacumuladora de plomo en las partes del maíz (hojas, tallo y coronta) encontró que esta es una solución muy efectiva ya que absorbe hasta 99,9% del metal y también una solución alternativa muy rentable ya que es un recurso abundante.

En conclusión, el *Zea Mays L.* resulto eficiente en la fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: Plomo y Cadmio. Por lo tanto, la fitorremediación con el maíz resulta una alternativa sostenible, ya que ayuda a reducir el gran problema de la contaminación del suelo por metales pesados (Plomo y Cadmio) ocasionados por la actividad humana. Se identificaron las metodologías utilizadas por diversos autores, todas reflejaron datos positivos en la fitorremediación con *Zea Mays*

L. pero la metodología con una mejor eficiencia fue la de Gama (2019), que demostró un mayor porcentaje de absorción.

La principal limitación, fue la falta de estudios previos en el área de investigación, para poder alcanzar con los objetivos, ya que es una parte fundamental para la investigación. Así mismo, la implementación del método de recolección de datos debido a que no contamos con una amplia experiencia en la recolección de datos. Por último, los resultados de esta investigación serán beneficiosos para futuras investigaciones que trate sobre nuestro tema de investigación, se espera que de aquí a futuro se tome en cuenta las consecuencias de la contaminación por metales pesados en los suelos.

REFERENCIAS

- Abad Troya, G. A. (2015). *Efecto de niveles de fertilización química y orgánica en híbridos comerciales de maíz (Zea mays L.) En la zona de Quevedo* [Tesis de Titulación, Universidad Técnica Estatal De Quevedo]. Repositorio de la Técnica Estatal De Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/1489>
- Álvarez Calvo, M. (2019). *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar*. [Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/55865/>
- Ávila González, D. A. (2017). *Fitoextracción de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos en la región de Atlixco, Puebla* [Tesis de Maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. Repositorio de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. <https://hdl.handle.net/20.500.12371/966>
- Bustamente Carrión, M. E. (2018). *Efecto de la aplicación de estiércol de lombriz en la disponibilidad de arsénico y cromo, en un cultivo de maíz del distrito de Orcotuna, Concepción-2016*. [Tesis de Titulación, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4650>
- Corpus Quiroz, M. Y. (2018). *Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016*. [Tesis de Grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3339>

- Cortez, D. N. (2019). *Técnicas de fitorremediación para solucionar la contaminación de suelos por actividad minera*. [Tesis de Bachiller, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <http://hdl.handle.net/11537/22045>
- Díaz Cartagena, W. J. (2020). *Factores que determinan el origen de la contaminación de suelos por arsénico en la comunidad de Llacuabamba, Pataz, mediante procedimientos secuenciales y alternos*. [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://hdl.handle.net/20.500.12672/11602>
- Díaz Ponce, M. A. y Plaza Alarcón, M. J. (2020). *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debido al cultivo de maíz (Zea mays) en la zona norte de la provincia de Los Ríos*. Quevedo: UTEQ. [Tesis de Licenciatura, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. Repositorio de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. <https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6164>
- Enriquez, A. S., y Cremona, M. V. (2018). *El rol de los suelos en la restauración ecológica*. Editorial de la Universidad Nacional del Comahue.
- Falcon Estrella, J. V. (2017). *FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELO CONTAMINADO CON Zea mays L. EN LA ESTACION EXPERIMENTAL EL MANTARO - JUNIN" EN EL AÑO 2016*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Del Centro Del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional Del Centro Del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/4611>
- FAO y GTIS. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico*. Roma, Italia
- Fidias A. (6ª Edición). (2012). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Editorial Episteme.

- Flores, H., Castillo, A., Santana, S., Jiménez, R. & Domínguez, P. (2017). Recomendaciones para la producción de grano y forraje de maíz bajo riego en Durango. *Instituto Nacional del Investigación Forestal, Agrícolas y Pecuarias*, (96), 7-13.
- Gama Retamozo, Y. O. (2019). LA FITORREMEDIACIÓN COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS CON DESMONTES DE CONSTRUCCIÓN – CAJABAMBA. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/348>
- García Vargas, D. (2006). *EFFECTOS FISIOLÓGICOS Y COMPARTIMENTACIÓN RADICULAR EN PLANTAS DE Zea mays L. EXPUESTAS A LA TOXICIDAD POR PLOMO*. [Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma De Barcelona]. Repositorio de la Universidad Autónoma De Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/3676>
- González Cifuentes, A. I. (2011). *Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en la región de Nazas Durango*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna]. Repositorio de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/handle/123456789/2710>
- González, M., Carrillo, R. y Sánchez, A. (2017). Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitoremediación de suelos. *Agro productividad*, 10(4),3-7. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/987/845>
- Grandez Argomeda, M. G. A. (2017). *Remoción de cadmio y plomo en suelos a orillas del Río Mantaro, Junín, mediante fitorremediación con girasol (Helianthus Annus) y maíz*

(*Zea Mays*) usando enmiendas. [Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo].

Repositorio de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3537>

Guacho Abarca, E. F. (2014). *Caracterización agro-morfológica del maíz (Zea mays L.) de la localidad San José de Chazo*. [Tesis de Bachiller, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3455>

Hernández Ramos, J. O. (2019). *Determinación de propiedades de suelos agrícolas a partir de mediciones eléctricas realizadas en campo y laboratorio*. [Tesis de Maestría, Instituto Potosino De Investigación Científica Y Tecnológica, A.C]. Repositorio del Instituto Potosino De Investigación Científica Y Tecnológica, A.C. <http://hdl.handle.net/11627/5080>

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la Investigación*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 5.

Hernández, R., y Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México DF: McGraw-Hill Interamericana. (4).

Huaranga Moreno, F., Méndez García, E., Bernui Paredes, F., Costilla Sánchez, N. y Huaranga Arévalo, F. (2022). Fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros por el "maíz" (*Zea mays L.*) y "beterraga" (*Beta vulgaris L.*). *Arnaldo*, 29(1). 99-118. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v29n1/2413-3299-arnal-29-01-99.pdf>

Jiménez Vélez, C. M. (2020). *ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL Helianthus annuus y Zea mays COMO ACUMULADORES DE (Cd, Pb) PARA LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS CONTAMINADOS*. [Tesis de Titulación, Universidad Agraria Del

Ecuador]. <https://docplayer.es/221776855-Universidad-agraria-del-ecuador-facultad-de-ciencias-agrarias-carrera-de-ingenieria-ambiental.html>

Julca Castañeda, J. J. (2022). *Capacidad fitorremediadora del maíz y el girasol en suelos contaminados del Botadero Municipal de Lucma*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://hdl.handle.net/11537/31486>

Londoño Franco, L. F., Londoño Muñoz, P. T., y Muñoz García, F. G. (2016). Los Riesgos De Los Metales Pesados En La Salud Humana Y Animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*.14(2), 145-153. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>

Marrero Coto, J., Amores Sánchez, I., y Coto Pérez, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 46(3), 52-61. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223124988007>

Mendarte Alquisira, C., Alarcón, A., y Ferrera Cerrato, R. (2021). Fitorremediación: Alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. Una revisión. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24, 1-15. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v24/1405-888X-tip-24-e326.pdf>

Ministerio del ambiente (MINAM). (2014). *GUÍA PARA MUESTREO DE SUELOS*. Perú. https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf

Munive Cerrón, R., Gamarra Sánchez, G., Munive Yachachi, Y., Puertas Ramos, F., Valdiviezo Gonzales, L., y 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.

<https://www.readcube.com/articles/10.17268%2Fsci.agropecu.2020.02.04>

Munive Cerrón, R., Loli Figueroa, O., Azabache Leyton, A., y 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.

<http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077->

[99172018000400011&script=sci_arttext&tlng=pt](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2077-99172018000400011&script=sci_arttext&tlng=pt)

Newman Dávila, G. (2006). El razonamiento inductivo y deductivo dentro del proceso investigativo en ciencias experimentales y sociales. *Laurus*, 12(Ext), 180-205.

<https://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>

Olmedo Lucerón, M. D. C. (2018). *Meta-análisis de datos individuales de las variables predictoras del riesgo de muerte en pacientes con insuficiencia hepática crónica agudizada tratados mediante diálisis de albúmina*. [Tesis de Doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio institucional de la UCM.

<https://eprints.ucm.es/id/eprint/50103/>

Orbegoso Vereau, F. J., y Sánchez Alcántara, M. A. (2020). *Técnicas de fitorremediación en el tratamiento de suelos contaminados por metales pesados*. [Tesis de Titulación, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/64115>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (4 de diciembre de 2014). *América Latina y el Caribe celebra el Año Internacional de los Suelos 2015*.

<https://www.fao.org/cuba/noticias/detail-events/en/c/271234/>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.).
Degradación del Suelo. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>.
- Poma Jimenez, A. A., y Quiñonez Rojas, C. E. (2022). *Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Zea mays l. en un suelo contaminado con cadmio.* Leonor Ordoñez, Jauja-2021. [Tesis de Titulación, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11108>
- Poma, P. A. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *Anales de la Facultad de Medicina. Revistas de investigación UNMSM*, 69(2), 120-126.
<https://doi.org/10.15381/anales.v69i2.1155>
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina. Revistas de investigación UNMSM*, 63(1), 51-64.
<https://doi.org/10.15381/anales.v63i1.147>
- Registro Estatal de Emisiones y Contaminantes, España. (s.f). *CD (CADMIO Y COMPUESTOS)*. <https://prtr-es.es/Cd-Cadmio-y-compuestos,15605,11,2007.html#:~:text=El%20cadmio%20es%20un%20elemento,m%20C3%A1s%20duro%20que%20el%20esta%20C3%B1o.>
- Registro Estatal de Emisiones y Contaminantes, España. (s.f). *PB (PLOMO Y COMPUESTOS)*. <https://prtr-es.es/Pb-Plomo-y-compuestos,15610,11,2007.html>
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M., y Gonzáles Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ingenieria_sogamoso/article/view/5447

- Rodríguez Eugenio, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta*. Roma, FAO.
- Sánchez Ortega, I., y Pérez Urria Carril, E. (2015). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca*, 15, 39.
https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=3boqcf8A AAAJ&citation_for_view=3boqcf8AAAAJ:hMsQuOkrut0C
- Sanchez Tarrillo, T. J. y Vilcas Guerrero, C. I. (2021). *Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (*Brachiaria brizantha*) y maíz (*Zea mays*)*. [Tesis de Titulación, Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad Peruana Unión.
<https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/5109>
- Torrel Sevilla, R. M. (2020). *Evaluación de la bioacumulación de plomo en tallo, hojas y coronta de Zea mays en muestras sintéticas*. [Tesis de Titulación, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte.
<https://hdl.handle.net/11537/24206>
- Torres Benites, E., Cortes Becerra, J., Mejía Sáenz, E., Exebio García, A., Santos Hernández, A. L., y Delgadillo Piñón, M. E. (2003). Evaluación de la degradación de los suelos en la cuenca "El Josefino", Jesús María, Jalisco. *Terra Latinoamericana*, 21(1), 117-126.
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57321114.pdf>
- Trujillo González, J. M., Mahecha Pulido, J. D., y Torres Mora, M. A. (2018). El recurso suelo; un análisis de las funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 9(2), 31-38.
<https://doi.org/10.22490/21456453.2095>
- Vargas García, L. J. (2019). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo en zonas mineras de Perú*. [Tesis de Bachiller, Universidad Científica Del Sur]. Repositorio de la Universidad Científica Del Sur. <https://hdl.handle.net/20.500.12805/1890>

Yllanes, P., Vélez Azañero, A., y Lozano, S. (2014). EFECTOS FITOTÓXICOS DEL PLOMO EN MAIZ HÍBRIDO DEKALB (ZEA MAYS L.) EN SUELO ARENOSO Y LIMOSO. *The Biologist*, 12(2). <https://doi.org/10.24039/rtb2014122374>

ANEXOS

ANEXO N°1.

Matriz de recopilación de información.

N°	Título	Autor	Año	Objetivo	Metodología	Resultados	Conclusiones
1	Fitorremediación con Maíz (<i>Zea mays L.</i>) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados	Munive Cerrón, R., Loli Figueroa, O., Azabache Leyton, A., y Gamarra Sánchez,	2018	Evaluar el efecto de la aplicación de compost y vermicompost a base de Stevia sobre los metales pesados en suelos agrícolas del valle del Mantaro con la aplicación de la técnica de fitorremediación, utilizando el maíz.	<p>Este trabajo fue de diseño experimental.</p> <p>-Suelos agrícolas contaminados al usarse agua del río Mantaro para riego.</p> <p>- Muestras al azar con 3 repeticiones por cada localidad y con 3 Tratamientos (T1: Compost de Stevia, T2: Vermicompost de Stevia y T3: Químico).</p> <p>-Se utilizó 5 semillas de maíz para la fitorremediación (absorción).</p> <p>-Se realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina (ex sito).</p> <p>-Se apoyó utilizando compost de Stevia (20g por cada kg de suelo).</p>	Indican que los suelos de la localidad de Muqui, contienen la mayor cantidad de Pb y Cd, presentando efectos, además, de un desarrollo más lento. La planta de maíz absorbe los metales pesados del suelo como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz de ésta, confirmando que la aplicación de las enmiendas orgánicas contribuye a solubilizar el Pb y Cd del suelo.	Las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción, el vermicompost contribuye al crecimiento, peso de hojas, tallos y peso de raíces, en ambas localidades, en las raíces se presentan los mayores valores de extracción de plomo y cadmio, el maíz extrae mayor cantidad de plomo cuando el suelo presenta mayor contenido en el suelo, asimismo extraen mayor cantidad de cadmio cuando el suelo presenta menor contenido.

					-Las concentraciones de los metales pesados se determinó a los 90 días de experimento.		
2	Fitoextracción de Pb, As y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por relaves mineros	Félix Huaranga Moreno, Eduardo Méndez García, Feliciano Bernui Paredes, Noé Costilla Sánchez, y Félix Huaranga Arévalo	2020	Cuantificar la concentración de los metales pesados plomo, arsénico y cadmio absorbidos por la raíz, tallo y hojas del "maíz" (Zea mays L.) y "beterraga" (Beta vulgaris L.) partir de suelos agrícolas contaminados por 1359,60 mg/kg de plomo, 6,10 mg/kg de arsénico y 28,80 mg/ kg de Cadmio a los 65, 95 y 125 días de crecimiento vegetativo.	<p>En este trabajo se utilizó la metodología de la espectrofotometría de absorción atómica Perkin Elmer Pin Acle 900F, siguiendo el protocolo de la norma EPA 2003 guía para la preparación estándar y procedimientos de operación para análisis de aguas, suelos y material vegetal.</p> <p>-Suelo contaminado por relaves mineros (Zona Samne).</p> <p>- Muestras de suelos agrícolas contaminados por plomo, arsénico y cadmio, aplicadas a las plantas recién germinadas.</p> <p>-Se utilizó 3 semillas de maíz y 3 semillas de beterraga para la fitorremediación (extracción).</p> <p>-Se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo (ex sito).</p> <p>-Las concentraciones de los metales pesados se determinó a los 65, 95 y 125 días de experimento.</p>	<p>El contenido máximo determinado de plomo en el maíz fue de 371,66 mg/kg (27,33% de absorción, los que fueron obtenidos a los 95 días de experimentación y a nivel del órgano raíz.</p> <p>para el caso del Cadmio, en el material de suelo de experimentación se determinó una concentración de 28,80 mg/ kg de este metal; encontrándose al final de la etapa de experimentación que el contenido máximo de Cadmio en el "maíz" fue de 14,82 mg/kg (51,46% de absorción)</p>	<p>El valor promedio máximo de concentración de plomo, arsénico y cadmio para el "maíz" (Zea mayz L.) fue de 371,66 mg/kg, 1,94 mg/kg y 14,82 mg/kg.</p> <p>Se pueden seleccionar a las especies "maíz" y "beterraga", como organismos biorremediadores de suelos contaminados por Pb, debido a su alto poder de bioconcentración de este metal a nivel de raíz.</p>
3	Capacidad fitorremediadora del maíz y el	Jhack Jhelsin Julca Castañeda	2022	Determinar el efecto de la capacidad fitorremediadora del	En este trabajo su diseño metodológico es no	Como resultados se obtuvo que: estadísticamente si existe remoción	En conclusión, el maíz y el girasol son agentes fitorremediadores

	girasol en suelos contaminados del botadero municipal de Lucma			maíz y girasol en suelos contaminados con metales pesados (plomo, arsénico, mercurio, cadmio) en el botadero municipal de Lucma	<p>experimental, transversal - descriptiva que consiste en obtener información de la concentración de metales antes y después de aplicar la fitorremediación</p> <p>-Suelo contaminado del botadero del Distrito de Lucma.</p> <p>- La muestra se recolecto en base a la GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS, se identificaron tres estratos (bajo, medio y alto).</p> <p>-Se utilizó semillas de maíz y de girasol para la fitorremediación.</p> <p>-Se realizó en la Universidad Nacional de Trujillo (ex sito).</p> <p>-Las concentraciones de los metales pesados se determinó a los 60 días de experimento.</p>	significativa de estos metales habiendo aplicado la fitorremediación, asimismo se obtuvieron los porcentajes de remoción para el Plomo son de 41.51%, 43.47% y 44.44% y para el Cadmio son de 76.41%, 61.62% y 64.66%, en los estratos bajo, medio y alto respectivamente	eficaces, ya que remueven significativamente los metales pesados del suelo.
4	Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Zea mays l. en un suelo contaminado con cadmio. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021	Anderson Anibal Poma Jimenez Ciro Elias Quiñonez Rojas,	2022	Determinar el efecto de la aplicación de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Zea mays L. en un suelo contaminado con cadmio de Leonor Ordoñez, Jauja 2021.	<p>El método general de este trabajo es científico por seguir un procedimiento, su método específico es inductivo experimental.</p> <p>Y su tipo de investigación es aplicada, debido a que utiliza la investigación teórica.</p>	Los resultados mostraron que la aplicación de enmiendas orgánicas incrementó la concentración de cadmio total en el Zea mays L. en el rango de 6.94 mg/kg a 13.79 mg/kg	El compost y el vermicompost influyen en el incremento del factor de bioacumulación y de traslocación del cadmio en el Zea mays L

					<ul style="list-style-type: none"> -Suelo agrícola del distrito de Leonor Ordoñez, regadas por aguas del río Mantaro. - La muestra se recolecto al azar. -Se utilizó 7 semillas de maíz para la fitorremediación. -Se realizó en la Universidad Nacional Agraria la Molina (ex sito). -Los resultados se determinó a los 60 días de experimento. -Se apoyó utilizando compost de Stevia. 		
5	Remoción de plomo en suelos utilizando brizanta (Brachiaria brizantha) y maíz (Zea mays)	Yeffry Jhair Sanchez Tarrillo Carmen Isabel Vilcas Guerrero	2021	<p>Determinar el potencial de remoción de plomo de suelos contaminados utilizando la técnica de fitorremediación con dos especies: Brizanta (Brachiaria brizantha) y maíz (Zea mays)</p>	<p>Este trabajo es experimental, de diseño completamente al azar.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Suelo artificial (Bosque húmedo premontano tropical) contaminado por plomo. - La muestra se recolecto al azar. -Se utilizó semillas de maíz para la fitorremediación. -Se realizó en la Universidad Peruana Unión- Filial Tarapoto (ex sito). -La concentración de plomo se determinó a los 4 meses de experimento 	<p>En las unidades experimentales del T0 (Testigo) bajo condiciones ambientales normales, en el suelo se redujo a 481.17 mg/Kg la concentración de plomo, debido a las lluvias y el proceso de infiltración en los suelos. Con respecto al T1(brizanta), tratamiento que obtuvo mejores resultados, en el T2(maíz) se obtuvieron concentraciones de 381.92 mg/kg de plomo en el suelo, demostrando que no existe diferencia significativa con respecto</p>	<p>Se concluye lo siguiente: el T1 obtuvo los mejores resultados en el proceso de fitorremediación, pues existe diferencia significativa ($p>0.05$) con respecto al T0, obteniendo un 43.7 % de eficiencia de remoción; en cambio el T2, no mostró diferencias significativas ($p>0.05$) en comparación al T0(testigo), pero obtuvo un 20,6 % de eficiencia de remoción de plomo en el tratamiento.</p>

						al T0, pero se observa una clara tendencia a remover concentraciones de plomo en el suelo, teniendo un 20.6 % (99.25 mg/Kg) de eficiencia de remoción de plomo.	
6	LA FITORREMEDIACIÓN COMO ALTERNATIVA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS AFECTADOS CON DESMONTES DE CONSTRUCCIÓN – CAJABAMBA	YOEL OSWALDO GAMA RETAMOZO	2019	Determinar el porcentaje de disminución de concentraciones de metales pesados como como plomo (Pb) Cadmio (Cd) y Cromo (Cr) y que a través de la fitorremediación usando especies como maíz (Zea mays L.), taya (Tara spinosa Kuntze) y la asociación de trébol rojo (Trifolium pratense L.) y rye grass (Lolium multiflorum Lam.) se puede recuperar los suelos utilizados como desmontera por parte de los habitantes de la ciudad de Cajabamba.	<p>. Este trabajo fue cuasiexperimental de diseño estadístico descriptivo-longitudinal.</p> <p>-Suelo contaminado por materiales de construcción.</p> <p>- La muestra de suelo fue inicial y después del tratamiento.</p> <p>-Se utilizó semillas de maíz para la fitorremediación.</p> <p>-Se realizó en la propiedad del señor Jhon Custodio, Cajabamba (in situ).</p> <p>-Las concentraciones de los metales pesados se determinó a los 5 meses de experimento.</p>	<p>Para plomo se obtuvo mejores resultados con maíz (Zea mays L.) y la asociación de rye grass (Lolium multiflorum Lam) y trébol rojo (Trifolium pratense L.) que lograron remover el 80%, seguido de taya (Tara spinosa Kuntze) con un 60%. b) Para cadmio se obtuvo mejores resultados con la especie de taya (Tara spinosa Kuntze) con un 99%, seguido de maíz (Zea mays L.) y la asociación de rye grass (Lolium multiflorum Lam) y trébol rojo (Trifolium pratense L.) que lograron remover un 80%.</p>	El efecto es positivo puesto que se logró disminuir la cantidad de concentración de metales pesados en el suelo, con los cultivos de maíz (Zea mays L.), taya (Tara spinosa Kuntze) y la asociación de trébol rojo (Trifolium pratense L.) y rye grass (Lolium multiflorum Lam).