



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* para la
Absorción de Metales Pesados en Suelos Mineros, 2022:
Revisión Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Dominguez Lopez, Rosmery Haydee (ORCID: 0000-0002-4094-8723)
Paiva Peña, Gaudy Anabel (ORCID: 0000-0002-2363-2321)

ASESOR:

Mg. Grijalva Aroni, Percy Luis (ORCID: 0000-0002-2622-784X)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios por habernos dado la fortaleza para continuar cumpliendo los anhelos de nuestro corazón y por las fuerzas que nos da cada día para seguir luchando.

A nuestros padres por su apoyo constante, expresamos admiración, respeto y cariño.

Agradecimiento

Agradecemos al Mg. Percy Luis Grijalva Aroni, por su amabilidad, paciencia y oportunidad brindada en el desarrollo de esta investigación.

También, hacemos extenso nuestro agradecimiento a la Universidad Cesar Vallejo, por darnos la oportunidad de seguir desarrollando nuestro perfil profesional.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Índice de Abreviaturas	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III.METODOLOGÍA.....	13
31. Tipo y diseño de investigación	13
32. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	13
33. Escenario de estudio	13
34. Participantes.....	14
35. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	14
36. Procedimiento.....	15
37. Rigor científico.....	16
38. Método de análisis de datos	16
39. Aspectos éticos	16
IV.RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
V.CONCLUSIONES	28
VI.RECOMENDACIONES	29
REFERENCIAS	30
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1: Procesos de acción de la <i>Sesuvium Portulacastrum</i> en suelos mineros.....	17
Tabla 2: Eficiencia de remoción de metales pesados.....	22
Tabla 3: Efectos de la <i>Sesuvium Portulacastrum</i> por acumulación del metal.	25

Índice de figuras

Figura 1: Mecanismos de eliminación de metales pesados.....	9
Figura 2: Medios de contención de metales pesados	10
Figura 3: Planta <i>Sesuvium Portulacastrum</i>	12
Figura 4: Diagrama de flujo de elección de los artículos.....	15
Figura 5: Remoción de cadmio y cobre por <i>Atriplex halimus</i>	19
Figura 6: Efectividad de remoción por <i>A. vulgaris</i> , <i>S. holostea</i> , <i>G. mollugo</i>	20
Figura 7: Eficiencia de remoción de <i>Sesuvium Portulacastrum</i> sobre metales pesados .	24
Figura 8: Eficiencia de remoción de <i>Zea mays L</i> sobre Plomo y Cadmio.	24

Índice de Abreviaturas

Pb: Plomo.

Cu: Cobre.

MDA: Malondialdehido.

SOD: Superoxido dismutasa.

LMP: Limites Máximo permisible

Ni: Níquel

Cl: Cloro

Zn: Zinc

AAS: Espectrometría de absorción atómica

ECA: Estándares de calidad ambiental

Resumen

La problemática de la contaminación ambiental debido a la actividad minera a nivel mundial es muy frecuente, por ello la presente investigación titulada "Fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* para la Absorción de Metales Pesados en Suelos Mineros", tiene como objetivo general determinar el grado de absorción de metales pesados en suelos mineros mediante la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum*. El tipo de diseño de investigación fue narrativo tópico y la metodología se basó en la técnica de recolección de información utilizado análisis documental en las interpretaciones de artículos y revistas indexadas no menor de 5 años que abarcó entre el año 2018 y 2022, se tuvo en cuenta los objetivos, categorías y subcategorías enfocados a la fitorremediación de los suelos mineros, contribuyendo en la reducción del grado de toxicidad por los metales pesados que se encuentran presentes y afectan drásticamente la biodiversidad de especies que habitan en el lugar. Se concluyó que la eficiencia del grado de remoción por fitorremediación de la especie *sesuvium portolacastrum* sobre los metales pesados fue que en sus raíces tuvo la facilidad de absorber el 82% de metales pesados, asimismo en los tallos y hojas acumuló el 68% de metales pesados presentes en suelos mineros.

Palabras clave: Fitorremediación, *Sesuvium Portulacastrum*, absorción de metales pesados, suelos mineros.

Abstract

The problem of environmental contamination due to mining activity worldwide is very frequent as days go by, which is why our research entitled "Phytoremediation with Sesuvium Portulacastrum for the absorption of heavy metals in mining soils". The general objective Determine the degree of absorption of heavy metals in mining soils through Phytoremediation with Sesuvium Portulacastrum. The type of research design was topical narrative and the methodology was based on the information collection technique used documentary analysis in the interpretations of articles and journals indexed for no less than 5 years that span between 2018 and 2022, it was taken into account the objectives, categories and subcategories focused on the Phytoremediation of mining soils, contributing to the reduction of the degree of toxicity due to heavy metals that are present and drastically affect the biodiversity of species that inhabit the place. It was concluded that the efficiency of the degree of removal by Phytoremediation of the sesuvium portolacastrum species on heavy metals was that in its roots it had the facility to absorb 82% of heavy metals, also in the stems and leaves it accumulated 68% of heavy metals. Present in mining soils.

Key words: Phytoremediation, Sesuvium Portulacastrum, heavy metal absorption, mining soils.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental se remonta hace más de 200 años desde antes de la Revolución industrial, ha venido afectando a nuestro planeta, degradando los recursos naturales debido a la gran variedad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, presentes en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, provenientes de diversas actividades antrópicas y poca de forma natural, ocasionando así la pérdida de especies en flora y fauna perteneciente a un determinado ecosistema, desertificación, sequías, incendios forestales, pérdida de nutrientes en el suelo, acidez o salinidad del suelo, así como enfermedades al ser humano (Mena, 2019, p.45).

Las actividades de minería son causas de la contaminación ambiental por ser una de las industrias que requiere de una gran cantidad de agentes químicos para su producción; lo cual se origina debido a los metales pesados, que en general este sistema de tratamiento de residuos peligrosos es inadecuado por lo que como resultado se obtendrá un impacto negativo en el suelo (Aziz, 2022, p.56).

En el Perú se implementan diversos proyectos mineros que, si bien ayudan a la economía del país, también provocan una ausencia inicial de vegetación o la pérdida de su productividad, la disminución de la biodiversidad e indirectamente la contaminación del aire, y aguas superficiales y subterráneas, además de impactos significativos en el ser humano afectado el sistema inmunológico por ser compuestos muy tóxicos (Antoniadis, 2021, p.14-22). Es de conocimiento para muchas personas que estos lugares afectados requerirán de un adecuado tratamiento, que el lugar afectado sea tomado en cuenta aplicando un tratamiento que no requiera de mucho presupuesto, sobre todo que sea de una manera eficaz y sostenible aprovechando los recursos naturales (Ambrosio y Quiroz, 2021, p.45-56).

La fitorremediación, es una de las tantas alternativas para reducir los efectos causados por metales pesados, tiene la función de depurar los contaminantes presentes en el suelo usando plantas y microorganismos, (Loayza, 2018, p.23) es una técnica muy rentable, ya que utiliza cierto tipo de plantas, que servirán para acumular metales en sus tallos, hojas y raíces con la finalidad de recuperar suelo contaminado. Por otro lado, la fitorremediación, es una de las tecnologías que desarrollaron científicos, si bien es cierto, esta tecnología tiene como desventaja el tiempo y la observación de los

resultados; sin embargo, esta no presenta una alteración en el medio local, lo cual permite aplicarlo como tratamiento in-situ (Huiza, 2019, p.12-38).

Por lo tanto, la fitorremediación viene a ser una enmienda para tratar suelos afectados con metales; es así que la población se beneficiará ya que mantendrá fértiles y beneficiosas las tierras afectadas por la minería, así mismo la buena agricultura también devuelve la vegetación de este lugar a su estado natural (Feng, 2018, p.16).

En muchas oportunidades algunas investigaciones mostraron y determinaron que la fitorremediación es una excelente alternativa para tratar suelos contaminados con metales pesados, pero, al igual que cualquier método tiene algunas restricciones. Los metales pesados por lo general se encuentran como minerales, sales u otros compuestos como elementos naturales que componen la superficie terrestre. Los metales no pueden degradarse ni destruirse fácilmente de manera natural o biológica, volviéndose así un serio problema para el ambiente y para todo ser vivo que entre en contacto con este (Zaier, 2019, p.31). El mercurio, cadmio, arsénico y plomo, pertenecen al grupo de los metales pesados, alguno de estos se encuentra libres o de forma natural en el ambiente (Arthur et al., 2018, p.21).

La justificación social, se enfocará en demostrar el impacto ambiental generado por la actividad minera, en muchos casos informal, la que afecta drásticamente al suelo, y que al mismo tiempo afecta nocivamente la salud; es así que utilizando la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* se minimiza dicha problemática, ya que es un tratamiento muy económico y ecoamigable con el ambiente.

De otro lado la justificación económica radica en que la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* para la absorción de los metales, es una alternativa económica y sostenible en el tiempo, mediante el uso de especies naturales beneficiosas.

Justificación metodológica, Se basa en recopilar información de bases de datos como Scopus, Sciencedirect y Ebsco. Como encuesta cualitativa, se realizó una búsqueda de información literaria existente en publicaciones de artículos indexados por diversos autores, lo cual es importante para profundizar aún más en el conocimiento del procesamiento en planta por *Sesuvium Portulacastrum* para la absorción de metales pesados en suelos mineros y así reducir el impacto en suelo por estos contaminantes que ponen en riesgo la fertilidad para uso agrícola.

En cuanto a la justificación ambiental, se basa principalmente en uso de plantas naturales para remover metales pesados que impactan drásticamente al suelo, ya que todo esto se da por las actividades mineras la cual es una fuente económica de nuestro país en desarrollo, por ello el uso de fitorremediación es muy eficaz y económico para salvaguardar el cuidado del suelo.

Por consiguiente, se formula el problema general: ¿Cuál es el grado de absorción de metales pesados en suelos mineros mediante la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum*? Seguido de los problemas específicos: ¿Cómo es la aplicación del *Sesuvium Portulacastrum* para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados?; ¿Cuáles son los tipos de metales pesados que serán removidos mediante la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum*? y ¿Cuáles son los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a *Sesuvium Portulacastrum*?

Seguidamente se formula el objetivo general: Determinar el grado de absorción de metales pesados en suelos mineros mediante la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum*. Los objetivos específicos: Conocer los procedimientos de aplicación del *Sesuvium Portulacastrum* para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados; Determinar los tipos de metales pesados que serán removidos mediante la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum*; Determinar los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a *Sesuvium Portulacastrum*.

II. MARCO TEÓRICO

Florencio et al. (2021), evaluó el potencial de extracción de plomo (Pb) y cobre (Cu) en tres cultivos de la región norte de Sinaloa: *Anemopsis californica*, *Moringa oleifera* y *Junquillo* (*Schoenoplectus Tabernaemontani*). Se usó una solución de plomo y cobre en el suelo en el que se cultivó cada variedad de prueba. En las instalaciones se adicionaron diariamente durante 70 días 100 ml de soluciones de nitrato de plomo y nitrato de cobre a una concentración de 2000 ppm en el suelo. Se logró encontrar que, entre las plantas analizadas, *Junquillo* tenía la mayor concentración de Cu (coeficiente acumulativo 192,12) y *Moringa* tenía la mayor concentración de Pb (coeficiente acumulativo 45,77). Se concluyó que la extracción de plomo y cobre fueron removidas con las plantas usadas.

Lokhande et al. (2020), evaluó las respuestas bioquímicas y fisiológicas de las plantas de *Sesuvium* a la exposición de cobre (Cu) (100–500 μM) durante 30 días en condiciones de campo. Logró determinar que las plantas demostraron una acumulación significativa de cobre que cambió con el aumento de la concentración de Cu del medio (máximo 254 $\mu\text{g g}^{-1}$ DW a 500 μM). Concluyeron que, las plantas son fitoextractores potenciales de Cu, pero sufren los efectos tóxicos del Cu a una concentración alta de 500 μM . Por lo tanto, las plantas de *Sesuvium* son adecuadas para uso en fitorremediación a bajas concentraciones de Cu (100 - 250 μM).

Alsherif et al., (2022), evaluó la tolerancia a metales pesados de *Sesuvium portulacastrum* L. Habitando suelos contaminados en Jeddah, Arabia Saudita, usó como método la introducción de plantas para el oxidativo y mecanismos de tolerancia al estrés por absorción de metales pesados en suelos mineros. Logró que la planta *Sesuvium portulacastrum* L. fuera elegida por su alta densidad relativa y máxima frecuencia (100%) en las áreas más contaminadas en absorción de contaminantes como metales pesados, Cu en un 76%, Ni en un 81% y As en un 48% respectivamente. Se concluyó que cuando se introdujo *Sesuvium portulacastrum* L. para reducir la contaminación del suelo, fue muy eficaz haciendo que el recurso suelo esté disponible para la producción agrícola.

Feng et al (2018), evaluó la tolerancia y bioacumulación de metales pesados. Usaron como método una mezcla de cobre, zinc y cadmio durante 60 días, con una concentración de cada metal que oscilaba entre 0 y 20 mg/L. Logró determinar que la altura de *S. portulacastrum* disminuyó significativamente al aumentar las

concentraciones de metales pesados de 1 a 20 mg/L. La biomasa se viò afectada cuando la concentración superó los 5 mg/L. No hubo diferencias significativas en la concentración de malondialdehído (MDA) entre los diferentes grupos de tratamiento, mientras que el contenido de proteína soluble y la actividad de superóxido dismutasa (SOD) disminuyeron al aumentar la concentración de metales pesados.

Fourati et al. (2019), evaluó acumulación de elementos minerales en *Sesuvium portulacastrum* L. sometido in vitro a níquel. Usó plántulas obtenidas por micropropagación in vitro, fueron expuestas a 0, 25 y 50 μM de Ni, como NiCl_2 , en medio a base de agar durante 30 días. Se logró que la planta *Sesuvium portulacastrum* L. expuesta a 50 μM de Ni acumularon hasta 650 $\mu\text{g g}^{-1}$ de Ni en los brotes, malondialdehído (MDA) presentando clorosis y necrosis y un crecimiento vegetal drásticamente reducido. Se concluyó que las perturbaciones de nutrientes minerales inducidas por Ni podrían estar altamente implicadas en la restricción del desarrollo de *S. portulacastrum* bajo el nivel agudo de 50 μM de Ni.

Ayyappan et al. (2018), evaluó las fuentes para la remediación de metales pesados y sales de efluentes de curtiduría usando la halófito de marisma salina *Sesuvium portulacastrum*. De los resultados observados, en el suelo tratado con efluentes de tenería a partir de 1kg de peso seco de muestra vegetal, *Sesuvium portulacastrum* acumuló 22,10 mg Cd, 49,82 mg Cr, 70,10 mg Zn y 35,10 mg Cu a partir de 1g de peso seco de muestra vegetal, 246,21 mg Na Cl. Concluyeron que, *Sesuvium portulacastrum* fue eficiente en la acumulación de estos metales como cromo, cadmio, cobre, zinc, cloruro y sodio al máximo, a través de sus hojas en comparación con el tallo y la raíz. El hallazgo de estos estudios de bioacumulación indica que *Sesuvium portulacastrum* podría usarse en la fitorremediación de campo contaminado con efluentes de curtiduría.

Zaier et al. (2019), evaluó el potencial de fitoextracción de Pb de la halófito *Sesuvium portulacastrum* en comparación con *Brassica juncea* comúnmente utilizada en la fitoextracción de Pb. Usaron como método, las plántulas de ambas especies, se expusieron en solución nutritiva a 0, 200, 400, 800 y 1000 μM de Pb^{2+} durante 21 días. El plomo inhibió fuertemente el crecimiento en *B. juncea* pero no tuvo impacto en *Sesuvium portulacastrum*. Concluyeron que, estos resultados sugieren que *S. portulacastrum* es más eficiente para extraer Pb^{2+} que *B. juncea*.

Gil. (2020), evaluó la fitorremediación de metales pesados y pH en relaves mineros con *Sesuvium Portulacastrum*. Usó como método las muestras de las soluciones creadas y a estudiar, los cuales fueron sometidos a análisis de los parámetros físico-químicos.

Los parámetros que se evaluaron fueron, turbidez (UNT), el pH, oxígeno disuelto (mg/L), conductividad eléctrica (uS/cm) y AAS o espectroscopia de adsorción atómica (mg/L). Obtuvo los diferentes parámetros y hubo ciertas variaciones con respecto al Ph, al OD, etc. Uno de los hallazgos fue que la concentración de contaminantes de metales pesados en el agua, excluyendo el plomo, disminuyó de la concentración inicial de 4 ppm con el tiempo. La concentración de metales pesados continúa en el día de máxima caída, se encontraban por debajo de los Límites Máximos Permisibles.

Vásquez. (2018), evaluó la efectividad de la fitorremediación utilizando *Sesuvium portulacastrum* "verdolaga de playa" para reducir la salinidad del suelo en San Juan La Punta, Tumán. Sembró una planta halófila denominada *Sesuvium portulacastrum* para disminuir la salinidad en suelo mS/cm, con un buen porcentaje y así recuperar otras especies, además evaluaron 5 muestras de suelo de toda el área que es 50m², las muestras que tuvieron la facilidad de ser escogidas. Los datos adquiridos de las cinco muestras de suelo fueron expuestos estadísticamente. Las conclusiones y recomendaciones pueden servir como referencia de nuevas investigaciones en diferentes áreas de estudio.

Chinchay y Chamorro. (2020), realizaron una revisión sistemática sobre la efectividad fitorremediadora de la planta nativa *Zea mays. L* para suelos afectados por metales pesados en actividades mineras. Analizaron la efectividad de la planta del maíz para retirar Pb y Cd, una vez que la planta había crecido por completo, se evaluó la capacidad de la planta para procesar la planta en los maseteros y, después del análisis de laboratorio, la planta eliminó el plomo de manera más eficiente. Llegaron a la conclusión de que las plantas eran muy útiles para eliminar la tierra contaminada con plomo.

Ambrosio y Quiroz. (2020), evaluó el uso de la fitorremediación como una técnica menos influyente para el uso de macrófitas hiperacumuladoras en el tratamiento de aguas contaminadas con mercurio. El sistema experimental consistió en un matraz de vidrio con sistema de flujo continuo para facilitar el movimiento del agua, se introdujo 0,1 mg/L de agua contaminada con mercurio, y se utilizó *Eichhornia crassipes* para la higiene. Sus resultados mostraron una capacidad de fitorremediación de más del 90%

de Hg (II) durante 15 días a 0,1 mg/L con movimiento de agua controlado. Se concluyó que no hubo diferencia estadísticamente significativa en la fitorremediación con diferentes métodos de aplicación, con un valor de probabilidad asociado de 0,48 y una probabilidad en función del tiempo. El valor es $p = 0.262$.

Mena y Eyzaguirre. (2019), evaluaron la efectividad del jacinto de agua (Mart Solms), que absorbe el mercurio de la minería manual. La población consistió en 150 emplazamientos, se seleccionaron muestras de 33 unidades de planta y se recolectaron aguas residuales de minas contaminadas con Hg (12,5 L) en dos puntos de recolección. Se puede demostrar que la mayor parte del Hg se elimina en 10 días, con un promedio del 77 % y un promedio del 52 % en 20 días. Se concluyó que la eficiencia de remoción de mercurio del jacinto de agua (Mart Solms) es de 64,5%, lo cual es muy importante en el pretratamiento de grandes cantidades de agua.

Zapata. (2019), realizó la medición del contenido de metales pesados en la vegetación cercana a la mina Turmalina en el distrito de Canchaque (Piura, Perú). Se adoptó la descomposición húmeda y la medición por espectrometría de absorción atómica (EAA) utilizando los recursos disponibles del Laboratorio de Química de la Universidad de Piura. Tiempo de descomposición de 120 minutos como resultado de la descomposición de materiales vegetales (hojas y raíces) en una proporción de ácido nítrico a ácido perclórico (4:1). Concluye que este estudio confirma que la vegetación endémica utilizada para absorber metales es una excelente propuesta ecológica para reparar suelos contaminados por la industria minera.

Nima. (2020), evaluó las concentraciones de metales pesados tales como el arsénico, cianuro WAD y mercurio en las aguas de la región del río Quiroz. Utilizaron análisis de absorción atómica (AAAnalist 300, generador de hidruro MHS portátil Perkin Elmer), espectrometría molecular (UV/Vis 8452 A de Hewlet Packard), espectrometría de absorción de llama, vapor frío y emisión atómica ICP-OES. Se conoció el promedio para agua superior a ECA-3: en la finca de Badén a Pampa Larga, la concentración de cromo fue de 1326 mg/l, no era apta para regar hortalizas. En Quebrada Alvarado, la concentración de plomo fue de 0,091 mg/l, superando el nivel máximo permitido de ECA-3 (0,05 mg/l). La concentración de arsénico fue muy baja y llega a 0,0077 mg/l. Buscó identificar las zonas más importantes y vulnerables, donde se encuentran la mayoría de los campamentos mineros, donde las aguas residuales mineras se descargan directamente a los arroyos sin tratamiento.

La fitorremediación se entiende como una biotecnología que usa plantas naturales y genéticamente modificadas para disminuir la contaminación. La cual es muy diferente de los tratamientos físicos y químicos, la fitorremediación generalmente mejora la calidad físico-química y biológica, siendo esto una alternativa respetuosa al ambiente y de muy bajo costo. (Huiza, 2019).

Los modelos de aplicación son métodos tradicionales para el tratamiento de suelos contaminados con sustancias nocivas, incluidos métodos fisicoquímicos y técnicos como la perforación, el tratamiento y la gestión de residuos, la desorción térmica, la limpieza de suelos y el tratamiento biológico. El segundo es la adición de fosfatos, cal y agentes quelantes. El método biológico utiliza microorganismos y plantas, pero resulta más económico que otros métodos. (Huiza, 2019)

La rizofiltración es una técnica que utiliza plantas con raíces que puedan absorber contaminantes del medio ambiente acuático y otros desechos líquidos. Las plantas terrestres seleccionadas tienen una alta tasa de crecimiento y se ubican en la zona exterior donde pueden absorber, sedimentar y concentrar contaminantes. (Vásquez, 2018).

La fitoestabilización incluye la fijación de metales pesados en el suelo, que son absorbidos por las plantas a través de las raíces, excretados y depositados por las plantas, reduciendo los suelos enraizados y asentados, disminuyendo la contaminación del medio ambiente circundante e interrumpiendo el secuestro de estos contaminantes minerales. (Huiza, 2019).

La fitoinmovilización consiste en hacer el uso de plantas para detener los contaminantes presentes en el suelo (Vásquez, 2018).

La fitodegradación utiliza microorganismos relacionados con las plantas para descomponer los contaminantes orgánicos en moléculas más simples. Las plantas a veces ayudan a promover el crecimiento de tal manera que los contaminantes se biotransforman. (Vásquez, 2018).

La fitoextracción, conocida también como fitoacumulación, fitoabsorción o fitosequestración, aquí las plantas pueden acumular metales pesados y tratar de recolectar contaminantes del suelo a un ritmo mayor que el suelo mismo. (Huiza, 2019).

La fitovolatilización conocido también como fitoevaporación, absorbe los

contaminantes del suelo, utilizando las raíces de las plantas, convirtiéndolo en forma volátil y finalmente son eliminados por transpiración (Huiza, 2019).

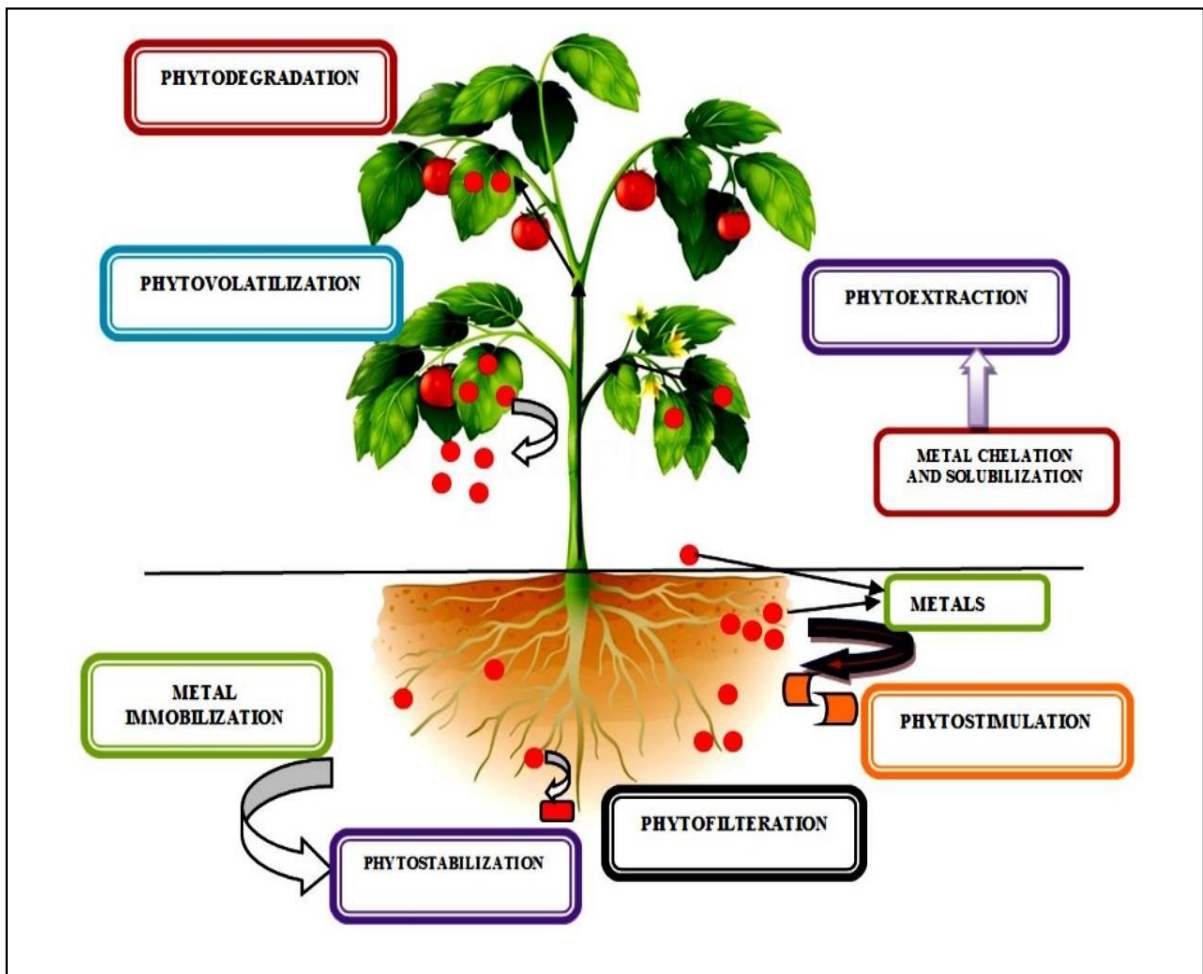


Figura 1: Mecanismos de eliminación de metales pesados.
Fuente: Mousavi et al., 2020.

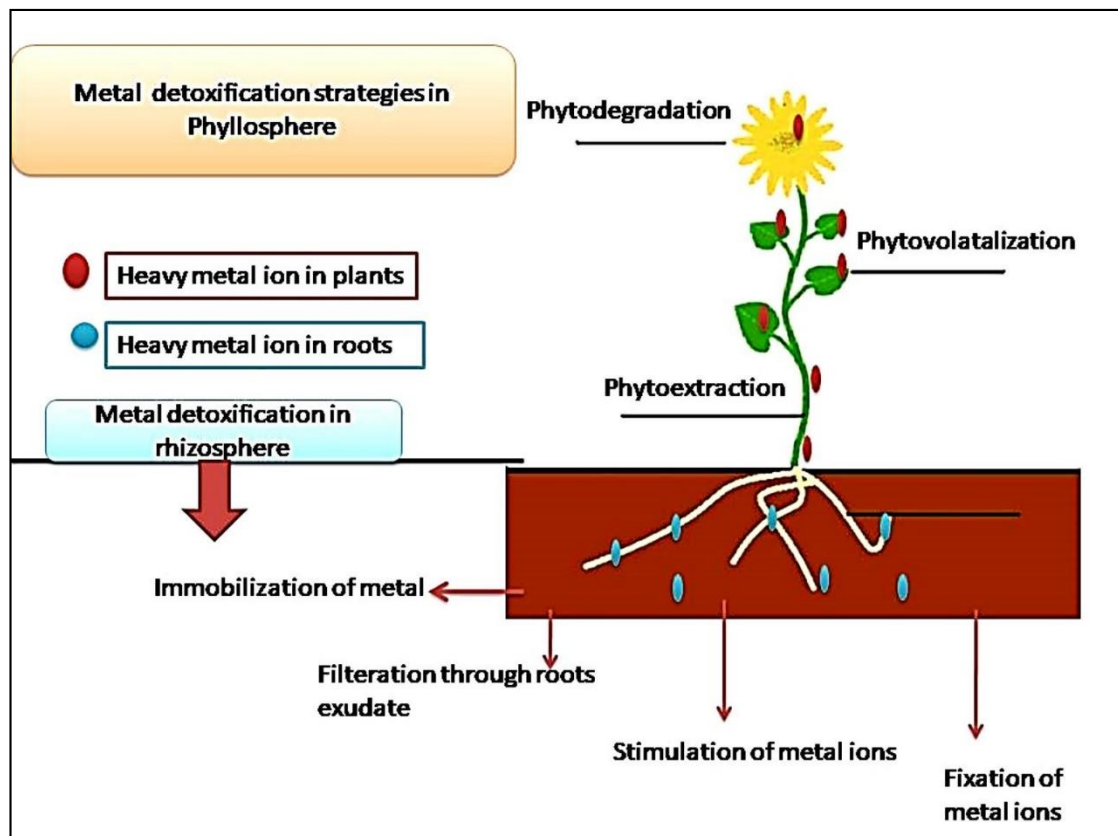


Figura 2: Medios de contención de metales pesados
Fuente: Mousavi et al., 2020.

Los tejidos de las plantas, así como sus raíces son utilizados para absorber contaminantes en el suelo, incluyen diferentes tejidos, dependiendo de las funciones que realizan: tejido de crecimiento (meristema), capa protectora (epidermis y corteza), tejido basal (parénquima), tejido de sostén (parénquima y esclerenquima) y tráquea (floema y xilema) (Li et al, 2019).

Los factores de bioconcentración es la relación de acumular los contaminantes que están situados en la tierra y el cuerpo de la planta. El valor del FBC mayores a 1 indican que la planta tiene la capacidad de bioacumular el metal o los metaloides en la biomasa de la planta (Zaier et al, 2019).

Los metales pesados están presentes en la tabla periódica cuyo peso específico es superior a 5 g/cm³. Hoy en día representan una gran amenaza al ambiente y para todo ser vivo, los podemos encontrar de manera natural y obtenida después de alguna actividad antrópica. Los metales más conocidos son: plomo, cadmio, arsénico y mercurio (Ambrosio, 2021).

El plomo (Pb) pertenece al grupo de los metales pesados, son altamente tóxicos para el ambiente y todo ser vivo que interactúe con este elemento. En las personas provoca daños cerebrales, abortos, problemas sanguíneos, perturbación en el sistema nervioso, incluida la muerte. Las mayores concentraciones de plomo en su mayoría son provocadas por actividades antrópicas tales como agricultura, combustión de petróleo, actividades industriales, etc (Chinchay y Chamorro, 2020) El cadmio (Cd) pertenece al grupo de metales pesados, mayormente se encuentra en la corteza terrestre, casi siempre suele combinarse con Zinc. Este es introducido en el ambiente mediante la aplicación de fertilizantes químicos trayendo así severas consecuencias al ecosistema. También causa daños al organismo tales como fracturas de huesos, daños al sistema nervioso, problemas digestivos, alteración del ADN, cáncer, etc. (Mojiri, 2011).

El arsénico (As) presente en la tierra y algunos minerales, podemos encontrarlo en los agroquímicos y para preservar la madera. La exposición a este metal puede causar severos daños al organismo, contamina agua, suelo y aire, ya que es transportado de un lugar a otro por acción del viento. La exposición a niveles elevados puede ocasionar la muerte. (Loayza, 2018).

El cromo (Cr) elemento esencial para los organismos, se presenta bajo distintos estados de oxidación, las formas más estables son Cr³⁺ y Cr⁶⁺, siendo la primera la más estable. Mientras que el Cr³⁺ no es tóxico e inmóvil, el Cr⁶⁺ es altamente tóxico, móvil, se adhiere fácilmente a los suelos porosos y tiene un pH de moderado a alto, por lo que está presente en las capas subterráneas de los suelos contaminados. (Loayza, 2018).

El mercurio (Hg) es un líquido a temperatura ambiente. Es altamente volátil, altamente estable en el medio ambiente y tiene diferentes conformaciones de especies metálicas altamente reactivas, lo que le permite moverse en ambientes acuáticos o atmosféricos. También tiene una excelente capacidad para formar compuestos orgánicos e inorgánicos. (Ambrosio, 2021).

Sesuvium Portulacastrum es una planta fitorremediadora halófila con potencial de acumulación significativa de metales y metaloides (Lokhande, 2020).

La disminución del contenido de clorofila retrasa el proceso fotosintético conduciendo a la disminución en la fijación de carbono, he ahí la importancia de evaluar el contenido de clorofila de las plantas cuando las condiciones medioambientales no son buenas.



Figura 3: Planta *Sesuvium Portulacastrum*.
Fuente: Feng et al., 2018.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: Es cualitativo, según Escudero y Cortez (2018) señalaron que el estudio cualitativo es categorizado como una clase de investigación, que permite recolectar información a través de la aplicación de instrumentos y técnicas, por ejemplo, la lectura literaria realizada por diferentes artículos y su conocimiento específico del problema. Es así que la tesis titulada “Fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* para la absorción de metales pesados en suelos mineros” permite obtener todo tipo de datos no cuantificables, como son la construcción de los problemas y objetivos, y así se llegó a obtener resultados esperados por la metodología elaborada. (Torres, 2019).

El tipo de investigación también es aplicada, ya que el propósito de este tipo de investigación es crear nueva tecnología a partir del conocimiento adquirido, luego se determina si este conocimiento es útil en el futuro. (Hernández, 2014, p. 389).

Diseño de investigación: Se enfocó en una revisión sistemática. Según Pérez (2018), la revisión sistemática precisa la recolección de datos de diferentes artículos con entorno a la investigación.

De otro lado, el diseño de la investigación también es narrativo, porque en la tesis se realizó una recopilación de información para luego describirla y analizarla. La investigación narrativa se enfoca en un evento único o un tema definido. (Rodríguez 2018).

3.2 Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

La investigación se realizó con las siguientes categorías y subcategorías: Categoría 1: Modelos de aplicación (Subcategoría: Medio de contención, Medio de eliminación). Categoría 2: Eficiencia de remoción (Subcategoría: Metales pesados). Categoría 3: *Sesuvium Portulacastrum* (Subcategoría: Características). Para ello se realizó fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* para la absorción de metales pesados en suelos mineros.

3.3 Escenario de estudio

No contó con un escenario de trabajo ya que fue un estudio virtual, donde se recopiló artículos científicos de medio nacional e internacional, se analizó la

fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* para la absorción de metales pesados en suelos mineros. Los artículos fueron extraídos de la biblioteca virtual de la Universidad Cesar Vallejo (UCV), como revistas indexadas de relevancia en el mundo científico, de la base de datos SCOPUS, SCIENCE DIRECT, EBSCO.

34. Participantes

El desarrollo de la investigación se realizó mediante recopilación de información de libros electrónicos, revistas científicas, según la importancia y relevancia del tema, estos serán adjuntados de la base de datos como: ScienceDirect, Scielo, Google Académico, Scopus y Ebsco. Seleccionados con 5 años de antigüedad como máximo (2018-2022).

35. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se emplearon técnicas por los medios que se utilizaron en la revisión de literatura, se recopiló toda la información requerida por metodologías de revisión, la cual se basó en fuentes documentales, es decir se recopiló y analizó la documentación necesaria. Esta se rigió por explorar, estudiar e indagar en los artículos, publicaciones, libros y otros textos escritos por el mundo científico en forma de material en línea (Escudero y Cortez, 2018). Para los instrumentos se utilizaron matrices, en las cuales se obtuvieron información necesaria, por consiguiente, se procesó en cuadros y tablas, entre otros según cada subcategoría (Gómez y Amaya, 2018). Un archivo para cada subcategoría, y de la base de datos de Excel se generó tablas que respondieron a las subcategorías de que tan efectivo fue la fitorremediación con uso de *Sesuvium Portulacastrum* para la absorción de metales pesados en suelos mineros que se realizó por cada autor del artículo

3.6. Procedimiento

El Procedimiento de la investigación constó de 3 fases, las cuales fueron fundamentales para la recopilación de información, donde la extracción del contenido fue sujeta a una secuencia ordenada, objetiva y sistemática. Por ello se inició con la recolección de información a través de la elección de artículos científicos, proporcionando prioridad a aquellos que son indexadas y de interés científico a nivel mundial, complementando con capítulos de libros y manuales, de fuentes académicas de accesibilidad disponible, tales como: ScienceDirect, Ebsco, Scopus. Considerando palabras claves en inglés y español “phytoremediation, heavy metals, contaminated soils, mining activity, types of metals, phytoremediation models, type of application, use of plants, environmental conditions, temperature, mechanisms of action, phytoremediation time”.

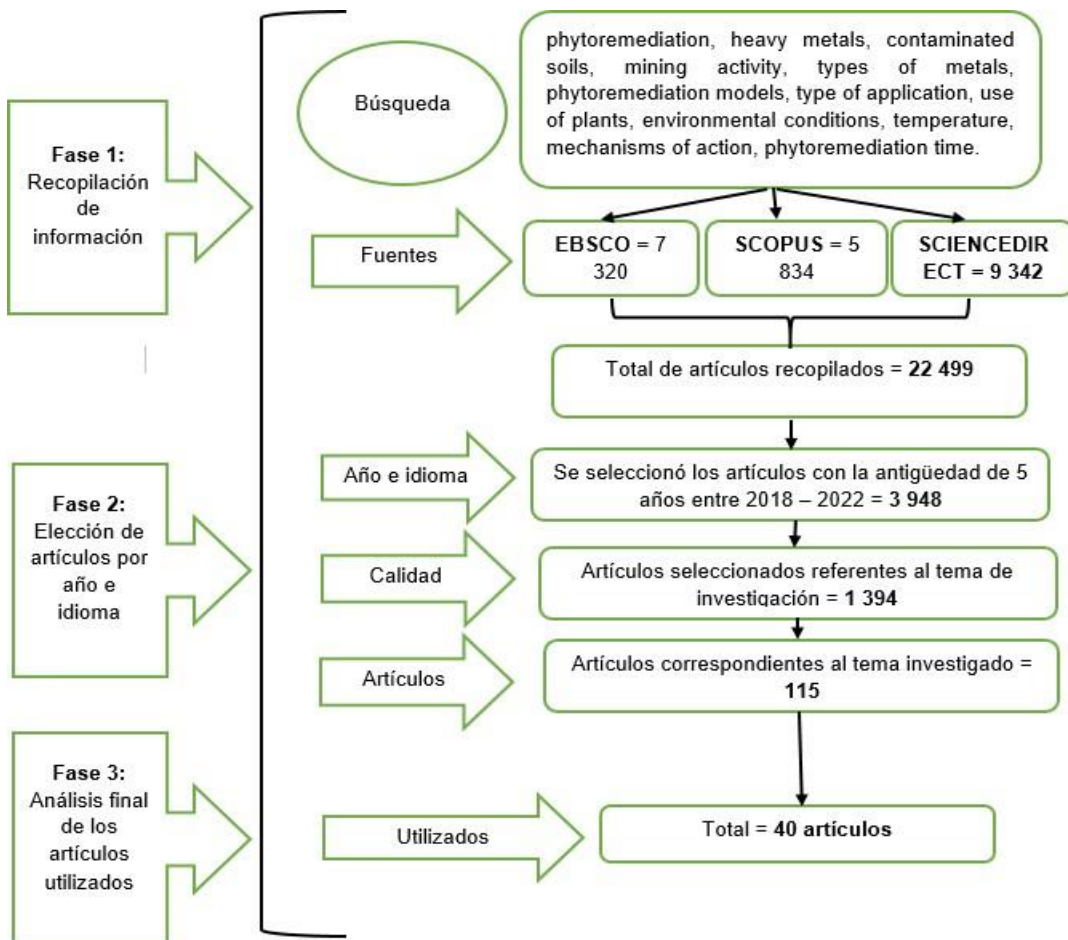


Figura 4: Diagrama de flujo de elección de los artículos.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

37. Rigor científico

Contó con un alto rigor científico, que permitió certificar la legitimidad y veracidad a través del cumplimiento de los juicios de consistencia, credibilidad, transferibilidad y veracidad como se mostró en relación a la investigación, la información se recolectó y analizó en orden lógico con fines de que los resultados se compararon con otros autores. Elizalde, (2019) afirmó que la consistencia se refiere al nivel en que diversos investigadores recopilan datos similares, realizan los mismos análisis y generaron resultados semejantes. En consecuencia, se relacionó con la estabilidad de datos obtenidos. De igual modo, el trabajo fue verás, cada artículo examinado fue derivado de revistas indexadas sobre la fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* para la absorción de metales pesados en suelos mineros.

38. Método de análisis de datos

Se utilizó la estadística descriptiva, siendo esta un método que facultó el recojo, almacenamiento, ordenamiento, de tablas o figuras y automatizar medidas básicas sobre el conjunto de datos recopilados del uso de Fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum* en la absorción de metales pesados que se encontraron presentes en suelo utilizado por la actividad minera.

39. Aspectos éticos

Fue elaborado con citas de fuentes veraces, como son los artículos, respetando las citas de los autores y las referencias, se adoptó las referencias del manual ISO 690 de la Universidad César Vallejo. Asimismo, los resultados fueron respaldados por los criterios de rigor científico según norma, y finalmente se realizó teniendo en cuenta las categorías y subcategorías, fundamentadas en los objetivos del contenido de la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se desarrolló los resultados enfocados en el primer objetivo específico “Conocer los procedimientos de aplicación del *Sesuvium Portulacastrum* para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados” demostrado en la tabla 1:

Categoría 1: Modelos de aplicación.

Tabla 1: Procesos de acción de la *Sesuvium Portulacastrum* en suelos mineros.

Medio de contención	Medios de eliminación	Análisis	País	Fuente
Fitoestabilización	Fitoextracción	Aumentos significativos de Zn extraíble con DTPA en las parcelas de MW y MW + PS, Pb. <i>A. halimus</i> fue la especie más dominante, creciendo espontáneamente en todas las parcelas, con menor cobertura vegetal en las parcelas CT y MW, 6% y 2% respectivamente.	La investigación se desarrolló en el país de España	Acosta et al., 2018
Fitoestabilización	Fitoextracción	Se encontró que para las plantas utilizadas removieron con <i>A. vulgaris</i> , Cr un 6.55%, Cu un 18.36%, Ni un 7.53%, Zn 0.95%, para <i>S. holostea</i> , Cr un 12%, Cu un 10.60%, Ni un 18.8% y Zn un	La investigación se desarrolló en el país de Alemania	Antonia dis et al., 2021

MODELOS DE APLICACIÓN				
Medio de contención	Medios de eliminación	Análisis	País	Fuente
		0.76% y G. mollugo Cr un 8.76%, Cu un 8.21%, Ni un 4.78%, Zn un 14.53%		
Fitovolatilización	Fitoextracción	Se logró que la enmienda del suelo mejorara considerablemente el BAF, TF, RE y la absorción, pero el efecto varió con las especies de plantas y metales pesados en cuestión.	La investigación se desarrolló en el país de China	Aning y Akoto., 2018
Fitoestabilización	Fitoextracción	Se logró que la halófito eliminara sales y metaloides de los suelos, también pueden cultivarse como cultivos no convencionales.	La investigación se desarrolló en el país de China	Aziz et al., 2022
Fitoimmobilización	Fitoextracción	Se logró que el bambú, como el bambú moso, <i>Phyllostachys praecox</i> , tienen una alta resistencia en suelos contaminados con metales, lo que permitió una absorción y acumulación	La investigación se desarrolló en el país de China	Bian et al., 2020.

MODELOS DE APLICACIÓN				
Medio de contención	Medios de eliminación	Análisis	País	Fuente
		considerables de metales pesados		
Rizofiltración	Fitoextracción	Se logró que las macrófitas se comportan como hiperacumuladoras de uno o más metales/metaloideos.	La investigación se desarrolló en el país de la india	Bora y Sarma, 2020

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De acuerdo al desarrollo del primer objetivo específico se conoció que la fitorremediación con el uso de plantas en diferentes países del mundo tuvo una efectividad de 78% de absorción de contaminantes de metales pesados presentes en los suelos producto de las actividades mineras, donde al relacionar con Acosta et al., (2018, p.12-13), en sus resultados de su investigación determinó la efectividad de la planta *PS.A. halimus* lo cual fue la especie más dominante, creciendo espontáneamente en todas las parcelas evaluadas con presencia de cadmio y cobre, absorbiendo Cd un 6% y Cu un 2% de los metales en las raíces.

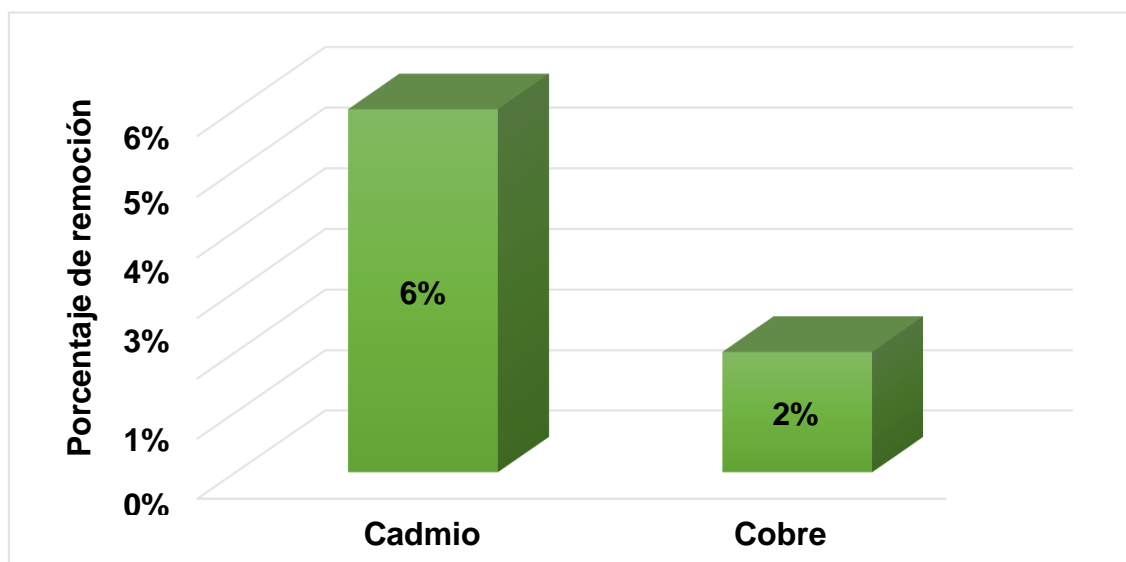


Figura 5: Remoción de cadmio y cobre por *Atriplex halimus*.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De tal manera la contribución de Antoniadis et al., (2021, p.22), en su investigación encontró la efectividad de fitorremediación con las plantas utilizadas, para ello la *A. vulgaris* acumuló en sus hojas y raíces el Cr un 6.55%, Cu un 18.36%, Ni un 7.53%, Zn 0.95%, en comparación con la especie *S. holostea* acumuló en sus hojas y raíces Cr un 12%, Cu un 10.60%, Ni un 18.8% y Zn un 0.76% y para la especie *G. mollugo* sobre el Cr un 8.76%, Cu un 8.21%, Ni un 4.78%, Zn un 14.53%, finalmente se conoció que la especie *S. holostea* fue más efectiva en un 48% ante los contaminantes por metales pesados en el suelo siendo acumulados en las hojas y raíces de la planta.

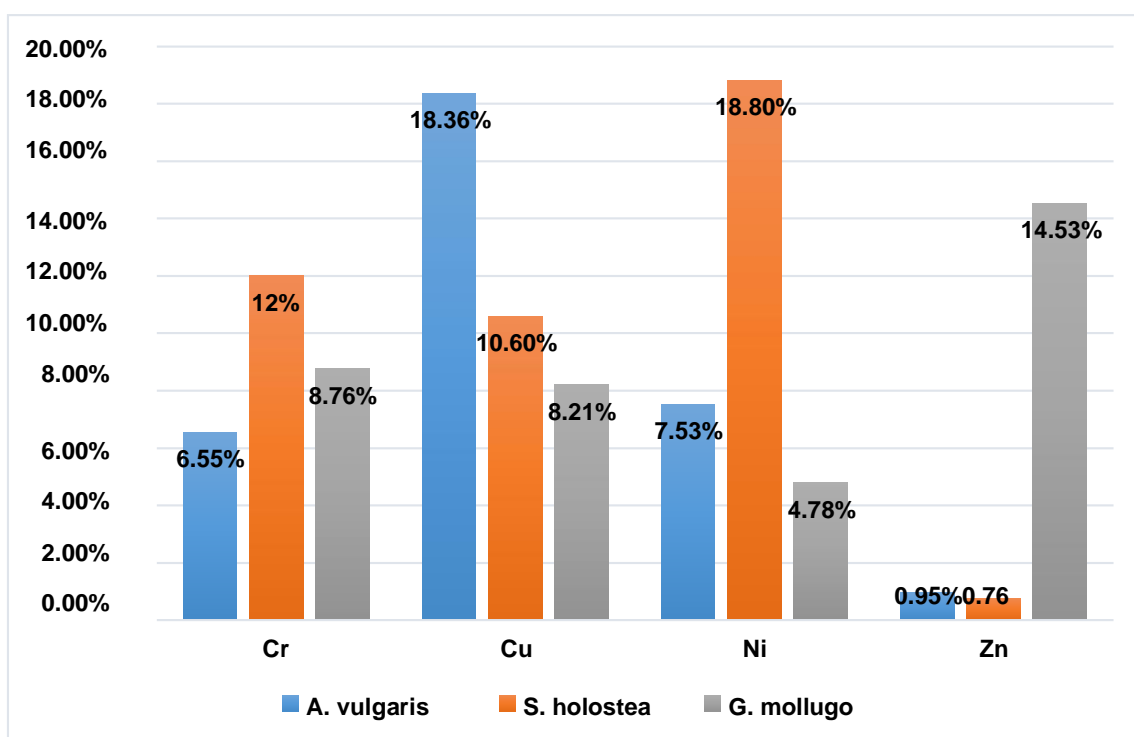


Figura 6: Efectividad de remoción por *A. vulgaris*, *S. holostea*, *G. mollugo*.

Fuente: Elaboración propia, 2022.

Además, la máxima acumulación in vitro de Hg, As y Pb ocurre en raíces, hojas, tallos y flores, y a diferencia de otros metales como Cu y Zn, la tasa de remoción promedio es del 76% y la acumulación in vitro, se dice que es bajo. Al 12%, esto se debe al hecho de que los brotes de las raíces disminuyen gradualmente y el contenido de metal impide significativamente el crecimiento de las plantas. Aning y Akoto, (2018, p.4).

De acuerdo a la investigación de Aziz et al., (2022, p.8-10) se ha demostrado que el uso de plantas bioacumulativas tolera y tiende a reducir la ingesta de metales pesados. Esto incluye la biodisponibilidad de eliminación de la ingestión directa a raíces y hojas. Bian et al., (2020, p.23), menciona que es apropiado introducir especies vegetales, y

se afirma que estas especies capaces de absorber metales muestran signos de acumulación directa en los tejidos, rizoma y en el culmo tienen el efecto de absorber y acumular metales pesados.

De acuerdo a Bora y Sarma, (2020, p.42), en la fitorremediación de metales pesados y metaloides por macrófitos herbáceos nativos de humedales, los parámetros fisicoquímicos como el pH, la salinidad, la luz, la temperatura y la presencia de otros cationes y aniones jugaron un papel importante en la absorción de metales y metaloides por los macrófitos. Algunas de las macrófitas se reportaron como hiperacumuladoras de uno o más metales y metaloides. Muchos de los macrófitos nativos que se encontraron en los humedales de la India también tienen una distribución mundial, lo que indica su interés global en el área de investigación de la fitorremediación, realizando un contraste con el presente estudio se demostró que existe un efecto similar a un 90% de depuración de estos contaminantes que se encontraron presentes en los humedales.

Siguiendo con el desarrollo, los resultados enfocados en el segundo objetivo específico “Determinar los tipos de metales pesados que serán removidos mediante la Fitorremediación con *Sesuvium Portulacastrum*” demostrado por la categoría planteada en la tabla 2:

Categoría 2: Eficiencia de remoción.

Tabla 2: Eficiencia de remoción de metales pesados.

EFICIENCIA DE REMOCIÓN				
% de remoción	Tipo de metal pesado	Tipo de planta	Análisis	Fuente
49,82% Cr, 22,10% Cd, 35,10 % Cu y 70,10 % Zn	Cr, Cd, Cu, NaCl	<i>Sesuvium portulacastrum</i>	Con <i>Sesuvium portulacastrum</i> se logró reducir significativamente los niveles de metales pesados en efluentes de curtiduría y suelo tratado con sal.	Ayyappan et al., 2018
Cd un 62%, Zn un 45%	Cadmio, Zinc	<i>H. annuus</i>	La especie <i>H. annuus</i> empleada en la fitorremediación fue muy efectiva en absorber los contaminantes por la raíz y fueron acumulados en los tejidos de la planta con un porcentaje para Cd 62% y Zn 45% .	Ying F. et al.,2019
Cd un 50, Pb un 65 y Zn un 45,5% porcentajes removidos por la especie <i>S. alfredii</i>	Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Zinc (Zn)	<i>S. alfredii</i>	La fitorremediación de los suelos mineros con presencia de Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Zinc (Zn) con <i>S. alfredii</i> , se tuvo una efectividad en remover Cd un 50%, Pb un 65% y Zn un 45,5%	Wenhan Y.et al.,2018
Cd un 42.2%, Cr un 44% y Pb un 62%	Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Plomo (Pb)	<i>H. annuus</i>	Con uso de la especie <i>H. annuus</i> se tuvo una efectividad de absorber Cadmio (Cd) 42.2%, Cromo (Cr) 44% y Plomo (Pb) 62%	Eswara R. et al.,2019

ND	Cd y Pb	Quinoa	Se logró reducir metales en un valor < 1 para Pb y 1,19 para Cd, lo que indica carcinogenicidad potencial	Amjad et al., 2021
83,43% de efectividad en plomo y un 42,33% para Cadmio.	Pb y Cd	<i>Zea mays. L</i>	Se logró que la planta nativa del maíz " <i>Zea mays L</i> " resultó eficiente para la fitorremediación de suelos contaminados por plomo y cadmio en la minería	Chinchay & Chamorro., 2020
Ni (31%, 26%); Cd (35%, 50%); Cu (30%, 35%); Cromo (19%, 27%); Pb (18%, 14%); Hg (42%, 45%); V (39%, 26%); Zn (23%, 9%)	Ni, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, V, Zn	<i>Arundo donax</i>	Se logró que el A. donax mostró el BAF (factor de bioacumulación) más alto para Cd (0,50), Cu (0,35), As (0,27) y Hg (0,45) después de la exposición a L2.	Cristaldi et al., 2020

Fuente: Elaboración propia, 2022.

De acuerdo a los resultados obtenidos del segundo objetivo específico de la eficiencia de remoción de los metales pesados presentes en los suelos mineros con uso de plantas fitorremediadoras, donde de acuerdo a Ayyappan et al., (2018, p.16), los metales pesados absorbidos por la especie *Sesuvium portulacastrum* L. logró reducir los niveles de contaminación por metales, donde la *Sesuvium portulacastrum* acumuló 49,82 mg Cr, 22,10 mg Cd, 35,10 mg Cu y 70,10 mg Zn en los tejidos de las planta después de un periodo de 125 días de la aplicación de la planta al suelo contaminado, para ello quedó demostrado una mayor efectividad en menor tiempo por la especie utilizada sobre el contaminante, demostrado en la figura 7.

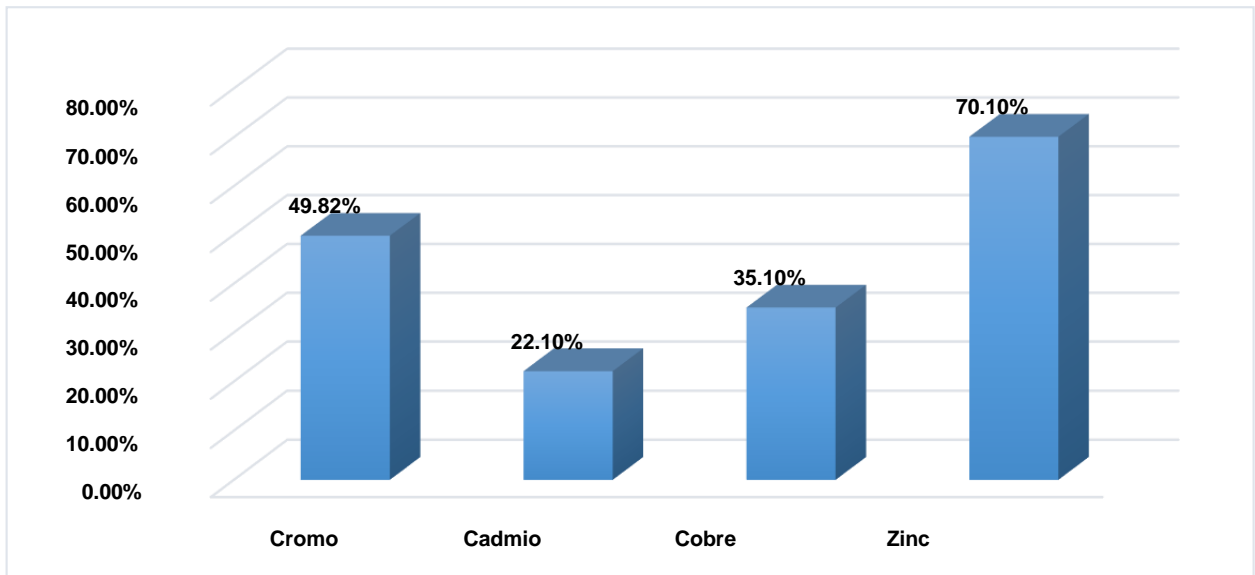


Figura 7: Eficiencia de remoción de *Sesuvium Portulacastrum* sobre metales pesados
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Sin embargo, Chinchay & Chamorro., (2020, p.45), en su investigación sobre la fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio), utilizaron la planta nativa Maíz “*Zea mays. L*” en suelos contaminados por minería. Se aplicó las modalidades de tratamiento, con la absorción de la planta por medio de la raíz siendo acumulados en los tejidos de las plantas, tallo y hojas, además de las flores, la cual se conoció los porcentajes de remoción 83,43% de efectividad en plomo y un 42.33% para Cadmio.

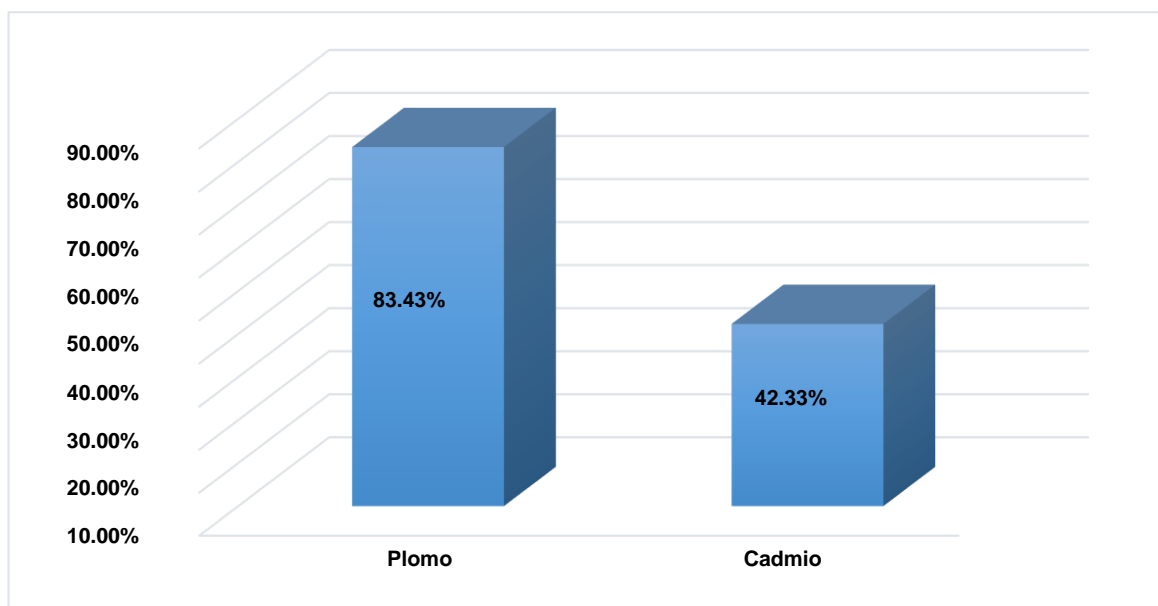


Figura 8: Eficiencia de remoción de *Zea mays L* sobre Plomo y Cadmio.
Fuente: Elaboración propia, 2022.

Del mismo modo Cristaldi et al., (2020, p.24), detalla que el potencial de fitorremediación de Arundo donax en suelo contaminado por metales pesados, la especie bioacumuló en sus raíces y tallos los porcentajes para Ni (31%, 26%); Cd (35%, 50%); Cu (30%, 35%); Cr (19%, 27%); Pb (18%, 14%); Hg (42%, 45%); V (39%, 26%); Zn (23%, 9%). Mostró una buena capacidad de bioacumulación de los metales pesados que se encontraron ligados en el suelo afectando drásticamente la biodiversidad de microorganismos y la calidad del suelo, donde los procesos de fitorremediación a base de Arundo donax mejoró el estado del suelo. Al igual que Wenhao et al. (2018) tuvo una efectividad de remover contaminantes con la especie *S. alfredii* para Cadmio un 50%, Plomo un 65% y Zinc un 45,5% porcentajes removidos por la especie *S. alfredii* en los tallos y raíces de la planta.

En relación al tercer objetivo específico “Determinar los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a *Sesuvium Portulacastrum*” demostrado por la categoría planteada en la tabla 3:

Categoría 3: *Sesuvium Portulacastrum*.

Tabla 3: Efectos de la *Sesuvium Portulacastrum* por acumulación del metal.

CARACTERÍSTICAS SESUVIUM PORTULACASTRUM				
Características	Tipo de contaminante	Tiempo	Análisis	Fuente
Estrés hídrico, cambio de coloración	Ni, Cd, Cu, Cr, Pb, Hg, V, Zn	7 meses	Se logró que la <i>A. donax</i> mostró el BAF (factor de bioacumulación) más alto para Cd (0,50), Cu (0,35), As (0,27) y Hg (0,45) después de la exposición a L2	Cristaldi et al., 2020
Disminución del contenido de clorofila, cambio de coloración	Cu, Zn y Cd	60 días	Se logró que los valores de BCF de los tres metales fueron superiores a 10 y la tolerancia en la raíz fue de hasta 1000 mg/kg sin causar una inhibición significativa del crecimiento, lo que sugiere que <i>S. portulacastrum</i> debería ser un candidato potencial para la fitoestabilización para la fitorremediación de contaminaciones polimetálicas en ambientes costeros.	Feng et al., 2018

CARACTERÍSTICAS <i>SESUVIUM PORTULACASTRUM</i>				
Características	Tipo de contaminante	Tiempo	Análisis	Fuente
Disminución del contenido de clorofila	Metales Pesados (Cr, Cd, Cu, NaCl)	125 días	Se determinó que la <i>Sesuvium portulacastrum</i> acumuló 49,82 mg Cr, 22,10 mg Cd, 35,10 mg Cu y 70,10 mg Zn y a partir de 1 g de peso seco de muestra vegetal, 246,21 mg NaCl.	Ayyappan et al., 2018
Estrés hídrico, cambio de coloración	Hg, As, Pb, Cu y Zn	16 semanas	Se logró que la enmienda del suelo mejoró considerablemente el BAF, TF, RE y la absorción, pero el efecto varió con las especies de plantas y metales pesados en cuestión.	Aning y Akoto., 2018

Fuente: Elaboración propia, 2022.

En cuanto a los resultados obtenidos de los efectos que causa los metales pesados al ser absorbido por las especies fitorremediadoras, para ello Ayyappan et al., (2018, p.13), al remover metales pesados con la *Sesuvium portulacastrum*, una halófito de marisma de efluentes de curtiduría, se logró acumular 49,82 mg Cromo, 22,10 mg Cadmio, 35,10 mg Cobre y 70,10 mg Zinc, en un periodo de 125 días de seguimiento. El desempeño de la *Sesuvium portulacastrum* fue eficiente en la acumulación de metales pesados como cromo, cadmio, cobre y zinc, sodio y cloruro al máximo a través de sus hojas en comparación con el tallo y la raíz. Por lo tanto, la planta sufrió mucho estrés hídrico, redujo la facilidad del desarrollo de la planta y pérdida de coloración.

De otro lado, para Bian et al., (2020, p.22), el efecto del bambú en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados, se dio en los tejidos de bambú, en el rizoma y el culmo, acumulando gran cantidad de metales pesados en la pared celular, la vacuola y el citoplasma. Se demostraron que ciertas especies de bambú, tuvieron

una facilidad de resistencia en suelos contaminados con metales, lo que permite una absorción y acumulación considerables de metales pesados. Sin embargo, las concentraciones excesivas de metales pesados causaron estrés oxidativo y debilitaron los tejidos del bambú.

V. CONCLUSIONES

La eficiencia del grado de remoción por fitorremediación de la especie *Sesuvium portulacastrum* sobre los metales pesados fue que en su raíz tuvo la facilidad de absorber el 82% de metales pesados.

La eficiencia de absorción en los tallos y hojas fue del 68% de metales pesados presentes en suelos mineros.

La especie *Sesuvium portulacastrum* tiene la capacidad natural para bioacumular, degradar al contaminante ofensivo del suelo como metales pesados tóxicos.

Los metales pesados que fueron removidos mediante la fitorremediación con *Sesuvium portulacastrum* son: cadmio, plomo, cromo, mercurio, arsénico, zinc.

Los efectos que sufre la planta al estar expuesta a elevadas concentraciones de metales pesados son: Disminución del contenido de clorofila, estrés hídrico, potencial hídrico en las hojas, cierre estomático, cambio de coloración.

VI. RECOMENDACIONES

A las autoridades encargadas de monitorear la calidad del suelo por uso de actividades mineras, controlar sus residuos que son emitidos o descargados en el suelo para mejorar la calidad del mismo ya que al resultar un alto índice o presencia de metales pesados perjudican la biodiversidad de especies y la salud de las personas.

A los alumnos que realicen investigaciones de aplicación del *Sesuvium Portulacastrum* para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados, conocer a profundidad el lugar donde se desarrolle el proyecto que no sean afectados por los problemas meteorológicos.

Al utilizar la especie *Sesuvium Portulacastrum* es necesario realizar un seguimiento al momento de ser aplicada o acondicionada para absorber los contaminantes presentes en el suelo ya que el alto grado de contaminación afecta drásticamente el desarrollo de la planta y los tejidos.

La información sobre soluciones alternativas para la recuperación de suelos contaminados con metales, se aplica en áreas de alta actividad extractiva, integrando diferentes técnicas para una mayor reducción de metales pesados, ya que eso evita problemas ambientales y de salud más adelante.

REFERENCIAS

AMBROSIO, Betsy & QUIROZ, Gina. *Fitorremediación de suelos contaminadas con mercurio utilizando Eichhornia crassipes, Cajamarca-2020* [En Línea] Universidad Privada del Norte, 2021 [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/11537/28971>

ARTHUR, Ellen et al. *Phytoremediation—An Overview* [En Línea] Critical Reviews in Plant Sciences Volume 24, 2018 - Issue 2, [Fecha de consulta: 07 de febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1080/07352680590952496>

ACOSTA, J.M. et al. *Phytoremediation of mine tailings with Atriplex halimus and organic/inorganic amendments: A five-year field case study* [En Línea] Chemosphere Volume 204, August 2018, Pages 71-78, [Fecha de consulta: 08 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.027>

AYYAPPAN, Durai et al. *Phytoextraction of heavy metals by Sesuvium portulacastrum l. a salt marsh halophyte from tannery effluent* [En Línea] International Journal of Phytoremediation Volumen 18, 2018 - Issue 5, [Fecha de consulta: 06 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1109606>

ANTONIADIS Vasileios et al. *Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil* [En Línea] Environment International Volume 146, January 2021, 106233, [Fecha de consulta: 08 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106233>

ISSN: 106-233

AMJAD, Muhammad et al. *Assessment of cadmium and lead tolerance potential of quinoa (Chenopodium quinoa Willd) and its implications for phytoremediation and human health* [En Línea] Environmental Geochemistry and Health (2021), [Fecha de consulta: 06 de Febrero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-021-00826-0>

AMARIS, T. et al. *Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction* [En Línea] South African Journal of Botany Volume 111, July 2017, Pages 99-110 [Fecha de consulta: 06 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2017.03.011>

ANING, A. y AKOTO, R. *Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with Typha latifolia and Chrysopogon zizanioides* [En Línea]

Ecotoxicology and Environmental Safety Volume 148, February 2018, Pages 97-104 [Fecha de consulta: 11 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.014>

AKTER, Rubaiya et al. *Phytoremediation: Background, Principle, and Application, Plant Species Used for Phytoremediation* [En Línea] First Online: 08 January 2022, [Fecha de consulta: 09 de Febrero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-201-831-1>

ALSHERIF, Emad et al. *High Redox Status as the Basis for Heavy Metal Tolerance of Sesuvium portulacastrum L. Inhabiting Contaminated Soil in Jeddah, Saudi Arabia* [Línea] *Antioxidants* 2022, volumen 11. [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.3390/antiox11010019>

AZIZ, Irfan & MUJEEB Amtul. *Halophytes for phytoremediation of hazardous metal (loid)s: A terse review on metal tolerance, bio-indication and hyperaccumulation* [En Línea] *Journal of Hazardous Materials* Volume 424, Part A, 15 February 2022, 127309, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127309>

ISSN: 127-309

BIAN, Fangyuan et al. *Bamboo – An untapped plant resource for the phytoremediation of heavy metal contaminated soils* [En Línea] *Chemosphere* Volume 246, May 2020, 125750 [Fecha de consulta: 10 de febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125750>

ISSN: 125-750

BORA, M. y SARMA, K. *Phytoremediation of Heavy Metals/Metalloids by Native Herbaceous Macrophytes of Wetlands: Current Research and Perspectives* [En Línea] *Emerging Issues in the Water Environment during Anthropocene* pp 261-284, [Fecha de consulta: 10 de Febrero de 2022] Disponible: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-32-9771-5_14

CAPARRÓS, Pedro et al. *Halophytes have potential as heavy metal phytoremediators: A comprehensive review* [En Línea] *Environmental and Experimental Botany* Volume 193, January 2022, 104666, [Fecha de consulta: 06 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104666>

ISSN: 104-666

CHINCHAY, Mileny & CHAMORRO, Kenyi. *Fitorremediación de suelos contaminados por metales (Plomo y Cadmio) mediante planta nativa Maiz "Zea mays. L" en la minería* [En Línea] Universidad Peruana Unión, 2020, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible:<http://hdl.handle.net/20.500.12840/3195>

CRISTALDI, Antonio et al. *Phytoremediation potential of Arundo donax (Giant Reed) in contaminated soil by heavy metals* [En Línea] Environmental Research Volume 185, June 2020, 109427 [Fecha de consulta: 10 de febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109427>

FENG, Jianxiang. *Tolerance and bioaccumulation of combined copper, zinc, and cadmium in Sesuvium portulacastrum* [En Línea] Marine Pollution Bulletin Volume 131, Part A, June 2018, Pages 416-421, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.04.049>

HUIZA, Karen. *Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante especies del género Brassica* [En Línea] Universidad Científica del Sur, 2019, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12805/891>

ISHTIYAQ, Shumailah et al. *Chapter 20 - Role of secondary metabolites in salt and heavy metal stress mitigation by halophytic plants: An overview* [En Línea] Handbook of Bioremediation Physiological, Molecular and Biotechnological Interventions 2021, Pages 307-327 [Fecha de consulta: 10 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00020-X>

FLORENCIO, Osuna et al. *Acumulación de metales pesados en plantas desarrolladas en el Norte de Sinaloa para propósitos de fitorremediación* [En Línea] LATIN AMERICAN JOURNAL OF APPLIED ENGINEERING, 2021, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <http://lajae.uabc.mx/index.php/journal/article/view/116>

FU, Shuai et al. *Heavy metals uptake and transport by native wild plants: implications for phytoremediation and restoration* [En Línea] Environmental Earth Sciences volume 78, Article number: 103 (2019), [Fecha de consulta: 07 de Febrero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-019-8103-9>

GIL, Francisco. *Evaluación de la fitorremediación con Sesuvium Portulacastrum para la extracción de metales pesados de un relave minero proveniente de una*

operación minera y de suelos y aguas contaminadas artificialmente con metales pesados [En Línea] Universidad Católica del Perú, 2020, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/16939>

GHNAYA, Tahar et al. *Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: Sesuvium portulacastrum and Mesembryanthemum crystallinum* [En Línea] Journal of Plant Physiology Volume 162, Issue 10, 14 October 2018, Pages 1133-1140 [Fecha de consulta: 06 de Febrero de 2022], Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.11.011>

JOSHI, Abhishek et al. *Assessment of phytoremediation capacity of three halophytes: Suaeda monoica, Tamarix indica and Cressa critica* [En Línea] Biologia Futura volume 71, pages301–312 (2020), [Fecha de consulta: 07 de Febrero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s42977-020-00038-0>

KHALILZADEH, Razieh et al. *The Salicornia europaea potential for phytoremediation of heavy metals in the soils under different times of wastewater irrigation in northwestern Iran* [En Línea] Environmental Science and Pollution Research volume 28, pages47605–47618 (2021), [Fecha de consulta: 08 de Febrero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-14073-4>

LI, Baochun et al. *Halophyte Halogeton glomeratus, a promising candidate for phytoremediation of heavy metal-contaminated saline soils* [En Línea] Plant and Soil volume 442, pages323–331 (2019), [Fecha de consulta: 08 de Febrero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-019-04152-4>

LOAYZA, Leonardo. *Evaluación del riesgo ambiental por metales pesados, generados por la actividad minera artesanal en los ríos Quiroz y Chira – Piura por el método de especiación secuencial* [En Línea] Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2018, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/5221>

LOKHANDE, Vinayak et al. *Copper accumulation and biochemical responses of Sesuvium portulacastrum (L.)* [En Línea] Materials Today: Proceedings Volume 31, Part 4, 2020, Pages 679-684, [Fecha de consulta: 06 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.117>

MADANAN, Minisha et al. *Application of Aztec Marigold (Tagetes erecta L.) for phytoremediation of heavy metal polluted lateritic soil* [En Línea] Environmental

Chemistry and Ecotoxicology Volume 3, 2021, Pages 17-22 [Fecha de consulta: 09 de febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.enceco.2020.10.007>
MATEOS, Paloma et al. *Phytoremediation of highly contaminated mining soils by *Jatropha curcas* L. and production of catalytic carbons from the generated biomass* [En Línea] Journal of Environmental Management Volume 231, 1 February 2019, Pages 886-895 [Fecha de consulta: 11 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.052>

MENA, Christopher & EYSAGUIRRE, Alfredo. *Efectos de la *Eichhornia Crassipes* en la remoción de mercurio en efluentes mineros provenientes de la minería artesanal (Secocha, 2019)* [En Línea] Universidad Tecnológica del Perú, 2020, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3609>

MOUSAVI, S. y MOUDI, M. *Assessment of phytoremediation potential of native plant species naturally growing in a heavy metal-polluted saline-sodic soil* [En Línea] Environmental Science and Pollution Research volume 27, pages 10027– 10038 (2020), [Fecha de consulta: 08 de Febrero de 2022] Disponible: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-019-07578-6>.

MARKOVSKAYA, Eugenia et al. Chapter 19 - *Ecological and physiological features of metal accumulation of halophytic plants on the White Sea coast* [En Línea] Handbook of Bioremediation Physiological, Molecular and Biotechnological Interventions 2021, Pages 295-306, [Fecha de consulta: 10 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819382-2.00019-3>.

NIMA, Rodrigo. *Determinación grado de contaminación por metales pesados generados por la actividad minera artesanal; para evaluar la calidad del agua del río Quiroz sector San Sebastián- Pampa Larga –Suyo-Piura* [En Línea] Universidad Nacional de Piura, 2020, [Fecha de consulta: 06 de febrero de 2022] Disponible: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2504>.

RANA, Vivek et al. 8 - *Potential and prospects of weed plants in phytoremediation and eco-restoration of heavy metals polluted sites* [En Línea] Phytoremediation Technology for the Removal of Heavy Metals and Other Contaminants from Soil and Water 2022, Pages 187-205, [Fecha de consulta: 08 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85763-5.00015-5>

RAI, Gyanendra et al. *Insights into decontamination of soils by phytoremediation: A detailed account on heavy metal toxicity and mitigation strategies* [En Línea] First published: 17 April 2021, [Fecha de consulta: 11 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1111/ppl.13433>.

SIDHOUM, W. y FORTAS Z. *The beneficial role of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of wetland plants and tolerance to metal stress* [En Línea] Archives of Environmental Protection 2019, [Fecha de consulta: 08 de Febrero de 2022] Disponible: <https://bibliotekanauki.pl/articles/205376>.

VÁSQUEZ, William. *Fitorremediación con *Sesuvium portulacastrum* para disminuir la contaminación salina de suelos en San Juan La Punta Tumán, 2018* [En Línea] Universidad César Vallejo, 2018 [Fecha de consulta: 07 de febrero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/16534>

WU, Bohan et al. *Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China* [En Línea] Ecotoxicology and Environmental Safety Volume 220, 1 September 2021, 112368 [Fecha de consulta: 07 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368>

ISSN: 112-368.

ZAIER, Hanen et al. *Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: Tolerance and accumulation* [En Línea] Journal of Hazardous Materials Volume 183, Issues 1–3, 15 November 2019, Pages609-615, [Fecha de consulta: 07 de Febrero de 2022] Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.07.068>.

ZAPATA, Jean. *Contenido de metales pesados en vegetación alrededor de una mina cerrada en la región Piura* [En Línea] Universidad de Piura, 2019 [Fecha de consulta: 07 de febrero de 2022] Disponible: <https://hdl.handle.net/11042/4052>.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Problema	Objetivo	Categorías	Subcategorías	Indicadores	Escala
PG: ¿Cuál es el grado de absorción de metales pesados en suelos mineros mediante la Fitorremediación con <i>Sesuvium Portulacastrum</i> ?	OG: Determinar el grado de absorción de metales pesados en suelos mineros mediante la Fitorremediación con <i>Sesuvium Portulacastrum</i> .	Modelos de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Medio de Contención • Medio de eliminación 	<ul style="list-style-type: none"> • Rizofiltración, Fitoestabilización, Fitoimmobilización • Fitodegradación, Fitoextracción, Fitovolatilización 	Nominal
Problema específico	Objetivo Específicos				
PE1: ¿Cómo es la aplicación del <i>Sesuvium Portulacastrum</i> para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados?	OE1: Conocer los procedimientos de aplicación del <i>Sesuvium Portulacastrum</i> para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados	Eficiencia de remoción	• Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo (Pb) • Cadmio (Cd) • Arsénico (Ar) • Cromo (Cr) • Mercurio (Ag) 	Discreto
PE2: ¿Cuáles son los tipos de metales pesados que serán removidos mediante la Fitorremediación con <i>Sesuvium Portulacastrum</i> ?	OE2: Determinar los tipos de metales pesados que serán removidos mediante la Fitorremediación con <i>Sesuvium Portulacastrum</i>				
PE3: ¿Cuáles son los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a <i>Sesuvium Portulacastrum</i> ?	OE3: Determinar los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a <i>Sesuvium Portulacastrum</i> .	<i>Sesuvium Portulacastrum</i>	• Características	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida del potencial hídrico en las hijas • Disminución del contenido de clorofila • Cierre estomático 	Nominal

Anexo 2: Matriz de categorización

Matriz de categorización apriorística: Fitorremediación con <i>Sesuvium Portulacastrum</i> para la absorción de metales pesados en suelos mineros, 2022: Revisión sistemática					
Objetivo específico	Problema específico	Categoría	subcategoría	Indicadores	Referencias
Conocer los procedimientos de aplicación del <i>Sesuvium Portulacastrum</i> para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados	¿Cómo es la aplicación del <i>Sesuvium Portulacastrum</i> para el tratamiento de suelos mineros contaminados con metales pesados?	Modelos de aplicación	Medio de contención	<ul style="list-style-type: none"> • Rizofiltración • Fitoestabilización • Fitoinmovilización 	<ul style="list-style-type: none"> • Barbosa et al. (2021) • Cheng et al (2018)
			Medio de eliminación	<ul style="list-style-type: none"> • Fitodegradación • Fitoextracción • Fitovolatilización 	<ul style="list-style-type: none"> • Chun et al. (2021) • Bañuelos et al. (2019) • Iqbal et al (2018)
Determinar los tipos de metales pesados que serán removidos mediante la Fitorremediación con <i>Sesuvium Portulacastrum</i>	¿Cuáles son los tipos de metales pesados que serán removidos mediante la Fitorremediación con <i>Sesuvium Portulacastrum</i> ?	Eficiencia de remoción	<ul style="list-style-type: none"> • Metales pesados 	<ul style="list-style-type: none"> • Plomo (Pb) • Cadmio (Cd) • Arsénico (Ar) • Cromo (Cr) • Mercurio (Ag) 	<ul style="list-style-type: none"> • Munive et al. (2018) • Mahajan et al. (2018)
Determinar los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a <i>Sesuvium Portulacastrum</i>	¿Cuáles son los efectos que la acumulación de metales pesados ocasiona a <i>Sesuvium Portulacastrum</i> ?	<i>Sesuvium Portulacastrum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Características 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdida del potencial hídrico en las hijas • Disminución del contenido de clorofila • Cierre estomático 	<ul style="list-style-type: none"> • Sokolski (2021)

Anexo 3: Instrumento de recolección de datos

	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	--------------------------------

TÍTULO:	
AUTOR (ES):	AÑO DE PUBLICACIÓN:

PARTICIPANTE:	PÁGINAS EMPLEADAS:
---------------	--------------------

PALABRAS CLAVES:	
MODELOS DE FITORREMEDIACIÓN:	
EFICIENCIA DE REMOCIÓN:	
METALES PESADOS:	
CONCLUSIÓN:	