



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Revisión Sistemática: Fitorremediación de Suelos Contaminados  
por Relaves Mineros.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORES:**

Ttito Saniz, Ronaldo ([orcid.org/0000-0002-4033-9434](https://orcid.org/0000-0002-4033-9434))

Yupanqui Polanco De Bendezu, Rosa America ([orcid.org/0000-0002-0762-8162](https://orcid.org/0000-0002-0762-8162))

**ASESOR:**

Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo ([orcid.org/0000-0001-6017-1192](https://orcid.org/0000-0001-6017-1192))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2022

### **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación se lo dedicamos a nuestros padres y familiares por su amor y apoyo incondicional en cada etapa de nuestras vidas ya que sin ellos no podríamos haberlo logrado.

### **Agradecimiento**

Agradecemos primeramente a Dios por su guía y fortaleza en el cumplimiento de uno mas de nuestros sueños, a nuestros familiares por su estímulo constante, y su apoyo incondicional a lo largo de nuestros estudios, a nuestro asesor que gracias a su enseñanza podemos hacer posible la conclusión satisfactoria de esta bonita carrera.

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	4
III. METODOLOGÍA .....	19
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	19
3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización apriorística .....	19
3.3. Escenario de estudio .....	21
3.4. Participantes .....	21
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	21
3.6. Procedimientos .....	22
3.7. Rigor científico .....	23
3.8. Método de análisis de datos .....	23
3.9. Aspectos éticos .....	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25
V. CONCLUSIONES .....	42
VI. RECOMENDACIONES .....	43
REFERENCIAS .....	44
ANEXOS .....	53

## Índice de tablas

<b>Tabla 1:</b> <i>Antecedentes de investigación</i> .....	4
<b>Tabla 2:</b> <i>Matriz de categorización apriorística</i> .....	20
<b>Tabla 3:</b> <i>Base de datos</i> .....	21
<b>Tabla 4:</b> <i>Especies vegetales usadas en fitorremediar suelos contaminados</i> .....	25
<b>Tabla 5:</b> <i>Tipos de metales pesados</i> .....	33
<b>Tabla 6:</b> <i>Porcentaje de remoción de los metales acumulados en los suelos</i> .....	36

## Índice de figuras

<b>Figura 1:</b> Mecanismos de fitorremediación.....	15
<b>Figura 2:</b> Diagrama de flujo de los artículos utilizados .....	22
<b>Figura 3:</b> Temperatura usada en la remoción de metales pesados por especies vegetales.....	39
<b>Figura 4:</b> pH evaluado al final del tratamiento .....	40

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la fitorremediación de los suelos contaminados por relaves mineros. La metodología de investigación en cuanto al tipo fue básica, con un enfoque cualitativo de diseño narrativo, se basó en la técnica de recolección de análisis documental en las interpretaciones de artículos y revistas indexadas que no sean mayor de 5 años. Los resultados mostraron que las especies vegetales utilizadas en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros fueron la *Paspalum conjugatum*, *Basella alba*, *Heteropogon contortus*, *Polygonum capitatum*, *Boehmeria nivea*, *Chrysanthemum indicum*, *Miscanthus floridulus*, *Conyza canadensis*, *Rubus setchuenensis*, *Senecio scandens*, *Arthraxon hispidus*, *Cortaderia jubata*, *Medicago lupulina* L., *Stipa ichu*. Además los metales evaluados como plomo, cadmio, manganeso, zinc, cobre, plata, níquel, cromo, mercurio, arsénico. Asimismo las especies vegetales como *Suaeda glauca* y *Arabidopsis thaliana* obtuvieron un rango de remoción de 14 % a 23% para cadmio, plomo y manganeso. La tatora (*Typha latifolia*) y vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) removieron 45% a 72% al mercurio, arsénico, plomo, cobre y zinc. Concluyendo que las especies vegetales son muy útiles en la remoción de contaminantes de los suelos en base a la recuperación de calidad del mismo para futuras actividades agrícolas.

**Palabras clave:** Fitorremediación, Suelos contaminados, relaves mineros.

## Abstract

The objective of this research was to evaluate the phytoremediation of soils contaminated by mining tailings with plant species, 2022. The research methodology in terms of type was basic, with a qualitative approach of narrative design, based on the analysis collection technique documentary in the interpretations of articles and indexed magazines that are not less than 5 years old. The results showed that the plant species used in the phytoremediation of soils contaminated by mining tailings were *Paspalum conjugatum*, *Basella alba*, *Heteropogon contortus*, *Polygonum capitatum*, *Boehmeria nivea*, *Chrysanthemum indicum*, *Miscanthus floridulus*, *Conyza canadensis*, *Rubus setchuenensis*, *Senecio scandens*, *Arthraxon hispidus*, *Cortaderia jubata*, *Medicago lupulina* L, *Stipa ichu*. In addition to the metals evaluated such as lead, cadmium, manganese, zinc, copper, silver, nickel, chromium, mercury, arsenic. Likewise, plant species such as *Suaeda glauca* and *Arabidopsis thaliana* required a removal range of 14% to 23% for cadmium, lead and manganese. Cattail (*Typha latifolia*) and vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) removed 45% to 72% of mercury, arsenic, lead, copper and zinc. Concluding that the plant species are very useful in the removal of contaminants from the soil based on the recovery of its quality for future agricultural activities.

**Keywords:** Phytoremediation, contaminated soils, mining tailings.

## I. INTRODUCCIÓN

Al nivel mundial las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en los distintos países, vienen contaminando el suelo con metales pesados, siendo una de las estrategias para su remediación con el uso de plantas, lo que permite el desarrollo y crecimiento de las plantas con un alto porcentaje de biomasa, que permite la extracción de los metales pesados mediante dichas especies fitorremediadoras (Mousavi et al., 2020). Dependiendo del tratamiento y del tipo de metales pesados que acumulan principalmente en la parte radicular de las plantas y sus tejidos, dando un barrido de los suelos contaminados con sustancias tóxicas que afectan su estado natural (Novo et al., 2018).

La industrialización y aumento de la población mundial asociados a la inadecuada disposición final de residuos tóxicos vienen provocando hechos de contaminación en los suelos agrícolas; las especies vegetativas con su capacidad cinética de absorción de metales pesados mediante el proceso de fitorremediación y la evolución del proceso de absorción, cumplen un mayor valor de biomasa de absorción de los metales pesados acumulados en el suelo (Mei et al., 2019).

La operación masiva del sector minero en Perú deja cerca de 600 RMs, lo que genera el riesgo de contaminación ambiental sobre el suelo (Rodríguez, 2020). Los relaves mineros son depósitos de desechos de operaciones mineras actualmente abandonadas que representan un peligro potencial para la salud humana, los ecosistemas circundantes y las propiedades fisicoquímicas del suelo (Chang et al., 2018).

Los metales pesados se clasifican como elementos esenciales y no esenciales según el papel biológico en los organismos; los metales pesados requeridos por el organismo vivo se encuentra en mínimas cantidades (concentración) y se asocian a las funciones fisiológicas y bioquímicas, estos son conocidos como metales esenciales tales como el Mn, Zn, Fe, Ni y Cu (Wu et al., 2021). Los metales que el organismo vivo no requiere para sus funciones se denominan metales tóxicos como Pb, Hg, Cd, As y Cr, que a menudo se denominan metales pesados. La concentración de metales pesados por encima de un cierto límite muestra los efectos severos en las plantas, animales, microorganismos y en los seres humanos (Zhang et al., 2020).

La fitorremediación es uno de los nuevos métodos que a través del uso de plantas tiene el propósito de reducir las concentraciones in situ de contaminantes inorgánicos y orgánicos, incluidos los metales pesados que son letales para los organismos vivos, usando especies vegetales para reducir las concentraciones altas de metales que producen riesgo de movilización nutricional en el suelo (Xie et al., 2020). Estos términos están profundamente relacionados por la presencia de plantas en el suelo que favorecen estabilizar el suelo, haciéndolo menos capaz a la erosión y dispersión eólica, pero en ocasiones también almacenan elementos contaminantes en las raíces, impidiendo su movimiento y desplazamiento (Petelka et al., 2019).

El uso de plantas para descontaminar suelos es una tecnología prometedora dado su potencial fitorremediador. Se utiliza la fitorremediación porque es un proceso ecológico con un enfoque práctico para limpiar suelos contaminados con metales pesados, siendo uno de los métodos más rentables de extracción de metales del suelo. Es por ello que esta investigación evaluará la efectividad de la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros con las diferentes especies vegetales utilizadas en los documentos de investigación. Además, durante el análisis de los artículos de investigación se determinará que las especies han mostrado potencial fitorremediador que puede ser aprovechado con un enfoque sustentable, respondiendo a los desafíos y oportunidades en la fitorremediación para la recuperación de metales pesados de fuentes contaminadas como son los suelos en ambientes netamente alterados dando como biotecnología sostenible en el ámbito medioambiental.

Por consiguiente, se formula el problema general:

**PG:** ¿De qué manera fitorremediar suelos contaminados por relaves mineros?

Seguido de los problemas específicos:

**PE1:** ¿Cuáles serán las especies vegetales usadas en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros?

**PE2:** ¿Cuáles serán los metales pesados removidos por las especies vegetales en suelos contaminados por relaves mineros?

**PE3:** ¿Cuáles serán los porcentajes de remoción por especies vegetales sobre los metales pesados en suelos contaminados por relaves mineros?

Seguidamente se formula el objetivo general:

OG: Evaluar la fitorremediación de los suelos contaminados por relaves mineros.

Los objetivos específicos:

OE1: Identificar las especies vegetales usadas en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros.

OE2: Identificar los metales pesados removidos por las especies vegetales en suelos contaminados por relaves mineros.

OE3: Determinar los porcentajes de remoción por especies vegetales sobre los metales pesados en suelos contaminados por relaves mineros.

## II. MARCO TEÓRICO

De acuerdo al desarrollo de la investigación de revisión sistemática con enfoque cualitativo, la información fue recolectada de bases de datos como Science Direct, Taylor & Francis Online y Springer Link, referente a los años 2018-2022. Como se muestra a continuación.

**Tabla 1:** Antecedentes de investigación

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
1	Pan et al. 2019	Las concentraciones de As, Cd, Pb y Zn en la mina Baoshan, China, excedieron en gran medida el estándar nacional de control de riesgo de calidad ambiental del suelo para la contaminación del suelo de tierras agrícolas. Es por ello que se realizó un estudio de campo para indagar la concentración de metales (loides) en suelos y plantas nativas en el área minera de Baoshan para su posible aplicación en fitorremediación.	Boehmeria nivea, Aster prorerus e Hydrocotyle sibthorpii demostraron potencial para la fitoextracción de Cd debido a su alta acumulación de Cd en los brotes (490,3, 175,4 y 128,5 mg kg <sup>-1</sup> , respectivamente) y alto TF (92,0, 22,1 y 6,7, respectivamente).
2	Wu et al, 2021	El área de estudio fue una forma de relieve kárstica típica ubicada en un terreno baldío río abajo de una mina de pirita en el suroeste del condado de Xingwen, provincia de Sichuan, China. Se realizó un estudio de campo sobre la capacidad de metales pesados en suelos y plantas dominantes en tres sitios (A<0.5 km, B<1.0 km, C<1.5 km) con diferentes distancias de relaves mineros. Se hizo un repartimiento espacial de los metales pesados y el almacenamiento en plantas, y se seleccionaron las especies elegidas para la reparación de ecosistemas.	Los resultados indican que el suelo estaba contaminado con cromo (Cr), cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni) en diversos grados, que es 2.60, 2.07, 1.79 y 4.49 veces más alto que el estándar Clase-II en China. El concentrado de Cd, Ni y Zinc (Zn) aumentó, mientras que Cr, Pb y Cu disminuyó con la distancia a los relaves de la mina.
3	Li et al. 2019	La contaminación por metales pesados (HM) en China es una de las amenazas más graves y potenciales en	Los resultados mostraron que la materia orgánica del suelo y la ureasa, catalasa, fosfatasa todas las

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
		<p>los residuos minerales, tiende a inhibir los procesos de reforma del suelo y el crecimiento de las plantas, y eventualmente amenaza el ecosistema a través de la cadena alimentaria.</p> <p>Se adoptó el diseño de la matriz L16 (4 × 32) para investigar el efecto de diferentes combinaciones en la fitorremediación. Unidades como planta (factor P), microorganismo (factor M) y enmienda (factor A) se optimizaron a través del experimento ortogonal.</p>	<p>actividades de los métodos son de alto control significativo.</p>
4	Nayak et al 2019	<p>La contaminación ambiental por el vertido de relaves de diferentes actividades industriales en el país de la India, se ha convertido en un problema crítico debido al aumento considerable de metales pesados (HM) en todos los compartimentos del medio ambiente, especialmente en los suelos.</p> <p>Se realizó un experimento en macetas para evaluar el efecto del <i>Bacillus cereus</i> nativo Cepa T1B3, que puede producir características que promueven el desarrollo de las plantas, como 1-aminociclopropano-1-carboxilato desaminasa (ACC), ácido indolacético (IAA), generan sideróforos, fijación de nitrógeno y solubilización de fosfato en el crecimiento y la absorción de metales de <i>S. torvum</i> y <i>C. citratus</i> creciendo en suelo contaminado con múltiples metales.</p>	<p>La inoculación de relaves con la cepa T1B3 aumentó significativamente la biomasa, el contenido de pigmentos fotosintéticos, las enzimas y la acumulación de HM (Cr (VI), Zn, Mn, Cd, N, Cu, y Fe) en ambas plantas. Con base en factores de translocación y bio concentración, ambas plantas actuaron como un fito estabilizador potencial de HM en las raíces.</p>
5	Zhang et al. 2019	<p>comparar la eficacia de la restauración de relaves mineros utilizando compost orgánico y plantas nativas (<i>Miscanthus sinensis</i>, <i>Pinus massoniana</i>, <i>Bambusa textilis</i> o una mezcla de las tres). Esta investigación se llevo a cabo en China.</p>	<p>Las comunidades microbianas de los suelos se evaluaron mediante la secuenciación del gen 16S rDNA de alto rendimiento. Se obtuvieron un total de 34.870 secuencias del gen 16S rDNA y se clasificaron en 15 filos bacterianos y 36 géneros. El género dominante en todos los suelos</p>

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
		Como tecnología in situ, la fitorremediación es el método más prometedor para remediar los relaves mineros. Las comunidades microbianas de los suelos se evaluaron mediante la secuenciación del gen 16S rDNA de alto rendimiento. Se obtuvieron un total de 34.870 secuencias del gen 16S rDNA y se clasificaron en 15 filos bacterianos y 36 géneros.	restaurados fue Burkholderia, y la diversidad bacteriana de los suelos restaurados fue mayor que la de los suelos de áreas no restauradas o naturales (sin explotar), siendo la plantación de <i>M. sinensis</i> la que produjo la mayor diversidad.
6	Chang et al. 2018	Para caracterizar nueve especies de plantas nativas, previamente identificadas como potenciales hiperacumuladoras, de áreas impactadas por relaves mineros en la región Ancash. Las plantas se cultivaron en suelos de mina bajo condiciones de invernadero durante 5 meses, luego de lo cual se analizó la concentración de Cu, Cd, Ni, Zn y Pb en raíces, brotes y suelos. Se calcularon la bioacumulación (BAF) y el factor de translocación (TF) para determinar la totalidad de cada metal almacenado en las raíces y brotes y revelar qué especies podrían ser más exactas para fitorremediar.	El mayor BAF se calculó para <i>J. bufonius</i> (Zn, 1,30 y Ni, 3,02); BCF para <i>Calamagrostis recta</i> (Cd, 1,09; Ni, 1,09 y Cu, 1,80), para <i>W. nubigena</i> (Cu, 1,20; Cd, 1,92, Ni, 6,50; Zn, 3,50) <i>J. bufonius</i> (Cd, 3,91; Ni, 18,36 y Cu, 1,79) y <i>Achyrocline alata</i> (Ni, 137; Zn, 1,85); y TF para <i>W. nubigena</i> (Cd, 2,36; Ni, 2,42; Cu, 1,70; Pb, 1,17; Zn, 1,43), <i>A. alata</i> (Cd, 1,14; Pb, 1,94), <i>J. bufonius</i> (Ni, 2,72; Zn, 1.63), y <i>P. clandestinum</i> (Zn, 1.14).
7	Zhun et al. 2022	Demostrar la evaluación comparativa de la fitorremediación para Cd, Pb y Zn en suelos contaminados con relaves de minas de plomo/zinc kársticos por cuatro plantas Compositae ( <i>Crassocephalum crepidioides</i> , <i>Bidens pilosa</i> , <i>Ageratum conyzoides</i> y <i>Cosmos bipinnatus</i> ), en China. Las plantas tolerantes a metales con potencial para la fitorremediación, como la especie de pasto <i>Paspalum sp.</i> y <i>Eriochloa ramosa</i> acumuló concentraciones considerables de As y Cu y <i>Paspalum racemosum</i> acumuló Cu y Zn.	Se observó que todas las especies eran acumuladores de brotes para Cd. <i>C. crepidioides</i> acumuló un máximo de 132,1 y 159,1 mg kg <sup>-1</sup> de Cd en hojas y tallos, respectivamente, y estos resultados fueron superiores a los de las raíces (67,2 mg kg <sup>-1</sup> ) y suelo (75,8 mg kg <sup>-1</sup> ). <i>C. crepidioides</i> se puede considerar como un hiperacumulador de Cd, con una eliminación de Cd de 4,56 % a 9,97 % del suelo contaminado por relaves de minas de plomo/zinc después del

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
			cultivo de una sola temporada.
8	Xie et al., 2020	Para distinguir los conceptos de recuperación, revegetación y fitorremediación, y luego aclarar sus relaciones. Discutir y enfatizar la importancia de los procesos geoquímicos inorgánicos en el estudio de la revegetación directa de relaves mineros sulfurosos. Se realizó una revisión sistemática en la Universidad de Canadá. Para luego dar a conocer que agregar cubiertas sobre los relaves se ha transformado en un método más corriente y directo de recuperación de relaves después del cierre de la mina.	La Fito estabilización modificada se propone como la técnica de fitorremediación más potencial para reducir la movilidad de los metales (loides) en los relaves sulfurosos.
9	Prica et al. 2019	Esta investigación tiene como propósito definir las propiedades químicas de los despojos mineros, determinar las concentraciones de metales pesados en diferentes órganos vegetales y evaluar el potencial fitorremediador de la caña común. Esto fue realizado en Serbia, para ello se recolectaron de 4 a 6 muestras de <i>P. australis</i> dentro de una parcela de 5 m x 2 m. El sedimento se muestreó hasta los 30 cm de profundidad, que pertenece a la zona de la rizosfera.	La presencia de las mayores cantidades de metal en las raíces, el alto factor de bioacumulación y el bajo factor de translocación muestran que <i>P. australis</i> es una especie de planta excluyente con un buen potencial de Fito estabilización.
10	Mousavi et al., 2020	En Irán un estudio realizado buscó identificar especies nativas que crecen naturalmente en condiciones extremas, alrededor de la mina de cobre Qaleh-Zari con suelo salino-sódico contaminado con HM, para encontrar especies de plantas adecuadas para la fitorremediación Se compararon las medias para encontrar la diferencia significativa entre la concentración de HM en suelo, raíces y brotes de la misma especie y también entre especies diferentes para la misma HM.	Estas especies nativas pueden usarse para la Fito estabilización en suelos salinos contaminados con HM para evitar que los HM ingresen a las áreas no contaminadas y al agua subterránea.

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
11	Ghosh & Subodh 2020	En un estudio realizado en la India se evaluó la fitorremediación-biocarbón en suelos mineros contaminados con metales pesados (HM). Para ello se utilizaron Web of Science (WoS) Core Collection, Google Scholar y Science Direct para obtener datos relacionados con la fitorremediación asistida por biocarbón. se centró únicamente en la fitorremediación asistida por biochar de metales pesados contaminados en el suelo de las minas.	Para una técnica holística de biocarbón-fitorremediación, la incineración y la pirólisis pueden eliminar eficazmente la biomasa contaminada. El análisis de costo-beneficio ambiental debe ser considerado antes de considerar la factibilidad de una tecnología.
12	Lu et al. 2021	En un estudio realizado en China tuvo como propósito explorar los efectos del suelo contaminado con Pb en las características de crecimiento de diferentes plantas. Las técnicas de inmovilización, el lavado del suelo y la fitorremediación son métodos comúnmente utilizados para el tratamiento del suelo contaminado. El suelo de prueba se recolectó de 0 a 20 cm de tierra vegetal en el área minera de Tongguan, provincia de Shaanxi (110 2104000 E, 34 3001600 N). Primero se eliminaron los elementos diversos del suelo, las muestras de suelo se secaron al aire y se tamizaron en nailon de 5,0 mm antes de las pruebas en macetas.	Se descubrió que el ajeno y el plátano tienen un gran potencial como plantas de remediación para la contaminación por plomo metálico del suelo en las áreas mineras áridas y semiáridas del noroeste de China.
13	Gajić, et al. 2018	Para evaluar la respuesta adaptativa de la planta al estrés por contaminación y presentar un conocimiento actual en el fitomanejo de depósitos de cenizas volantes, desechos de minas y relaves, se realizó una investigación en Serbia y así mostrar su efectividad. Las plantas nativas seleccionadas deben tener las siguientes características: (a) fácil establecimiento, (b) crecimiento rápido, (c) sistema de raíces profundas, (d) capacidad de fijación de nitrógeno, (e) tolerancia al	La revisión aborda la Fito estabilización, la Fito extracción, la rizo degradación y la Fito degradación como las principales tecnologías verdes de fitorremediación que utilizan plantas para limpiar el área contaminada a niveles seguros.

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
		<p>clima local; f) tolerancia a condiciones fisicoquímicas adversas; (g) crecimiento favorable con otras especies de la mezcla; (h) capacidad para mejorar la fertilidad del sustrato a través del ciclo de nutrientes y la materia orgánica. La eco restauración exitosa se logra mediante la cobertura vegetal autosostenible en base a la intervención humana mediante la siembra de una mezcla de pastos y leguminosas, y la plantación de arbustos.</p>	
14	Qian et al. 2018	<p>Para obtener información primaria sobre las concentraciones de THg y MMHg en las especies de plantas que crecen en terrenos baldíos enriquecidos con Hg en la región minera de Wanshan, China. Utilizó un catalizador de cloruro de mercurio para reciclar Hg. En los sitios de muestreo se observaron calcinas y residuos de catalizadores. Todas las áreas muestreadas eran terrenos baldíos yermos, alejados del agua y caracterizados por pH alcalino, sequía y altas concentraciones de Hg. Las plantas se recolectaron aleatoriamente de los terrenos baldíos de WK, SK, SBK y GX entre el 5 y el 8 de abril de 2015, utilizando una cuadrícula de muestreo regular de 5 m x 5 m. Dentro de cada unidad de muestreo.</p>	<p>Los resultados mostraron que THg y MMHg en plantas y suelos variaron ampliamente, con rangos de 0.076–140 µg/g THg y 0.19–87 ng/g MMHg en raíces, 0.19–106 µg/g THg y 0.06–31 ng/g MMHg en brotes y 0,74–1440 µg/g THg y 0,41–820 ng/g MMHg en suelo.</p>
15	Novo et al. 2018	<p>Para analizar el impacto de PGPR en la fitorremediación de suelos mineros hasta la fecha y discutimos direcciones futuras. La fitorremediación, es una técnica basada en plantas que permite inmovilizar y/o extraer contaminantes ha mostrado resultados prometedores en la recuperación de relaves mineros. Todo ello se realizó en Portugal.</p>	<p>Se sabe que los PGPR otorgan una amplia variedad de efectos beneficiosos, como un mayor crecimiento, una mejor inmunidad y la modificación de la fitodisponibilidad de metales en la rizosfera</p>

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
16	Petelka et al. 2019	Para investigar el nivel de contaminación del suelo y evaluar el potencial hiperacumulador de 25 especies de plantas locales de un antiguo sitio de depósito de relaves de una mina de oro en Ghana. Se llevaron a cabo varias medidas de revegetación, incluidas la estabilización del suelo, la fertilización, el control de la contaminación y la mejora visual.	La biodisponibilidad de los metales (loides) muestreados en el suelo fue generalmente baja debido al contenido alto de pH, materia orgánica y arcilla.
17	Nurafifah et al. 2019	<p>Analizar las respuestas morfológicas, anatómicas y fisiológicas de cuatro plantas productoras de aceite no comestible, a saber, <i>Jatropha curcas</i>, <i>Ricinus communis</i>, <i>Reutealis trisperma</i> y <i>Melia azedarach</i> .y su capacidad para absorber y acumular plomo (Pb) cuando crecen en diferentes concentraciones de relaves de minas de oro en Indonesia.</p> <p>Utilizando plantas que son tolerantes a los contaminantes de metales pesados. Este método ha sido reconocido como un método eficiente y efectivo para reducir los contaminantes, esto se realizó utilizando un diseño completamente al azar que involucra dos factores, cuatro especies diferentes de plantas y tres concentraciones diferentes de relaves (0%, 50% y 100%).</p>	La acumulación de Pb se detectó en la raíz y en los tejidos de las hojas de la planta según el análisis histoquímico. El tratamiento con relaves también provocó un aumento en los niveles de peroxidación de lípidos, como lo indica el aumento del contenido de malondialdehído en las raíces y las hojas.
18	Palutoglu et al. 2018	<p>Se Investigaron la translocación y acumulación de cadmio (Cd) del suelo en 11 plantas nativas a nivel laboratorio en Turquía.</p> <p>Se recolectaron muestras de plantas y suelo del campo, y las concentraciones de Cd se analizaron mediante espectroscopía de masas de plasma acoplado inductivamente. Los valores medios de Cd en suelo, raíces y brotes de plantas nativas en el área de estudio</p>	Estos grupos mostraron <i>Carduus nutans</i> y <i>Phlomis</i> podrían ser plantas potencialmente bioacumuladoras útiles para la fitorremediación de suelos mineros contaminados por Cd.

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
		<p>fueron <math>82,8 \pm 5</math>, <math>55,4 \pm 6</math> y <math>43,5 \pm 4</math> mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.</p>	
19	Andrejić et al. 2019	<p>En Serbia, se evaluaron el potencial de fitorremediación de <i>Miscanthus x giganteus</i> cultivado en los relaves de flotación y se evaluó los efectos del fertilizante mineral NPK en la acumulación de metales y los parámetros fisiológicos y de crecimiento de la planta.</p> <p>Se ha excavado más del 70% del mineral total estimado, que es más de diez millones de toneladas. Después de la trituración mecánica del mineral polimetálico (<math>\varnothing = 75 \mu\text{m}</math>) y el proceso de flotación, se extraen varios metales (plomo, cobre, zinc). Los relaves de flotación restantes se bombean y descargan con agua en forma de lodo en un estanque de relaves, bordeado por un bosque natural (Fig. 1c–e). Se establecieron parcelas experimentales en la pequeña porción de los relaves de flotación abandonados temporalmente (Fig. 1e-g). Las condiciones climáticas en los campos experimentales durante el crecimiento de las plantas, de marzo a junio de 2017.</p>	<p>Los cambios a nivel fisiológico dieron como resultado una senescencia foliar pronunciada, una tasa de crecimiento de la planta reducida y la utilidad anual de biomasa. La fertilización mejoró la absorción de metales por las raíces, pero no tuvo efecto sobre su translocación a las hojas.</p>
20	Kachenga et al. 2020	<p>Se investigó el potencial de fitorremediación de las plantas autóctonas que crecen en las represas de relaves de la mina Nchanga en Chingola, Zambia.</p> <p>Se tomaron muestras de tres parcelas de cada uno de los dos cuadrantes del Área de Muestreo Dos. Se recolectaron muestras compuestas de suelo de las parcelas y se recolectaron y analizaron un total de 175 individuos de 16 especies de plantas herbáceas y gramíneas. Usó la espectrofotometría de absorción</p>	<p>Los hallazgos del estudio mostraron que las concentraciones de Zn y Cu en el suelo oscilaron entre 15.617,47 mg/kg y 891,41 mg/kg y entre 20,73 mg/kg y 96,85 mg/kg, respectivamente.</p>

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
		atómica para establecer las concentraciones de cobre (Cu) y zinc (Zn) en los suelos y especímenes de plantas.	
21	Afonso et al. 2020	Para determinar la concentración de macro y micronutrientes y metales en la biomasa de estas especies vegetales, se realizó la experimentación de once especies en Brasil, por concentraciones de metales pesados en su biomasa. Todas las especies mostraron concentraciones de cobre superiores a 100 mg kg <sup>-1</sup> , y siete especies destacaron por concentraciones de cobre entre 321 y 586 mg kg <sup>-1</sup> y estas especies mostraron concentraciones de Cr entre 25 y 440 mg kg <sup>-1</sup> .	Se destacaron las especies <i>S. viarum</i> Dunal y <i>B. trimera</i> Less presentando las mayores concentraciones de Cr (586 mg kg <sup>-1</sup> ) y Cu (440 mg kg <sup>-1</sup> ), respectivamente. Siete especies mostraron potencial de fitoextracción de Pb y cuatro especies mostraron potencial de fitoestabilización de Cu.
22	Liu et al. 2020	Para examinar las concentraciones de los metales pesados Mn, Cd, Pb, Zn y Cu en el suelo de los relaves mineros en China. Las concentraciones totales de metales pesados variaron de 440 a 15 590 mg kg <sup>-1</sup> para Mn, 5,01 a 20,7 mg kg <sup>-1</sup> para Cd, 101 a 319 mg kg <sup>-1</sup> para Pb, 546 a 1693 mg kg <sup>-1</sup> para Zn y 116 a 180 mg kg <sup>-1</sup> para Cu. De acuerdo con la evaluación de la contaminación del suelo mediante índices de contaminación únicos y el índice multifactorial de Nemerow, el suelo de relaves tenía un alto nivel de contaminación.	Las plantas exhibieron el factor de bioconcentración más alto para Pb, y los valores promedio para raíces, tallos y hojas fueron 2.56, 1,45 y 1,70, respectivamente. Hubo relaciones positivas (P < 0.01) entre el Mn, Cd, Zn y Cu del suelo y el Pb de la planta; Se encontraron resultados similares para metales pesados del suelo y Mn de hoja/tallo.
23	Liu et al. 2020	Se realizó para revelar los patrones de co-ocurrencia y los factores reguladores clave de las comunidades bacterianas en relaves mineros REE de adsorción de iones con fitorremediación en China. Se realizó un experimento de campo en un relave de mina REE de adsorción de iones para probar tres estrategias de fitorremediación: (i) fitoestabilización con	Los suelos de las parcelas con hiperacumuladores REE tenían una diversidad $\alpha$ significativamente mayor que aquellos plantados con no acumuladores. Después de la fitorremediación, la diversidad y la abundancia relativa de bacterias que ayudan en la adquisición de nutrientes aumentaron notablemente en la mayor parte del

N°	AUTOR	METODOLOGÍA / DESCRIPCIÓN	RESULTADO
		pastos, (ii) fitoestabilización con cultivos económicos y (iii) fitoextracción con hiperacumuladores de REE.	suelo de las parcelas recuperadas.
24	Thenmozhi et al. 2020	En Oman utilizaron la capacidad de absorción selectiva de algunas plantas a través de sistemas de órganos subterráneos (raíces y rizomas), que eliminan, contienen o modifican los contaminantes ambientales como inofensivos. Se evaluaron parámetros de crecimiento como la altura de los brotes y el peso de la biomasa (fresca y seca). El ricino mostró un alto índice de tolerancia (TI) en suelos de mina de Cu. El mayor TI se calculó para la masa fresca de higuierilla en suelo E con un porcentaje de 405,99.	El número efectivo de plantas calculado (PENt) indicó la necesidad de 253 plantas de ricino para eliminar 1 g de Cu del suelo E. La capacidad de la higuierilla para crecer bien en suelos de minas de Cu sugiere que puede utilizarse para la eliminación de Cu y otros metales pesados.
25	Deep et al. 2020	Para determinar la translocación y la bioconcentración de Hg del suelo a la planta, en la India se estableció un montaje experimental de fitorremediación rociando el suelo con concentraciones variables de mercurio (Hg) (Tratamiento: T1:10; T2:50; T3:100; T4:500 y T5:1000 mg Hg/kg de suelo). La capacidad de eliminación de Hg de la planta de mostaza india se determinó después de 30, 60 y 90 días de exposición.	El mayor porcentaje de acumulación de Hg (81%) y glutatión (14 mg/kg) se observó en las plantas del tratamiento T4 y T5, respectivamente a los 90 días de exposición, lo que indica un alto nivel de tolerancia al estrés por Hg. A los 90 días de exposición, el contenido de clorofila a en hojas cultivadas en suelo libre de Hg (suelo de control) fue 1,8, 2,4, 2,8, 3,6 y 4,4 veces mayor que el tratamiento T1, T2, T3, T4 y T5, respectivamente.

La contaminación del suelo es la presencia en el suelo de una sustancia química o agente que no está presente en el suelo y/o está presente en concentraciones superiores a las normales que tienen efectos adversos en cualquier organismo no objetivo (FAO, 2018). Sin embargo, gran parte de los contaminantes son de origen antrópico, algunos pueden suceder ciertamente en el suelo como mecanismos de minerales y pueden ser tóxicos en altas concentraciones. La contaminación del suelo a menudo no se puede evaluar o percibir directamente a simple vista, lo que la convierte en un peligro potencial (Li et al., 2019).

Los relaves mineros son residuos de la recuperación y mutación de minerales incluyendo las fases sólida, líquida y gaseosa; que, dependiendo de sus propiedades químicas y físicas, se debe controlar a diversos manejos para transportarlo y luego disponerlo en represas, almacenes, o en otros países, donde se utilizan como subproductos a través de alternativas económicas circulares en el relleno del suelo del edificio, produciendo pilotes, bloques, cemento y más (Pandey et al., 2019).

La remediación de plantas se puede definir como una biotecnología basada en la manipulación de plantas para disminuir la concentración local o el peligro de sustancias inorgánicas y orgánicas en el suelo, sedimentos, aire y agua, que se derivan de procesos bioquímicos ejecutados por microorganismos y plantas relacionados. con sus sistemas de raíces resultando en la reducción, degradación, mineralización, evaporación y estabilización de diferentes tipos de agentes tóxicos (Vila et al., 2019).

Los mecanismos de fitorremediación son la Fito acumulación o Fito extracción que implica la absorción de agentes tóxicos por la parte radicular de las plantas; debido a la aptitud que tienen ciertas plantas de almacenar tóxicos en sus raíces, follaje o tallo. Este método se ha analizado largamente en plantas que sujetan metales y, más recientemente, con materiales radiactivos (Wei et al., 2019).

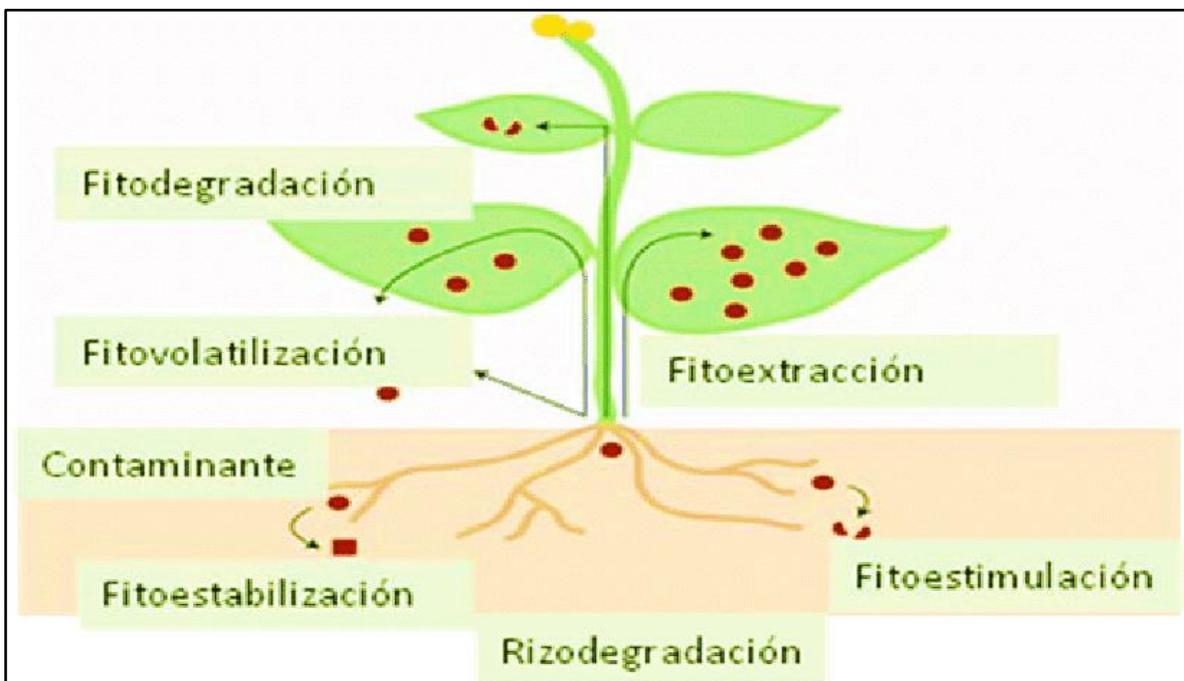
La rizofiltración usa plantas cultivadas en hidroponía, se opta por plantas de raíces extensas y áreas de superficie para, concentrar, absorber y precipitar agentes tóxicos (Xu et al., 2019)

En la rizodegradación o fitoestimulación , las plantas producen un exudado de raíces que estimula el desarrollo de microorganismos nativos idóneos para reducir elementos orgánicos xenobióticos (Zhang et al., 2020).

La fitoestabilización es una técnica utilizada por las plantas que genera densos sistemas radiculares que le permiten comprimir la biodisponibilidad y movilidad de los agentes tóxicos, impidiendo su movilidad a las capas inferiores del suelo o a la atmósfera (Yu et al., 2019).

La Fitodegradación implica convertir agentes tóxicos orgánicos en elementos más sencillos. En algunos casos, los productos de reducción son utilizados por la planta para apresurar su desarrollo, en ciertos casos, los tóxicos son biotransformados (Tang et al., 2019).

La Fitovolatilización ocurre cuando las plantas en desarrollo absorben agua junto a los contaminantes orgánicos e inorgánicos llegando hasta las hojas y evaporándose en la atmósfera (Ren et al., 2018).



**Figura 1:** Mecanismos de fitorremediación

Fuente: Ren, 2018

Las especies vegetales son provechosos para los organismos vivos porque pueden producir oxígeno y eliminar gas. Ayuda a eliminar el exceso de agua en forma de vapor de agua a través de los estomas, que son agujeros microscópicos en la parte inferior de las hojas. Tienen una técnica que les permite abrirse o cerrarse, según la cantidad de agua que necesite la planta, y eliminar el exceso en forma de vapor

de agua. La transpiración vegetal es la técnica por el cual se devuelve aire limpio a la atmósfera (Afonso et al., 2019).

La *Thlaspi caerulescens*. Es una pequeña planta herbácea con un asterisco en la base de la que uno o más tallos cortos sin ramas con hojas pequeñas terminan en un denso racimo de pequeñas flores blancas. Es una planta silvestre, también se sabe que *T. caerulescens* tiene excelentes propiedades de absorción de cadmio y, según algunos informes, también absorbe zinc. Por este motivo, se utiliza en procesos de tratamiento biológico (Banerjee et al., 2018).

La *Vertiveria cizanioides* es un pasto vetiver puede tener hasta 1,5 m de altura, tallo alto, hojas largas, delgadas y duras. Sus semillas no son fructíferas, por lo que es una planta ecológicamente segura. Es considerablemente utilizado en biotecnología para el control de la erosión; remediación vegetal de polución de agua y suelos con metales pesados, hidrocarburos, agroquímicos y otros contaminantes (Colin et al., 2019).

La *Pistia stratiotes* pertenece al género *Pistia*. Esta planta acuática pertenece a la familia *Araceae*, usualmente conocida como col de agua o lechuga de agua, comúnmente utilizada en acuarios tropicales para criar gambas y pequeños peces. También es útil para competir con las algas en la disponibilidad de alimentos en el agua, evitando así la proliferación masiva de algas (Ghazaryan et al., 2019).

La *Betula pubescens* es un árbol caducifolio de hasta 20 metros de altura. los tallos tienen una corteza blanca y lisa, se pueden pelar en anchas tiras horizontales; En la base hay un crujido que es oscuro. Las hojas son ovales, triangulares o rómbicas, afinándose hacia el ápice y sus bordes irregularmente dentados. Las flores femeninas y masculinas se usan en colgantes (Hauptvogel et al., 2021).

En cuanto a los metales pesados son elementos naturales de la corteza terrestre. Como oligoelementos, algunos metales pesados (por ejemplo, selenio, cobre, zinc) son fundamentales para conservar el metabolismo humano. Por lo tanto, en altas concentraciones pueden provocar envenenamiento. Son peligrosos porque suelen bioacumularse. La bioacumulación parece ser un incremento en la concentración de un agente químico en un organismo a lo largo del tiempo, en relación con su concentración en el medio ambiente (Midhat et al., 2019).

El mercurio es un componente natural que habita en la corteza terrestre, como en los depósitos de carbón. Tiene el símbolo "Hg" en la tabla periódica y el número

atómico es 80. Existe en varias formas: metilmercurio y otros compuestos orgánicos, metálico, compuestos inorgánicos de mercurio. Se vuelve en un problema ambiental cuando se libera de las rocas y llega a la atmósfera y al agua. Estas emisiones pueden suceder naturalmente. Los volcanes y los incendios forestales liberan mercurio a la atmósfera (Mei et al., 2019).

El plomo es un mineral que se halla naturalmente en la corteza terrestre. Se pueden encontrar en todas partes de nuestro entorno, como el agua, aire y el suelo. El plomo se puede adoptar con otros productos químicos para producir varios compuestos. Puede afectar a casi cualquier órgano o sistema del cuerpo. El sistema nervioso es el más afectado por el envenenamiento por plomo en niños y adultos (Narayanan et al., 2021).

El cadmio se halla en la corteza terrestre. Todos los tipos de suelo y roca, incluidos los agroquímicos y carbón, contienen cadmio. La exposición al cadmio ocurre principalmente en lugares de trabajo donde se fabrican productos que contienen cadmio. Una de las vías de exposición ocupacional son la inhalación de polvo y gases, y la ingestión accidental de polvo de las manos, tabaco o alimentos contaminados (Odoh et al., 2019).

El zinc es un metal que a veces se clasifica como metal de transición porque tanto el metal como sus cationes tienen un conjunto orbital completo. Este elemento es algo similar al magnesio y su grupo de cadmio, pero difiere significativamente del mercurio debido a sus propiedades químicas y físicas únicas (contracción lantánida y fuertes efectos relativistas en los orbitales de enlace) (Petelka et al., 2019).

El boro es un elemento con un electrón vacante en un orbital; por esta razón, tiene mucha sed de electrones, por lo que sus compuestos a menudo se comportan como ácidos de Lewis, reaccionando rápidamente con sustancias ricas en electrones. Las propiedades ópticas de este elemento incluyen la transmisión por infrarrojos. A temperatura ambiente, la conductividad es baja, pero es un buen conductor a altas temperaturas (Qian et al., 2018).

El silicio es el elemento electropositivo con más abundancia en la corteza terrestre. Es un cuerpo metálico con un brillo metálico pronunciado y es extremadamente frágil. Es un material inerte que carece de las propiedades de causar fibrosis del tejido pulmonar. Sin embargo, se ha observado lesión pulmonar leve en animales de laboratorio sometidos a inyección intratraqueal de sílice (Tang et al., 2019).

El arsénico es un elemento presente de forma natural en la superficie terrestre se utiliza para conservar el madero, como insecticida y en varias industrias. Pasa a formar parte del agua, el aire y el suelo a través del polvo que transporta el viento. La exposición al arsénico puede traer consecuencias en la salud. La exposición a largo plazo a bajas concentraciones puede cambiar el color de la piel y puede ser fatal (Colin et al., 2019).

El telurio se utilizó por primera vez como aditivo del acero para aumentar su ductilidad, como agente abrillantador en la galvanoplastia, como aditivo en un catalizador para la descomposición catalítica del petróleo, como colorante para el vidrio y como aditivo conductor para aumentar su durabilidad. Y anticorrosión. Son teratogénicos y solo deben ser manipulados por químicos autorizados porque beber incluso pequeñas cantidades causa un mal aliento y un olor corporal horrible (Ghosh y Subodh, 2020).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

Tipo de investigación: El tipo de investigación que se utilizó es básica, también llamada como pura o fundamental, tiene la característica que se basa en fuentes de marcos conceptuales y se mantiene un objetivo para un avance del conocimiento científico, pero no lo opone a ningún aspecto práctico (Muntane Jordi, 2010)

Es por ello que la investigación se basó en un análisis documental, la cual se dio solución a los problemas y objetivos planteados en la investigación. Asimismo, dando respuesta a las categorías y subcategorías del proyecto de investigación de fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros por especies vegetales.

Diseño de Investigación: El diseño de investigación que se utilizó fue narrativa pues se entiende como una forma de recopilación de información en el que la historia representa una realidad viva, ya que la realidad de los análisis de interpretaciones se convierte en texto y forma los datos analizados en el proceso entre los participantes y el investigador (Cardona Ana et al. 2015)

#### **3.2. Categorías, sub categorías y matriz de categorización apriorística**

**Tabla 2:** Matriz de categorización apriorística

<b>Título:</b> Fitorremediación de Suelos Contaminados por Relaves Mineros					
<b>Objetivo específico</b>	<b>Problema específico</b>	<b>Categoría</b>	<b>subcategoría</b>	<b>Criterios</b>	<b>Referencias</b>
Identificar las especies vegetales usadas en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros.	¿Cuáles serán las especies vegetales usadas en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros?	Especies Vegetales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de especies vegetales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thlaspi Caerulescens</li> <li>• Vertiveria Zizanioides</li> <li>• Pistia Stratiotes</li> <li>• Betula Pubescens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qian et al. 2018</li> <li>• Petelka et al. 2018</li> <li>• Andrejic et al. 2019</li> <li>• Kachenga et al. 2020</li> </ul>
Identificar los metales pesados removidos por las especies vegetales en suelos contaminados por relaves mineros.	¿Cuáles serán los metales pesados removidos por las especies vegetales en suelos contaminados por relaves mineros?	Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metales</li> <li>• Metaloides</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercurio (Hg)</li> <li>• Plomo (Pb)</li> <li>• Cadmio (Cd)</li> <li>• Zinc (Zn)</li> <li>• Boro (B)</li> <li>• Silicio (Si)</li> <li>• Arsénico (As)</li> <li>• Telurio (Te)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pan et al. 2019</li> <li>• Wu et al. 2021</li> <li>• Nayak et al. 2019</li> </ul>
Determinar los porcentajes de remoción por especies vegetales sobre los metales pesados en suelos contaminados por relaves mineros	¿Cuáles serán los porcentajes de remoción por especies vegetales sobre los metales pesados en suelos contaminados por relaves mineros?	Eficiencia de remoción de metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Porcentaje (%)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• % de remoción de metales pesados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chang et al. 2018</li> <li>• Zhun et al. 2022</li> <li>• Prica et al. 2019</li> <li>• Palutoglu et al. 2018</li> </ul>

### 3.3. Escenario de estudio

Por ser una investigación narrativa, del cual fue en base a una recopilación de información y datos encontrados en artículos científicos a nivel internacional, toma como el escenario de estudio a los laboratorios, documentos y lugares de campos en la que los investigadores realizaron sus análisis y tomaron muestras en el desarrollo de sus investigaciones.

### 3.4. Participantes

En cuanto a los participantes de la investigación fueron las páginas web científicas que nos permitieron adquirir diversas literaturas usadas para añadir al estudio; siendo estos participantes páginas indexadas como: Science Direct, Taylor & Francis Online y Springer Link.

**Tabla 3:** Base de datos

Item	Base de datos	Dirección
1	Science Direct	<a href="https://www.sciencedirect.com/">https://www.sciencedirect.com/</a>
2	Taylor & Francis Online	<a href="https://www.tandfonline.com/">https://www.tandfonline.com/</a>
3	Springer Link	<a href="https://link.springer.com/">https://link.springer.com/</a>

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

Análisis Documental: Es una actividad intelectual que produce un subproducto o documento secundario que sirve como técnica intermediaria o de investigación compulsiva entre el documento original y el usuario que ha solicitado la información. (Castillo Lourdes, 2005)

Ficha de recolección de información de datos: Estas fichas serán usadas en la recopilación de la información del artículo mediante los análisis realizados al documento, finalmente serán establecidos en los resultados de la investigación. (Ver en anexo 1, 2 y 3 de la investigación). los instrumentos son donde se plasman por escrito la información importante que se dará uso en los procesos de búsqueda de información y que deseamos tener al alcance de nuestras manos en cualquier momento del desarrollo de la investigación (Castro Amy, 2015)

### 3.6. Procedimientos

El Procedimiento de la investigación se dio en 3 etapas, estos son esenciales para la recopilación de información, donde se seleccionaron en una secuencia sistemática, ordenada y objetiva. Se utilizaron fuentes como: ScienceDirect, Taylor & Francis Online y Springer Link. Para ello cada base de datos se usaron palabras claves ideales en idiomas inglés y español.

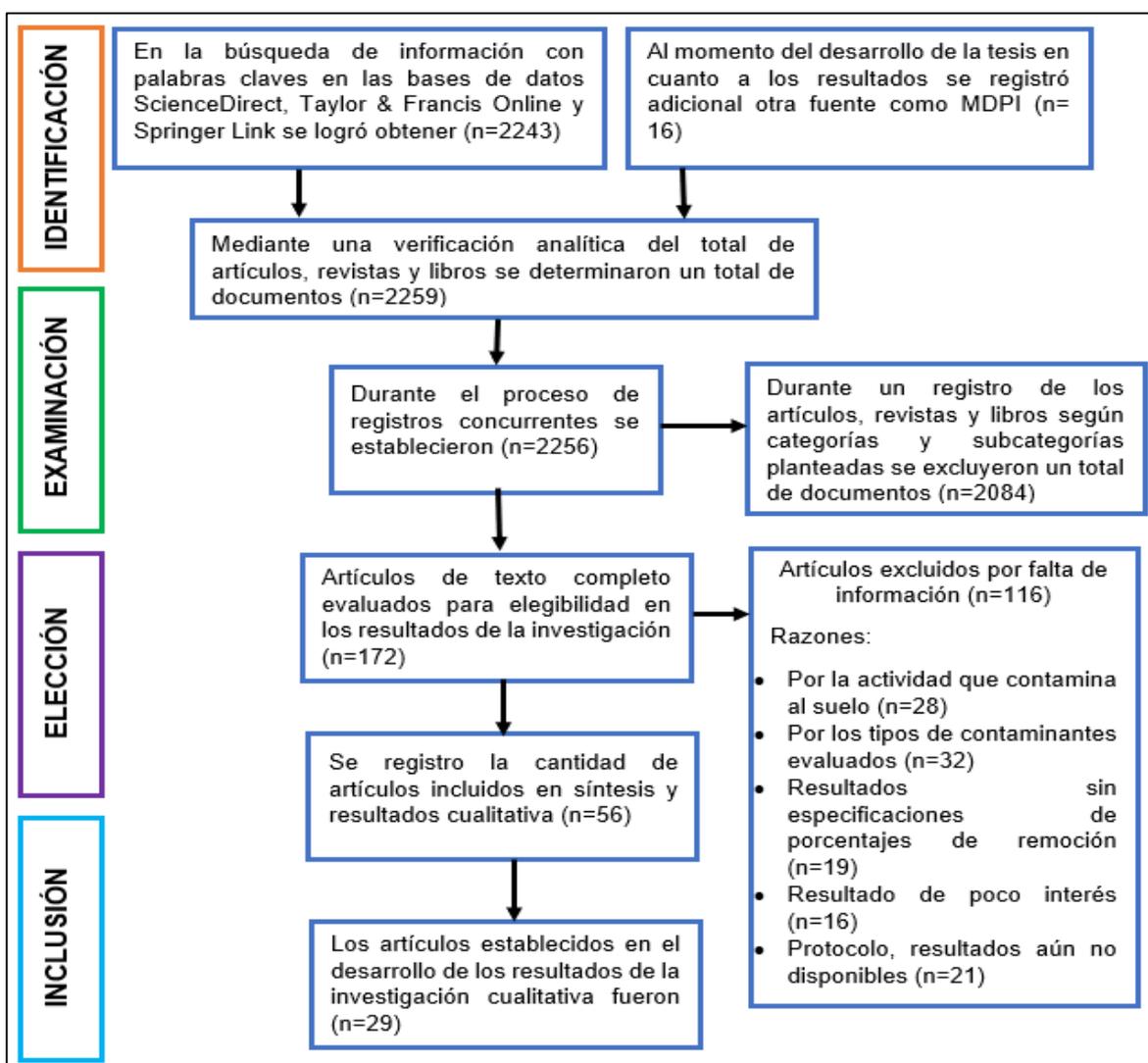


Figura 2: Diagrama de flujo de los artículos utilizados

### **3.7. Rigor científico**

Los artículos manejados se basaron en explicaciones hipotéticas proporcionadas por los autores de las revisiones indexadas, y las investigaciones descritas son confiables, altamente precisas, informativas y positivas.

Valor de verdad: Esto significa evaluar la situación en la que la investigación se considera creíble. Por esta razón, es fundamental seguir el proceso realizado en la investigación y buscar discusiones creíbles que puedan ser corroboradas por los resultados de la investigación realizada. (Jimenez María, 2011)

Aplicabilidad: Los resultados de este estudio no podrán ser transferidos o aplicados a otros contextos y/o áreas de comportamiento siempre y cuando sean de la naturaleza social y compleja del fenómeno objeto de estudio. Este es un estándar perfectamente correcto. (Jimenez María, 2011)

Dependencia: Involucra el nivel de estabilidad o consistencia de los resultados y hallazgos del estudio. (Jimenez Maria, 2011)

Confirmabilidad: No se evita el nivel de participación del investigador en el estudio. En cualquiera de los dos casos, si los datos no están sesgados y no responden a los datos, brinda suficiente seguridad para el proceso de investigación, que es producto de la información arrojada por la herramienta utilizada. (Jimenez María, 2011)

### **3.8. Método de análisis de datos**

El análisis dentro de la investigación es el proceso que consistió en la realización de los procedimientos a los que los investigadores sometieron la información recabada con la finalidad de alcanzar los objetivos que el estudio se propone. Es por ello que en conjunto plantearemos las técnicas e instrumentos de recolección de la información dentro de nuestra investigación, debe de plantearse un plan de análisis, que nos permitió orientar la forma en que se proceso la información (Rámirez, 2015).

Se utilizará como método de análisis una descripción de la evidencia en un documento ya creado. Esto permitirá recopilar, almacenar, clasificar, comparar o interpretar el porcentaje de conjuntos de datos recopilados en términos de fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros en los programas Excel y Word.

### **3.9. Aspectos éticos**

Los aspectos éticos con los que cumplió la investigación son: El cumplimiento de la normativa vigente establecida por la universidad Cesar Vallejo, Resolución rectoral 0089-2019. Uso estricto del manual de Referencia estilo ISO-690 Calidad del presente documento mediante el programa Turnitin demostrando la autenticidad del trabajo presentado por los autores.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1. Especies vegetales usadas en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros.

De acuerdo al desarrollo de la investigación respecto al tipo de especies vegetales utilizadas en la absorción de metales pesados acumulados en el suelo por relaves mineros, Se muestra en la tabla 4 el número de plantas que fueron utilizadas por diferentes autores.

**Tabla 4:** Especies vegetales usadas en fitorremediar suelos contaminados

Espece vegetal	Características de la planta	Tipo de contaminates removidos	Fuente
<i>Solanum torvum</i> y <i>Cymbopogon citratus</i>	CC: Es una planta herbácea, perenne, aromática y robusta que se propaga por esquejes y pertenece a la familia de las Gramíneas. Las flores se reúnen en espiguillas de 30-60 cm de longitud formando racimos.  ST: Es usada en horticultura como porta-injertos para la berenjena. La planta injertada es más vigorosa y es inmune a las enfermedades de la raíz. El arbusto tiene una altura de 2-3 metros y	CC: logró remover Cr: 120%, Fe: 151%, Mn: 101%, Ni: 109%, Zn: 170% y Co: 129%.  ST: logró remover Cr: 170%, Fe:112%, Mn:103%, Ni:120%, Zn:129% y Co: 83%	Nayak et al. 2019

	generalmente un solo tallo a nivel del suelo.		
<i>Paspalum conjugatum</i>	Las características de este pasto es que las flores son tipo espiguillas solitarias, en dos filas, ovadas, color paja, de 1.3 a 1.9 mm de longitud por 0.8 a 1.2 mm de ancho y adpresas a los ejes.	Determinaron que las concentraciones de Cd y Pb acumuladas en la <i>P. conjugatum</i> fueron de 98,33% y 137%, Demostrando que la <i>P. conjugatum</i> , reduce significativamente las concentraciones de Pb y Cd en el suelo	Zhang et al., 2020
<i>Basella Albal.</i>	La espinaca india tiene hojas de 25-65(-80) × 25-55 mm, la base cortamente angostada a truncada o ligeramente cordata, el ápice redondeado-obtuso con nervadura; pecíolo (2-)5-15(-18) mm, frecuentemente rojizo.	Mediante la aplicación de <i>Basella Albal</i> redujo la concentración de Pb en los brotes entre un 76,9 y un 78,0 %.	Faysal et al., 2021
<i>Heteropogon contortus</i>	Las características de las plantas es que crece hasta 1,5 metros (4,9 pies) de altura, desarrollan semillas oscuras con un solo arista largo	La siembra de <i>Heteropogon contortus</i> tuvo una absorción de Cd por la planta en 42%.	Long et al., 2022

		probablemente debido a la limitación de difusión dominante de la especie vegetal.	
<i>Polygonum capitatum</i> , <i>Boehmeria nivea</i> , <i>Chrysanthemum indicum</i> , <i>Miscanthus floridulus</i> , <i>Conyza canadensis</i> , <i>Rubus setchuenensis</i> , <i>Senecio scandens</i> y <i>Arthraxon hispidus</i>	Hierba perenne a veces con la base leñosa, con pelos glandulosos, el tamaño de 20 a 50 cm de largo y hasta 10 cm de alto, el tallo sobre el suelo y con las puntas ascendentes, su color tiende al café o rojizo-purpúreo, con raíces en los nudos inferiores.	El suelo estaba contaminado con cromo (Cr), cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), Plomo (Pb), Zinc (Zn) en diversos grados. Donde las especies vegetales mostraron notables capacidades de fitoestabilización en 66.67%, 21.43%, 100% como un potencial a la fitorremediación.	Wu et al., 2021
<i>Werneria nubigena</i> , <i>Juncus bufonius</i> L., <i>Calamagrostis recta</i> , <i>Achyrocline alata</i> , <i>Cortaderia jubata</i> , <i>Medicago lupulina</i> L y <i>Stipa ichu</i> .	La características de las especies vegetales raramente alcanza más de un palmo de altura y a menudo crece entre 10 a 35 cm. Los tallos y hojas tienen la base de color rojizo y a veces toda la planta adquiere este color.	El mayor BAF se calculó para <i>W. nubigena</i> (Cd, 1,92%; Cu, 1,20%; Ni, 6,50%; Zn, 3,50%) y <i>J. bufonius</i> (Ni, 3,02%; Zn, 1,30%); BCF para <i>Calamagrostis recta</i> (Cd, 1,09%; Cu, 1,80%; Ni, 1,09%), <i>J. bufonius</i> (Cd, 3,91%; Cu, 1,79%; Ni, 18,36%) y <i>Achyrocline alata</i> (Ni, 137%; Zn, 1,85%); y TF para <i>W. nubigena</i> (Cd,	Chang et al., 2018

		2,36%; Cu, 1,70%; Ni, 2,42%; Pb, 1,17%; Zn, 1,43%), <i>A. alata</i> (Cd, 1,14%; Pb, 1,94%), <i>J. bufonius</i> (Ni, 2,72%; Zn, 1.63%) y <i>P. clandestinum</i> (Zn, 1.14%).	
Especies de plantas como <i>Miscanthus floridulus</i> y <i>Stenoloma chusanum</i> .	Las Características de la <i>Miscanthus floridulus</i> es que sus hojas son angostas y alargadas, tiene un tamaño promedio de 37 cm, para la <i>Stenoloma chusanum</i> el tamaño de la planta es de 4 a 7 cm y sus hojas son de color verde oscuro.	La mayor parte del Cu se secuestró en las 2 especies vegetales alrededor de la superficie de la raíz/epidermis, formando principalmente especies similares al alginato de Cu como un mecanismo de tolerancia al Cu logrando una efectividad de acumulación de 8 a 17%	Cui et al., 2020
<i>Solanum Viarum</i>	La planta mostró las características de 1 – 2 m de alto con espinas de hasta 3 cm de longitud en las hojas, pecíolos y tallos. Donde las concentraciones promedio de los metales presentes en la biomasa seca variaron entre los brotes y las raíces.	La efectividad de remoción por <i>Solanum Viarum</i> sobre el Cu (89%), Zn (32%), Mn (51%), Cr (82%), Ni (78%), Pb (33 %) y Ba (23%).	Afonso et al. 2019

<i>Solanum viarum</i> y <i>B. trimera</i>	Las plantas autóctonas encontradas mostraron tolerancia a los metales tóxicos. Además tiene una altura de 1 a 2 m, con flores blancas pegadas desde el tallo; sus tallos tienen hojas y espinas que miden de 1 a 3 cm de largo y son recurvadas.	Se lograron las mayores remociones de las concentraciones de Cr en 86% y Cu en 40% respectivamente de los suelos contaminados.	Afonso et al. 2020
<i>Miscanthus x giganteus</i>	Es una gramínea perenne, se reproduce de forma vegetativa por yemas del rizoma. Además los carotenoides mostraron una tendencia opuesta en comparación con la observada, siendo significativamente mayor en todos los estresados por metales. Algunas tuvieron menos tasas de supervivencia.	Los autores usaron la especie vegetal <i>Miscanthus x giganteus</i> donde tuvo la capacidad de remover las concentraciones de Cu en hojas de 20 a 100%.	Andrejic et al. 2019
<i>Hierba vetiver, Chrysopogon zizanioides (L.)</i>	Es una planta herbácea, una gramínea, perenne, sin tallo aparente. Debido a la acumulación de metales en los tejidos de las plantas condujo al daño oxidativo inducido por especies reactivas de oxígeno (ROS).	La aplicación de chrysopogon confirmó la captación y localización de Fe en las raíces y brotes de las plantas cultivadas en los suelos de la mina. El contenido de Fe fue evidentemente más alto en suelo OB	Banerjee et al. 2019

		seguido por el metales Cr, Zn, Mn y Cu.	
<i>Werneria Nubigena</i>	La planta tuvo una capacidad para acumular y transferir metales y tolerantes en ambientes altamente contaminados por metales en la región andina.	Las aplicación de <i>Werneria Nubigena</i> removi6 las concentraciones de metales en los brotes que fueron m6s altas en Cd, 68%; Cu, 41% ; Ni 85 %; Zn, 91%.	Chang et al. 2018

Según la investigación de Zhang et al. (2020), utilizó *Paspalum Conjugatum* para eliminar Cadmio y Plomo, logrando acumular de 98,33% y 137%, respectivamente. En tanto a la planta, las flores son tipo espiguillas solitarias, en dos filas, ovadas, color paja, de 1.3 a 1.9 mm de longitud por 0.8 a 1.2 mm de ancho y adpresas a los ejes A comparación del estudio en Faysal et al. 2021 que utilizó *Basella Albal* que redujo la concentración de Plomo en un 76.9%.y la planta tuvo un aspecto totalmente rojizo. Sin embargo, Long et al. (2022) empleó *Heteropogon Contortus* para absorber Cadmio un total de 42%, además que las plantas desarrollaron semillas oscuras.

En la investigación realizada por Wu et al. (2021), hizo uso de diversas plantas tales como *Polygonum capitatum*, *Boehmeria nivea*, *Chrysanthemum indicum*, *Miscanthus floridulus*, *Conyza canadensis*, *Rubus setchuenensis*, *Senecio scandens* y *Arthraxon hispidus*, de los cuales gran parte de ellos son plantas herbáceas de 20 a 50 cm de largo. Estas plantas mostraron notables capacidades de fitoestabilización en 66.67%, 21.43%, 100% como un potencial a la fitorremediación. Un estudio similar tuvo Chang et al. (2018) que también experimento con diversas plantas herbáceas tales como *Werneria nubigena*, *Juncus bufonius* L., *Calamagrostis recta*, *Achyrocline alata*, *Cortaderia jubata*, *Medicago lupulina* L y *Stipa ichu*, dichas especies crecen a menudo de 10cm a 35 cm y de color rojizo. Logrando remover para *W. nubigena* (Cd, 1.92%; Cu, 1.20%; Ni, 6.50%; Zn, 3.50%) y *J. bufonius* (Ni, 3.02%; Zn, 1.30%); BCF para *Calamagrostis recta* (Cd, 1.09%; Cu, 1.80%; Ni, 1.09%), *J. bufonius* (Cd, 3.91%; Cu, 1.79%; Ni, 18.36%) y *Achyrocline alata* (Ni, 137%; Zn, 1.85%); y TF para *W. nubigena* (Cd, 2.36%; Cu, 1.70%; Ni, 2.42%; Pb, 1.17%; Zn, 1.43%), *A. alata* (Cd, 1.14%; Pb, 1.94%), *J. bufonius* (Ni, 2.72%; Zn, 1.63%) y *P. clandestinum* (Zn, 1.14%).

En el caso de Cui et al. (2020), empleo dos plantas tales como *Miscanthus floridulus* y *Stenoloma chusanum*, tienen 4 a 7cm de altura y suelen tener hojas color verde oscuro, dichas plantas obtuvieron una efectividad de acumulación de 8 a 17%. Así mismo Afonso tuvo dos investigaciones dadas en el (2019) y (2020), en la cual utilizó *Solanum Viarum* y *B. trimera* la cual son tolerantes a los metales

toxicos , las raíces de dichas plantas tienen grandes concentraciones de Cr (86%) y Cu (40%), respectivamente. Andrejic et al. (2019), utilizó una planta distinta a los estudios anteriores tal como *Miscanthus x giganteus*, esta planta fue sometida a estrés por metales y pocas tuvieron tasas de supervivencia, así mismo se considera que el cobre es tóxico para esta planta debido a la acumulación de 20 a 100%.

Por último en la investigación realizada por Banerjee et al. (2019), utilizó la hierba vetiver *Chrysopogon zizanioides*(L.) para remover metales pesados sufriendo un daño oxidativo pero logrando remover un 86% de Fe. Y Chang et al. (2018), utilizó *Werneria Nubigena* la cual tuvo una capacidad de acumular y transferir metales en ambientes contaminados logrando obtener una alta concentración de (Cd, 68%; Cu, 41%; Ni, 85%; Zn, 91%).

#### 4.2. Metales pesados removidos por las especies vegetales en suelos contaminados por relaves mineros.

Para los tipos de metales pesados acumulados en suelos contaminados por relaves mineros, mediante los análisis bibliográficos se muestran en la tabla 5 especificados por cada autor en su trabajo de investigación.

**Tabla 5:** Tipos de metales pesados

Tipo de metales	Tipo de planta	Fuente
Los metales pesados evaluados fueron el Plomo, cadmio, manganeso, zinc, cobre acumulados en el suelo contaminados por relaves mineros.	Las especies vegetales <i>Neyraudia reynaudiana K.</i> y <i>Paspalum orbiculare F.</i> fueron las especies dominantes en la remoción de los metales pesados.	Liu et al., 2020
El metal pesado evaluado fue el manganeso.(Mn), Fierro (Fe) y Cobre (Cu)	Las plantas de <i>Pongamia pinnatano</i> cultivadas en el suelo con relaves mineros.	Yu et al., 2019
Los metales pesados evaluados fueron el cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Plata (Ag), cromo (Cr) y níquel (Ni)	Las planta fueron <i>P. massoniana</i> , <i>P. yunnanensis</i> , especies vegetales eficientes en remover metales pesados.	Wang et al., 2019
Los metales estudiados fueron el cadmio (Cd) y plomo (Pb)	Las especies vegetales evaluadas fueron la <i>Brassica chinensis L</i> , <i>Brassica napus L</i> , <i>Brassica rapa pekinensis</i> .	Wang et al., 2019
Las concentraciones de plomo (Pb), cobre (Cu), cadmio (Cd),	La especie arbórea <i>Prosopis laevigata</i> con el	Muro et al., 2020

cromo (Cr), hierro (Fe) y zinc (Zn) fueron acumulados en el tejido radicular y foliar de la planta	fin de evaluar su potencial para la remediación de relaves mineros en los suelos.	
Los metales pesados en el suelos fueron solo Manganeso (Mn) y Cromo (Cr) bioacumulados en las tres estructuras como en las raíces, tallos y hojas de la planta.	La especie vegetal evaluada en el tratamiento fue el Maíz ( <i>Zea mays</i> )	Tovar et al., 2018
El metal pesado acumulado en el suelo por relaves mineros fue el mercurio (Ag).	La especie vegetal evaluada fue la <i>Helianthus tuberosus L.</i> (alcachofa de Jerusalén)	Yang et al., 2018
El metal pesado evaluado fue cobre (Cu)	La especie vegetal evaluada en la investigación fue <i>Miscanthus floridulus</i>	Cui et al. 2020
El metal pesado analizado fue mercurio Hg.	El estudio sugiere que <i>Brassica juncea</i> puede resistir una alta contaminación de Hg y puede mostrar un gran potencial para fitoestabilizar.	Kumar et al. 2020
El metal pesado evaluado fue el plomo (Pb) en suelo contaminado por relaves mineros.	La absorción de Pb por parte de la espinaca india ( <i>Basella Albal</i> ).	Hossain et al. 2021

Durante la investigación de Liu et al. (2020), analizó *Neyraudia reynaudiana K.* y *Paspalum orbiculare F* para remover metales pesados tales como plomo, cadmio, manganeso, zinc, cobre acumulados en el suelo por relaves mineros. A diferencia

de Yu et al. (2019), que solo utilizó *Pongamia pinnatano* para remover manganeso fierro y cobre de suelos con relaves mineros. A comparación de Wang que realizó dos estudios durante el 2019 pero utilizó *P. massoniana*, *P. yunnanensis*, *Brassica chinensis* L, *Brassica napus* L, *Brassica rapa pekinensis* para remover cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Plata (Ag), cromo (Cr) y niquel (Ni).

En la investigación de Muro et al. (2020), empleó la especie arbórea *Prosopis laevigata*, ya que tiene un gran potencial de remediación de relaves mineros, en su investigación logro acumular en sus raíces cobre, plomo, hierro y zinc. A diferencia de Tovar et al. 2018 que empleo Maíz (*Zea mays*) para lograr remover manganeso y cromo bioacumulados en raíces, hojas y tallos de la planta. También en la investigación de Yang et al. (2018), utilizó *Helianthus tuberosus* L. (alcachofa de Jerusalén) como acumulador de mercurio por resultado de relaves mineros.

En el estudio de Cui et al. (2020), realizó su investigación empleando *Miscanthus floridulus* para desintoxicar cobre del suelo. Así mismo Kumar et al. (2020), utilizó *Brassica juncea* el cual puede resistir una alta contaminación de Hg y puede mostrar un gran potencial para fitoestabilizar. A diferencia de Hossain et al. 2021 que empleo espinaca india (*Basella alba*) para lograr absorber plomo del suelo.

#### 4.3. Porcentajes de remoción por especies vegetales sobre los metales pesados en suelos contaminados por relaves mineros.

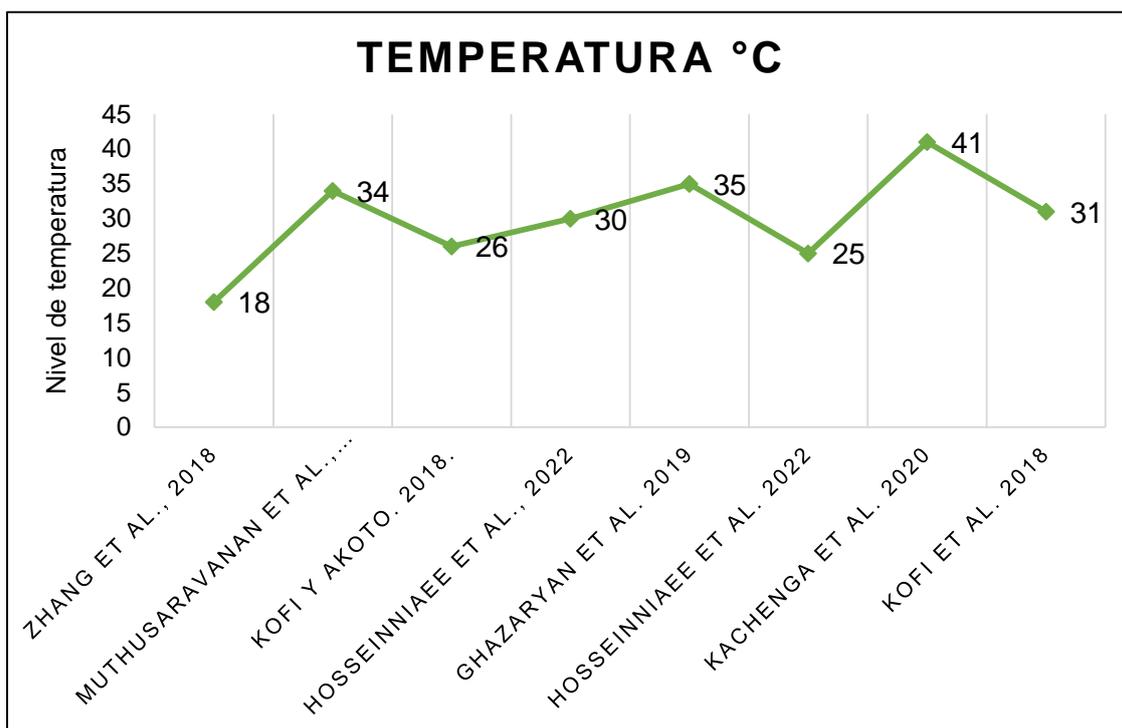
A continuación, en cuanto a los porcentajes removidos de metales pesados por las diferentes plantas utilizadas en el tratamiento de suelos contaminados por relaves mineros, se especifica en la tabla 6 de acuerdo a los análisis bibliográficos.

**Tabla 6:** Porcentaje de remoción de los metales acumulados en los suelos

Especie vegetal	Metal pesado	Temperatura	pH	% remoción	Fuente
Emplearon <i>Solanum torvum</i> y <i>Cymbopogon citratus</i>	Los metales pesados fueron: Cromo(Cr), Hierro (Fe), Manganeso (Mn), Niquel (Ni), Zinc(Zn) y Cobalto(Co)e	Emplearon temperaturas de 28 a 30°C	El pH empleado fue de 6.4.	ST: logró remover Cr: 170%, Fe:112%, Mn:103%, Ni:120%, Zn:129% y Co: 83%. CC: logró remover Cr: 120%, Fe: 151%, Mn: 101%, Ni: 109%, Zn: 170% y Co: 129%.	Nayak et al. 2019
Emplearon <i>Crassocephalum crepidioides</i>	El metal estudiado fue Cadmio	Este tratamiento fue ejecutado a una temperatura de 11.1°C.	Emplearon un pH de 8.03	Lograron remover cadmio de 4.56% a 9.97%.	Zhun et al. 2022
Se investigaron las plantas <i>Suaeda</i>	Los metales pesados cadmio (Cd), plomo	Las plantas se acondicionaron	La introducción	La aplicación de <i>Suaeda glauca</i> y <i>Arabidopsis thaliana</i> removieron a	Zhang et al., 2018

<i>glauca</i> y <i>Arabidopsis thaliana</i> .	(Pb) y manganeso (Mn)	en una temperatura promedio de 18 °C.	de plantas resultó en un cambio de 0,5 a 0,8 unidades en el pH.	los metales pesados cadmio (Cd) en 23%, plomo (Pb) 14% y manganeso (Mn) en un 21%.	
Las especies vegetales evaluadas fueron <i>Horedeum vulgare</i> , <i>Solanum photeincarpum</i> , <i>Euphorbia cheiradenia</i> y <i>Arabis Paniculata Franch</i> .	Arsénico (As), cadmio (Cd), Zinc (Zn), plomo (Pb)	Las plantas fueron acondicionadas a una temperatura promedio de 34 °C	El pH del suelo fue evaluado en el proceso inicial de 6.2 y 7.6 a la evaluación final.	Los autores aplicaron especies vegetales en cuanto a <i>Horedeum vulgare</i> logrando remover 26% de As, <i>Solanum photeincarpum</i> 54 % de Cd, <i>Euphorbia cheiradenia</i> 73% de Zn y <i>Arabis Paniculata Franch</i> , 90% de Pb.	Muthusara vanan et al., 2018
Las especies vegetales fueron la totora ( <i>Typha latifolia</i> ) y vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> )	Los contaminates fueron mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cobre (Cu) y zinc (Zn)	La temperatura fue de 26 °C.	El pH al final del tratamiento fue 7.5.	Para la planta la totora ( <i>Typha latifolia</i> y <i>Chrysopogon zizanioides</i> ) tuvo una efectividad de remoción 35% de Hg, 48% de As, 62% de Pb, 48% de Cu y 72% de Zn.	Anning y Akoto. 2018.

Hypericum Perforatum y Thymus Kotschianus.	Cobre (Cu)	La temperatura promedio de evaluación fue 35 °C	El pH evaluado fue 5.1	En las raíces (peso seco) de las especies de plantas dominantes que crecen en áreas contaminadas con Cu, el contenido de cobre varió entre 55% ( <i>Hypericum perforatum</i> ) y 77% ( <i>Thymus kotschianus</i> )	Ghazaryan et al. 2019
Marrubium cuneatum	Plomo(Pb) y Cromo(Cr)	La temperatura promedio de evaluación fue 25°C	El pH evaluado fue 7.0	El mayor valor de Pb (23%) y Cr (57%) se encontró en el brote de esta planta	Hosseinnia ee et al. 2022
<i>Arthraxonquartinianus</i> , <i>Cyperusrotundus</i> y <i>Crinum</i> .	Cobre(Cu) y Zinc(Zn)	La temperatura promedio de evaluación fue 41°C	El pH evaluado fue 4.7	<i>Arthraxonquartinianus</i> tuvo la mayor concentración de Cu (68 %) mientras que <i>Cyperusrotundus</i> tuvo la menor (35%). <i>Arthraxonquartinianus</i> tuvo la concentración más alta de Zn (92,8%) y <i>Crinum</i> la más baja (28%)	Kachenga et al. 2020

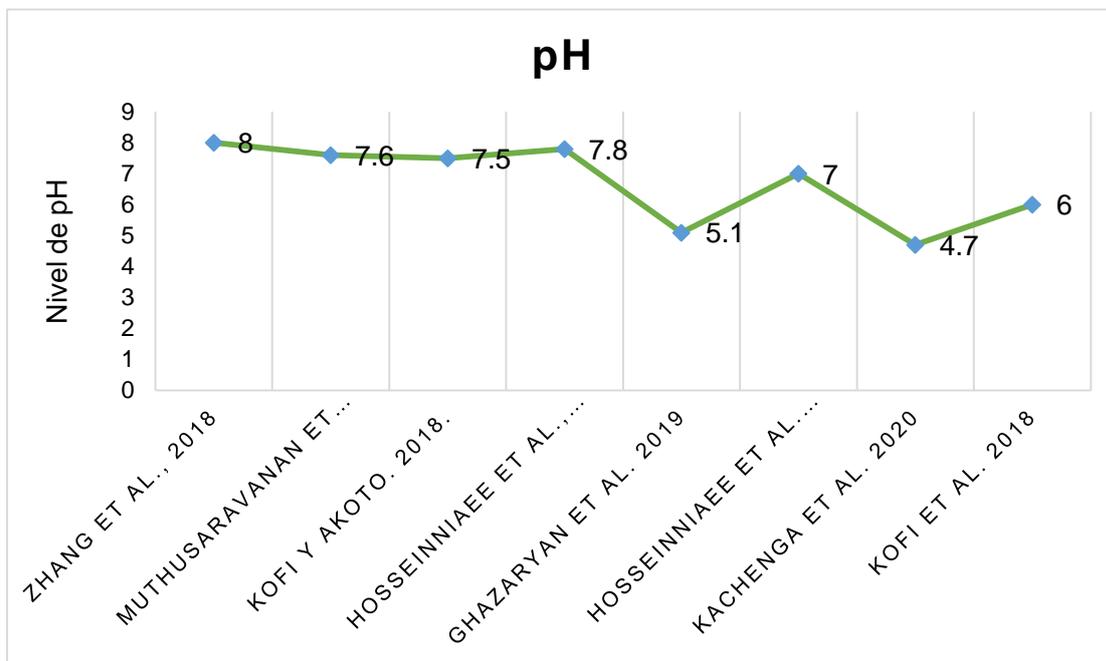


**Figura 3:** Temperatura usada en la remoción de metales pesados por especies vegetales.

En la figura 3 se demuestra la cantidad de temperatura evaluadas durante los tratamientos a los suelos contaminados por metales pesados, donde de acuerdo a su investigación de Zhang et al., (2018) a una temperatura de 18 °C lograron una remoción de metales pesados como cadmio (Cd) en 23%, plomo (Pb) 14% y manganeso (Mn) en un 21%, al igual que Muthusaravanan et al., (2018), a una temperatura de 34 °C lograron una remoción en cuanto a la *Horedeum vulgare* un 26%, *Solanum photeincarpum* 54%, *Euphorbia cheiradenia* 73% y *Arabis Paniculata Franch* 90%. para Arsénico (As), cadmio (Cd), Zinc (Zn), plomo (Pb), asimismo Anning y Akoto. (2018) a una temperatura 26 °C lograron una remoción de 35% de Hg, 48% de As, 62% de Pb, 48% de Cu y 72% de Zn. Seguido de Hosseinniaee et al., (2022) a una temperatura 30 °C lograron una remoción de Zn 4 %, Pb en 14%, Cr 3%, Cd 6% y Co 10%, asimismo según Ghazaryan et al. (2019), a una temperatura de 35 °C lograron una remoción de 55% (*Hypericum perforatum*) y 77% (*Thymus kotschianus*) para cobre, seguido de Hosseinniaee et al. (2022) a una temperatura evaluada de 25 °C removieron Pb (23%) y Cr (57%), para Kachenga et al. (2020) a una temperatura 41 °C removieron Cu (68%) mientras que

*Cyperus rotundus* tuvo menor remoción de 35%. igualmente *Arthraxon quartinianus* tuvo la remoción de Zn de 92,8% y *Crinu* la más baja 28%.

**Figura 4:** pH evaluado al final del tratamiento



De acuerdo a la figura 4 se determinó la cantidad de pH evaluado después del tratamiento según el investigador como Zhang et al., (2018) determinó un pH de 8. Al igual que Muthusaravanan et al., (2018) obtuvieron un pH de 7.6, Anning y Akoto. (2018) lograron controlar el pH en 7.5. Seguido de Hosseinniaee et al., (2022) determinó el pH en 7.8. Asimismo Ghazaryan et al. (2019) obtuvieron un pH ligeramente ácido de 5.1, seguido de Hosseinniaee et al. (2022) obtuvieron un pH de 7. Asimismo en cuanto Kachenga et al. (2020) no lograron recuperar el pH del suelo que durante la evaluación obtuvieron 4.7.

En la investigación realizada por Zhang et al. (2018), empleó las plantas *Suaeda glauca* y *Arabidopsis thaliana* para evaluar la eficacia en remoción de cadmio, plomo y manganeso en base a una temperatura de 18°C, logrando remover cadmio (Cd) en 23%, plomo (Pb) 14% y manganeso (Mn) en un 21%. A diferencia de Muthusaravanan et al., (2018), que utilizó *Horedeum vulgare*, *Solanum photeincarpum*, *Euphorbia cheiradenia* y *Arabis Paniculata Franch* para lograr

remover cadmio, arsénico, zinc y plomo a una temperatura de 34°C y logrando adecuar el pH de 6.2 a 7.6.

Asi también Hosseinniaee et al., (2022), empleó *Marrubium cuneatum*, para remover plomo (Pb) y cromo (Cr), a una temperatura de 25°C, logrando adecuar el pH a 7.0. Asi mismo Ghazaryan et al. (2019), hizo uso de *Hypericum Perforatum* y *Thymus Kotschianus* para remover cobre a una temperatura de 35°C tal como que el contenido de cobre varió entre 55% (*Hypericum perforatum*) y 77% (*Thymus kotschianus*). Por último Kachenga et al. (2020), empleo dos especies de plantas de *Arthraxonquartinianus*, *Cyperusrotundus* y *Crinum* para tener la mayor concentración de Cu (68%) mientras que *Cyperusrotundus* tuvo la menor (35%). *Arthraxonquartinianus* tuvo la concentración más alta de Zn (92,8%) y *Crinum* la más baja (28%) y mejorar el pH inicial de 4.7.

.

## V. CONCLUSIONES

Mediante los respectivos análisis de síntesis de las investigaciones, se determinaron las especies vegetales utilizadas en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros, tales como *Paspalum conjugatum*, *Basella alba*, *Heteropogon contortus*, *Polygonum capitatum*, *Boehmeria nivea*, *Chrysanthemum indicum*, *Miscanthus floridulus*, *Conyza canadensis*, *Rubus setchuenensis*, *Senecio scandens*, *Arthraxon hispidus*, *Cortaderia jubata*, *Medicago lupulina* L, *Stipa ichu*. Muy eficiente en la remoción de metales pesados acumulados en el suelo por relaves mineros.

A través de los análisis respectivos a la sistematización de las investigaciones se conocieron los diferentes metales pesados removidos por especies vegetales en suelos contaminados por relaves mineros, tales como plomo, cadmio, manganeso, zinc, cobre, plata, níquel, cromo, mercurio, arsénico, los cuales resultaron muy tóxicos en la calidad del suelo, además de causar daños a la salud de las personas y seres vivos.

Los análisis correspondientes a las investigaciones se determinaron los porcentajes de remoción por especies vegetales sobre los metales pesados en suelos contaminados por relaves mineros en cuanto a *Suaeda glauca* y *Arabidopsis thaliana* obtuvo un rango de remoción de 14 % a 23% para cadmio, plomo y manganeso. En cuanto a la totora (*Typha latifolia*) y vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) removieron en un rango de 45% a 72% en cuanto a mercurio, arsénico, plomo, cobre y zinc.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Desarrollar más trabajos de investigación sobre el uso de especies vegetales en la fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros, recuperando así la calidad del suelo afectado por los metales pesados que se acumulan en la superficie terrestre.

Desarrollar nuevas evaluaciones con las diferentes plantas sobre la identificación de metales pesados adheridos al suelo, ya que será de gran importancia en el mejoramiento de la calidad del suelo para futuras actividades agrícolas que se puedan desarrollar.

Los futuros estudiantes continúar con este tipo de investigaciones, enriqueciéndo así con nuevos porcentajes de remoción de los metales pesados por parte de diferentes especies vegetales en suelos contaminados por relaves mineros, contribuyendo como alternativa de solución en la recuperación de la calidad del suelo.

## REFERENCIAS

1. Anning, A. K., & Akoto, R. (2018). Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. [En línea] *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148, 97–104. [Fecha de consulta: 04 de agosto del 2022] Disponible en: [doi:10.1016/j.ecoenv.2017.10.014](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.10.014)
2. AFONSO, Thays et al. Potential of *Solanum viarum* Dunal in use for phytoremediation of heavy metals to mining areas, southern Brazil [En línea] *Environmental Science and Pollution Research* – volumen 26, 21 June 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05460-z>
3. AFONSO, Thays et al. Bioprospection of indigenous flora grown in copper mining tailing area for phytoremediation of metals [En línea] *Journal of Environmental Management* – volume 256, 15 February 2020 [Fecha de consulta: 30 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109953>
4. ANDREJIĆ, Gordana et al. Phytoremediation potential and physiological response of *Miscanthus giganteus* cultivated on fertilized and non-fertilized flotation tailings [En línea] *Environmental Science and Pollution Research* - Volume 294, October 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06543-7>
5. BANERJEE, Ritesh et al. Vetiver grass is a potential candidate for phytoremediation of iron ore mine spoil dumps [En línea] *Ecological Engineering* – volume 132, July 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.012>
6. CHANG, Jose et al. Accumulation of heavy metals in native Andean plants: potential tools for soil phytoremediation in Ancash (Peru) [En Línea] *Environmental Science and Pollution Research* volume 25, pages33957–33966 (2018) [Fecha de consulta: 01 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3325-z>
7. COLIN, Yannick et al. Successional trajectories of soil bacterial communities in mine tailings: The role of plant functional traits[En línea] *Journal of*

- Environmental Management – volume 241, 1 July 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.023>
8. Cui, Jin et al. Spatial distribution and molecular speciation of copper in indigenous plants from contaminated mine sites: Implication for phytostabilization [En línea] Journal of Hazardous Materials Volume 381, 5 January 2020, 121208 [Fecha de consulta: 30 de julio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121208>
  9. DEEP, Raj et al. Brassica juncea (L.) Czern. (Indian mustard): a putative plant species to facilitate the phytoremediation of mercury contaminated soils [En línea] International Journal of Phytoremediation – volume 22, 13 January 2020, Nro. 7 – pp. 733-744 [Fecha de consulta: 30 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2019.1708861>
  10. Faysal, Md. Lead immobilization in soil using new hydroxyapatite-like compounds derived from oyster shell and its uptake by plant [En línea] Chemosphere Volume 279, September 20 21, 130570 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130570>
  11. GAJIC, Gordana et al. Ecological Potential of Plants for Phytoremediation and Ecorestoration of Fly Ash Deposits and Mine Wastes [En línea] Environmental Toxicology- Volume 415, November 2018 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00124>
  12. GHAZARYAN, Karen et al. Copper phytoremediation potential of wild plant species growing in the mine polluted areas of Armenia [En línea] Environmental Pollution – volume 249, June 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.070>
  13. GHOSH, Dipita & SUBODH Maiti. Biochar assisted phytoremediation and biomass disposal in heavy metal contaminated mine soils: a review [En línea] International Journal of Phytoremediation – volume 23, November 2020 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2020.184051>
  14. HAUPTVOGL, Martin et al. Phytoremediation Potential of Fast-Growing Energy Plants: Challenges and Perspectives – a Review [En línea] Polish Journal of

- Environmental Studies- volume 29, January 2021 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.15244/pjoes/101621>
15. Hosseinniaee, Sadegh et al. Perspectives for phytoremediation capability of native plants growing on Angouran Pb–Zn mining complex in northwest of Iran [En línea] Journal of Environmental Management Volume 315, 1 August 2022, 115184 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115184>
  16. KACHENGA, Lupupa et al. Phytoremediation Potential of Indigenous Plants Growing at Nchanga Mine in Chingola, Zambia [En línea] Department of Biological Sciences - Volume 10, February 2020 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: [10.4236/oje.2020.102004](https://doi.org/10.4236/oje.2020.102004)
  17. LI, Xinxin et al. Optimization of combined phytoremediation for heavy metal contaminated mine tailings by a field-scale orthogonal experiment [En línea] Ecotoxicology and Environmental Safety – volume 168, January 2019 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.012>
  18. LI, Xinxin et al. Phytoremediation of multi-metal contaminated mine tailings with *Solanum nigrum* L. and biochar/attapulгите amendments [En línea] Ecotoxicology and Environmental Safety – volume 180, 30 september 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.033>
  19. Liu, K., Zhang, H., Liu, Y. et al. Investigation of plant species and their heavy metal accumulation in manganese mine tailings in Pingle Mn mine, China. [En línea] Environ Sci Pollut Res 27, 19933–19945 (2020). [Fecha de consulta: 02 de agosto del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08514-9>
  20. LIU, Ye et al. Reclamation with organic amendments and plants remodels the diversity and structure of bacterial community in ion-adsorption rare earth element mine tailings [En línea] Journal of Soils and Sediments - volume 20, 29 June 2020, Nro. 7, pp. 3669-3680 [Fecha de consulta: 30 junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02704-1>
  21. Long, Zhijie et al. Predicting soil cadmium uptake by plants in a tailings reservoir during 48-year vegetation restoration [En línea] Science of The Total

- Environment Volume 818, 20 April 2022, 151802 [Fecha de consulta: 02 de agosto del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151802>
22. LU, Nan et al. Phytoremediation Potential of Four Native Plants in Soils Contaminated with Lead in a Mining Area [En línea] Contamination of Soils and Environmental Risks - Volume 10, October 2021 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land10111129>
  23. MIDHAT, Laila et al. Accumulation of heavy metals in metallophytes from three mining sites (Southern Centre Morocco) and evaluation of their phytoremediation potential [En línea] Ecotoxicology and Environmental Safety – volume 169, March 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.009>
  24. MEI, Pan et al. Potential of indigenous plant species for phytoremediation of metal(loid)-contaminated soil in the Baoshan mining area, China [En Línea] Environmental Science and Pollution Research volume 26, pages23583–23592 (2019) [Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05655-4>
  25. MOUSAVI, Seyed et al. 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, pages10027–10038 (2020) [Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07578-6>
  26. Muro-González, D.A., Mussali-Galante, P., Valencia-Cuevas, L. et al. Morphological, physiological, and genotoxic effects of heavy metal bioaccumulation in *Prosopis laevigata* reveal its potential for phytoremediation. Environ Sci Pollut Res 27, 40187–40204 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10026-5>
  27. Muthusaravanan, S., Sivarajasekar, N., Vivek, J.S. et al. Phytoremediation of heavy metals: mechanisms, methods and enhancements. [En línea] Environ Chem Lett 16, 1339–1359 (2018). [Fecha de consulta: 01 de agosto del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0762-3>
  28. NARAYANAN, Mathiyazhagan et al. Phytoremediation competence of short-term crops on magnesite mine tailing [En línea] Chemosphere – volume 270,

- May 2021 [Fecha de consulta: 01 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128641>
29. NAYAK, AK. et al. Phytoremediation of Heavy Metal- Contaminated Tailings Soil by Symbiotic Interaction of *Cymbopogon Citratus* and *Solanum Torvum* with *Bacillus Cereus* T1B3 [En línea] *Soil and Sediment Contamination - Volume 18*, June 2019 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15320383.2019.1634001>
  30. NOVO, Luís et al. Chapter 16-Plant Growth–Promoting Rhizobacteria-Assisted Phytoremediation of Mine Soils [En Línea] *Bio-Geotechnologies for Mine Site Rehabilitation 2018*, Pages 281-295 [Fecha de consulta: 01 de junio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812986-9.00016-6>
  31. NURAFIFAH, Nadya et al. The phytoremediation potential of non-edible oil-producing plants for gold mine tailings [En línea] *BIODIVERSITAS - volume 20*, October 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.13057/biodiv/d201025>
  32. ODOH, Chuks et al. Status, progress and challenges of phytoremediation - An African scenario [En línea] *Journal of Environmental Management – volume 237*, 1 May 2019 [Fecha de consulta: 01 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.090>
  33. PAN, Pan et al. Potential of indigenous plant species for phytoremediation of metal(loid)-contaminated soil in the Baoshan mining area, China [En línea] *Environmental Science and Pollution Research – volume 175*, February 2019 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05655-4>
  34. PANDEY, Janhvi et al. Suitability of aromatic plants for phytoremediation of heavy metal contaminated areas: a review [En línea] *International Journal of Phytoremediation – volume 21*, 18 January 2019 [Fecha de consulta: 01 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1540546>
  35. PALUTOGLU, Mahmut et al. Phytoremediation of Cadmium by Native Plants Grown on Mining Soil [En línea] *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology - Volume 102*, February 2018 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2220-5>

36. PETELKA, Joshua et al. Soil Heavy Metal(loid) Pollution and Phytoremediation Potential of Native Plants on a Former Gold Mine in Ghana [En Línea] *Water, Air, & Soil Pollution* volume 230, Article number: 267 (2019) [Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4317-4>
37. PRICA, Milijana et al. Bioaccumulation of heavy metals in common reed (*Phragmites australis*) growing spontaneously on highly contaminated mine tailing ponds in Serbia and potential use of this species in phytoremediation [En línea] *Botanica Serbica* - Volume 43, January 2019 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.2298/BOTSERB1901085P>
38. QIAN, Xiaoli et al. Total mercury and methylmercury accumulation in wild plants grown at wastelands composed of mine tailings: Insights into potential candidates for phytoremediation [En línea] *Environmental Pollution* - Volume 239, August 2018 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.105>
39. REN, Cheng et al. Enhanced phytoremediation of uranium-contaminated soils by arbuscular mycorrhiza and rhizobium [En línea] *Chemosphere* – volumen 217, February 2019 [Fecha de consulta: 01 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.085>
40. TANG, Chunfang et al. Effects of peat on plant growth and lead and zinc phytostabilization from lead-zinc mine tailing in southern China: Screening plant species resisting and accumulating metals [En línea] *Ecotoxicology and Environmental Safety* – volumen 176, 30 July 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.03.078>
41. Tovar-Sánchez, E., Cervantes-Ramírez, T., Castañeda-Bautista, J. et al. Response of *Zea mays* to multimetal contaminated soils: a multibiomarker approach. [En línea] *Ecotoxicology* 27, 1161–1177 (2018). [Fecha de consulta: 30 de julio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10646-018-1974-9>
42. THENMOZHI, Palanivel et al. Phytoremediation potential of castor (*Ricinus communis* L.) in the soils of the abandoned copper mine in Northern Oman: implications for arid regions [En línea] *Environmental Science and Pollution Research* – volume 27, 10 March 2020, Nro. 17, pp. 17359- 17369 [Fecha de

- consulta: 30 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08319-w>
43. VILA, Manoel et al. Ability of *Cytisus scoparius* for phytoremediation of soils from a Pb/Zn mine: Assessment of metal bioavailability and bioaccumulation [En línea] *Journal of Environmental Management* – volume 235, 1 April 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.01.058>
  44. WANG, Zhengai et al. Bioconcentration and translocation of heavy metals in the soil-plants system in Machangqing copper mine, Yunnan Province, China [En línea] *Journal of Geochemical Exploration*- volume 200, May 2019 [Fecha de consulta: 01 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.02.005>
  45. Wang, Lu et al. A comprehensive mitigation strategy for heavy metal contamination of farmland around mining areas – Screening of low accumulated cultivars, soil remediation and risk assessment [En línea] *Environmental Pollution* Volume 245, February 2019, Pages 820-828 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.11.062>
  46. WEI, Zhiwen et al. The effects of phytoremediation on soil bacterial communities in an abandoned mine site of rare earth elements [En línea] *Science of The Total Environment* – volumen 670, 20 June 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.118>
  47. 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: 30 de Mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368>
  48. XIE, Lina et al. Distinguishing reclamation, revegetation and phytoremediation, and the importance of geochemical processes in the reclamation of sulfidic mine tailings: A review [En Línea] *Chemosphere* Volume 252, August 2020, 126446 [Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126446>
  49. XU, Mao et al. A critical review on environmental implications, recycling strategies, and ecological remediation for mine tailings [En línea] *Environmental*

Science and Pollution Research volumen 26, 15 November 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06555-3>

50. Yang B, Kou Y, Zeng J, Wang R, Xiao Y, Li F, Lu Y, Mu Y, Zhao C. 2018. Assessing the difference of tolerance and phytoremediation potential in mercury contaminated soil of a non-food energy crop, *Helianthus tuberosus* L. (Jerusalem artichoke) [En línea] PeerJ 6:e4325 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.7717/peerj.4325>
51. YU, Xiuwei et al. Rhizobia population was favoured during in situ phytoremediation of vanadium-titanium magnetite mine tailings dam using *Pongamia pinnata* [En línea] Environmental Pollution – volume 255, December 2019 [Fecha de consulta: 02 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113167>
52. Yu et al., The effects of EDTA on plant growth and manganese (Mn) accumulation in *Polygonum pubescens* Blume cultured in unexplored soil, mining soil and tailing soil from the Pingle Mn mine, China [En línea] Ecotoxicology and Environmental Safety Volume 173, 30 May 2019, Pages 235-242 [Fecha de consulta: 02 de agosto del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.01.086>
53. ZHANG, Lin et al. Phytoremediation of metal-contaminated rare-earth mining sites using *Paspalum conjugatum* [En línea] Chemosphere – volume 259, November 2020 [Fecha de consulta: 01 de junio del 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127280>
54. ZHANG, Lin et al. Revegetation of a barren rare earth mine using native plant species in reciprocal plantation: effect of phytoremediation on soil microbiological communities [En Línea] Environmental Science and Pollution Research volumen 27, pages2107–2119 (2019) [Fecha de consulta: 30 de Mayo de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06645-2>
55. Zhang et al. Respuestas fisiológicas de *Suaeda glauca* y *Arabidopsis thaliana* en fitorremediación de metales pesados [En Línea] Diario de Gestión Ambiental Volumen 223, 1 de octubre de 2018, páginas 132-139 [Fecha de consulta: 30 de julio de 2022] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.025>

56. ZHUN, Guangxu et al. The Comparative Potential of Four Compositae Plants for Phytoremediation of Karst Lead/Zinc Mine Tailings Contaminated Soil [En línea] Bio Resources - Volume 17, April 2022 [Fecha de consulta: 04 de junio del 2022] Disponible en: [10.15376/biores.17.2.2997-3013](https://doi.org/10.15376/biores.17.2.2997-3013)









**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis titulada: "Revisión Sistemática: Fitorremediación de Suelos Contaminados por Relaves Mineros.", cuyos autores son YUPANQUI POLANCO DE BENDEZU ROSA AMERICA, TTITO SANIZ RONALDO, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 22.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 15 de Noviembre del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
UGARTE ALVAN CARLOS ALFREDO <b>DNI:</b> 10473562 <b>ORCID:</b> 0000-0001-6017-1192	Firmado electrónicamente por: CUGARTEA el 28-11- 2022 10:47:21

Código documento Trilce: TRI - 0441241