

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA PARA LA  
REMEDIACIÓN CON BRASSICA JUNCEA,  
CECROPIA PELTATA Y URTICA URENS EN  
SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA, DE  
2010 AL 2021”

Tesis para optar al título profesional de:

**INGENIERA AMBIENTAL**

**Autoras:**

Yaniely Lizeth Guadamos Rebaza  
Karina Elizabeth Julca Flores

**Asesor:**

Ing. M.Sc. Sandra Lorena Zavala Guerrero  
Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9871-994X>

Trujillo - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	Luis Alva Diaz	<b>43679478</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Juan Carlos Flores Cerna	<b>18898536</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Wilberto Effio Quezada	<b>42298402</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarnos y ayudarnos durante todo este ciclo y permitirnos concluir satisfactoriamente los cursos asignados durante este periodo y a todas esas personas que de una u otra forma nos orientaron y apoyaron a lo largo del camino.

A nuestra familia por estar compartiendo nuestro entusiasmo en nuestros logros, brindarnos su soporte y colaboración en los momentos difíciles. Nuestros padres son nuestra mayor inspiración y nuestros pilares incondicionales.

A nuestros queridos hermanos, que han estado en los momentos más difíciles y nos han servido de apoyo incondicional, brindándonos todo su aprecio y consideración.

*Yaniely Guadamos & Karina Julca*

## AGRADECIMIENTO

Nuestro más sincero agradecimiento a la Ingeniera Sandra Zavala Guerrero, por su  
asesoramiento en el desarrollo del Trabajo de Investigación.

A la plana docente de la Universidad Privada del Norte, que gracias a sus  
enseñanzas hicieron posible culminar con éxito este ciclo universitario.

*Yaniely Guadamos & Karina Julca*

**Tabla de contenido**

JURADO CALIFICADOR	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
TABLA DE CONTENIDO	5
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	9
1.1. Realidad problemática	9
1.2. Formulación del problema	21
1.3. Objetivos	21
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	23
CAPÍTULO III: RESULTADOS	29
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	43
REFERENCIAS	48
ANEXOS	60

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1.....	29
Tabla 2.....	30
Tabla 3.....	31
Tabla 4.....	32
Tabla 5.....	32
Tabla 6.....	33
Tabla 7.....	34
Tabla 8.....	34
Tabla 9.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso de recolección de datos. Elaboración: Propia.....	28
Figura 2. Presencia de metales pesados (Zn, As y Pb) en las raíces de Brassica Juncea ....	35
Figura 3. Presencia de metales pesados (Hg) en las raíces de Cecropia Peltata .....	35
Figura 4. Presencia de metales pesados (As, Pb, Cr y Ba) en las raíces de Urtica Urens ...	35
Figura 5. Presencia de metales pesados (Zn, As y Pb) en el tallo de Brassica Juncea .....	36
Figura 6. Presencia de metales pesados (Hg) en el tallo de Cecropia Peltata .....	36
Figura 7. Presencia de metales pesados (As, Pb, Cr y Ba) en el tallo de Urtica Urens.....	36
Figura 8. Presencia de metales pesados (Zn, As y Pb) en las hojas de Brassica Juncea .....	37
Figura 9. Presencia de metales pesados (Hg) en las hojas de Cecropia Peltata.....	37
Figura 10. Presencia de metales pesados (As, Pb, Cr y Ba) en las hojas de Urtica Urens ..	37
Figura 11. Concentración inicial y final de metales pesados .....	38
Figura 12. Concentración inicial y final de metales pesados .....	39
Figura 13. Concentración inicial y final de metales pesados .....	39
Figura 14. Porcentaje de eficiencia para Brassica juncea .....	40
Figura 15. Porcentaje de eficiencia para Cecropia peltata .....	40
Figura 16. Porcentaje de eficiencia para Urtica urens.....	41
Figura 17. Propuesta para remediación de suelos contaminados .....	42

## RESUMEN

En los últimos años se han empleado tecnologías innovadoras que favorecen a la preservación y recuperación de los recursos naturales contaminados por actividad del hombre, una de ellas: la minería aurífera, por lo que se han buscado soluciones amigables con el ambiente como la fitorremediación. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar artículos científicos de investigación y artículos de revisión que se relacionan con la eficiencia para la remediación con *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens* en suelos contaminados por minería, durante el periodo de años 2010-2021.

Para el desarrollo de la presente investigación, se recurrió a utilizar diferentes repositorios en el idioma español, clasificando la información de acuerdo al contenido del texto y su relación con cada variable; luego se procedió a seleccionar y analizar estudios referentes a las variables. Finalmente, se planteó un diagrama con los pasos para la fitorremediación, el cual es un método efectivo para la adsorción de metales presentes en suelos contaminados por minería.

**PALABRAS CLAVES:** *Biorremediación*, *Brassica juncea*, *Cecropia peltata*, *Urtica urens*, Minería, Contaminación de Suelos.



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El ser humano a lo largo de la historia ha ido desarrollando diversas actividades económicas para poder obtener una buena calidad de vida, por ello es que fueron adquiriendo mayores conocimientos para tener una mejor gestión en este rubro (Palacios et al., 2009). Sin embargo, esta situación con el pasar de los años generó que se comience a sobreexplotar y contaminar los recursos naturales de manera acelerada, ocasionando un desbalance entre crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental.

En este sentido, es que en 1987 se presenta el Informe Brundtland, el cual planteó por primera vez la idea del desarrollo sostenible (López, 2015); es decir que todas las naciones deben buscar que su crecimiento económico sea compatible con la preservación y el cuidado de los componentes ambientales. Esta idea persiste en la actualidad, pero a pesar de ello las actividades económicas como la minería aurífera siguen causando significativas consecuencias negativas en el medio ambiente, a los cuales no se da la importancia debida.

En México los yacimientos de oro son explotados principalmente por empresas extranjeras tales como canadienses y estadounidenses (Cárdenas, 2013); estas empresas en sus Manifestaciones de Impacto Ambiental indican que sus proyectos utilizan medidas eficientes para evitar graves impactos negativos en los suelos; pero esto es cuestionable ya que en la práctica no suele cumplirse, ocasionando que ocurra una contaminación a este recurso natural (Delgado, 2013). Debido a que la mayoría de los proyectos auríferos se realizan a tajo abierto, durante el proceso de amalgamación se utiliza compuestos como el cianuro; este cuando es vertido directamente en los suelos los contamina y a la vez también genera afectación a los ecosistemas aledaños (Corral, Rivera, y Sánchez, 2014).

En Cuba desde mediados de los 90, socavones y canteras que procesan y producen oro son fuentes de contaminación para el suelo, debido a las aguas ácidas que drenan introduciendo metales pesados; a esto hay que sumarle la contaminación por vertimientos accidentales de combustibles que se utilizan para las maquinarias (Gallardo, Cabrera, Bruguera, y Madrazo, 2013). Esta situación se agrava, debido a la acción de agentes meteorizantes que provocan que estos compuestos tóxicos se movilen rápidamente ocasionando que más áreas de suelo sean contaminadas y degradadas (López, Moreira, Vera, Pacheco, y Toujagne, 2006).

En Colombia se desarrolla la minería de oro artesanal, la cual emplea grandes cantidades de mercurio; este elemento al incorporarse a los suelos va a ocasionar su degradación y erosión, además de afectar la vegetación existente (Díaz, 2014). Autores como (Rocha, Olivero y Caballero, 2018), indican que la presencia de este metal pesado se encuentra cerca de las minas, tanto de aquellas que han sido abandonadas como de las que siguen activas. Por otro lado, es importante mencionar que existen diversos factores ambientales, los cuales pueden interferir con el proceso de adsorción o desorción del mercurio en este recurso, entre ellos se puede mencionar al pH, contenido de materia orgánica, forma y contenido de coloides en el suelo, entre otros (Pantoja y Pantoja, 2016).

En el Perú la contaminación del suelo por la minería aurífera cada vez es más grave (Junquera, 2010), los principales contaminantes que se encuentran en el suelo cuando se desarrolla esta actividad son el mercurio y el cianuro; sin embargo, también existe la presencia de otros metales y compuestos como el plomo (Rocha, Olivero, y Caballero, 2018). En el departamento de Madre de Dios este tipo de minería ha provocado la desaparición de inmensas zonas de bosques tropicales y a su vez ha contaminado miles de hectáreas de suelo (Osores et al., 2012), por ello el Ministerio del Ambiente comenzó a mejorar la gestión de

los instrumentos preventivos, correctivos y sancionadores con la finalidad de evitar que esta realidad se repita en otras regiones donde se desarrolla esta actividad.

Si se desea realizar la limpieza del suelo, es importante analizar que metales superan la carga crítica, evaluar la vulnerabilidad y el grado de amortiguación del suelo (Jara et al., 2014). Como opciones de solución, tenemos técnicas físico químicas tales como el flushing o lavado, de igual manera existen métodos térmicos como incineración o desorción térmica (Lobo, 2013). Sin embargo, estas pueden generar efectos adversos como la migración de los contaminantes hacia cuerpos de agua subterránea; por lo que se está desarrollando investigaciones sobre métodos ecológicos más eficientes que los métodos tradicionales, este es el caso de fitorremediación (Jara et al., 2014).

Para el desarrollo de la presente investigación se toma como base el uso de antecedentes, esta información abarcará el nivel internacional, regional y local referente al uso de las variables en otras investigaciones, a continuación, se describe los antecedentes encontrados para las variables de estudio.

Álvarez (2019) en su tesis “Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar”, tiene como objetivo principal conocer cuál es el efecto de la adición de biochar de procedencia de residuos ganaderos en combinación con la técnica de fitorremediación. De acuerdo con los resultados, se dice que el biochar procedente de residuos ganaderos presenta un elevado contenido en cenizas y compuestos orgánicos e inorgánicos que le confieren un carácter fertilizante en suelos. y que el efecto de la combinación de fitorremediación de *Brassica napus* y la adición de biochar en un 10% sobre un suelo minero, nos indica como resultado final que hay una notable disminución en la biomasa microbiana y la concentración Co, Cu, Cr, Se y As total y el Pb.

Bazán y Rojas (2018), en su tesis “Remoción de metales pesados con *Juncus arcticus* y *Urtica dioica* en un relave minero, distrito Huamachuco - La Libertad”, realizaron la remoción de metales pesados con *Juncus arcticus* y *Urtica dioica* en un relave de la minera ALVA S.A.C; se desarrolla un diseño Cuasi-experimental ex situ, conformada por tres repeticiones para cada especie, compuestas por 70% de relave y 30% de materia orgánica, los tratamiento se analizaran después de 2 meses mediante el procedimiento de Análisis por Plasma de acoplamiento inductivo (ICP). Los resultados finales de remoción de Pb, As y Cd de ambas especies en el relave superan los Estándares de Calidad de Suelo.

Dueñas (2015), en su tesis “Evaluación de la capacidad fitorremediadora de *Inga edulis* Mart., en una área degradada por minería aurífera en el distrito Inambari, Provincia Tambopata, región de Madre de Dios”, tuvo como objetivo determinar si existe presencia de metales pesados en el material vegetal evaluando la capacidad remediadora de *Inga edulis* Mart., la parte experimental se realizó en la concesión minera Moran; además, la metodología fue de Diseño Completamente al Azar (DCA), con tres tratamientos y tres repeticiones por tratamiento. Concluyendo que los frutos y hojas de la *Inga edulis* presentaron las mayores concentraciones de Cr, Cu, Ni, Zn, pero todos están por debajo del límite de toxicidad.

Gallardo (2019), en su tesina: “Propuesta de fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante utilización de *Helianthus annuus* L”, tuvo como objetivo proponer la implementación de *Helianthus annuus* L para la remediación de suelos contaminados con metales pesados (plomo, zinc y cadmio). El área de estudio se definió mediante el uso de Google Earth y para la definición de las características del girasol se realizó una consulta bibliográfica, con el fin de realizar una investigación documental y

descriptiva. Luego de realizar la revisión bibliográfica, se puede asegurar que existe una influencia negativa sobre el suelo producto de la actividad minera en el área de estudio.

Jaramillo y Trujillo (2021), en su tesis “Uso de especies vegetales bioacumuladoras como alternativa sustentable en procesos de fitorremediación”, tiene como objetivo describir el uso de plantas bioacumuladoras como alternativa sustentable en procesos de remoción de metales pesados. Es por ello, que dicha investigación, se desarrolló de manera descriptiva mediante un análisis bibliográfico. Donde se obtuvo como resultado, la identificación de plantas acumuladoras de metales pesados con la finalidad de establecer la viabilidad del uso de estas especies vegetales para la remediación de suelos contaminados.

León (2017), en su tesis “Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna S.A.C., en condiciones de invernadero, 2015-2016”, el objetivo fue evaluar el potencial fitorremediador de especies vegetales procedentes de la quebrada Yanayacu en suelos contaminados por metales pesados. La investigación consistió en 2 etapas: etapa de propagación de las especies y etapa de tratamiento. Las especies altoandinas *Achyrocline alata* (Kunth) DC., *Werneria nubigena* Kunth y *Juncus arcticus* Willd. evaluadas en condiciones de invernadero, presentaron alto potencial fitorremediador, así como su capacidad de acumular metales pesados.

Martínez (2018), en su tesis “Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera El Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación”, tuvo como objetivo determinar el estado de conservación de suelos contaminados por la Relavera “El Madrigal” y una propuesta de fitorremediación. Las muestras utilizadas fueron de plantas frescas recolectadas de las mismas zonas de muestreo establecidas dentro del depósito de relaves, donde se utilizó el método de Muestreo Selectivo y el Método de la Línea de

Intercepción. Se concluye que, de acuerdo con los resultados, los pasivos mineros de la Relavera “El Madrigal”, han ocasionado que los terrenos se conviertan en no cultivables o inservibles.

Arenas y Hernández (2012), en su trabajo de grado: Fitotoxicidad del Cadmio (Cd) y el Mercurio (Hg) en la especie *Brassica nigra*, tiene por objetivo determinar los efectos tóxicos y la capacidad de acumulación de los metales mencionados en la planta *Brassica nigra*. La investigación tiene un enfoque cuantitativo y es de tipo experimental, en primer lugar, se realizó la determinación de medio de cultivo con un ensayo preliminar, también se preparó las plantas de trasplante; en segundo lugar, se preparó las soluciones de contaminantes nitrato de mercurio 1000 ppm y nitrato de cadmio 500 ppm, en tercer lugar, se evaluó siete niveles de concentración por cada contaminante. Finalmente, después de 4 semanas de tratamiento se realizó la extracción manual de las plántulas, germinadas y trasplantadas para realizar estudios posteriores. Se logró comprobar la eficiente acumulación de Cadmio y Mercurio tanto para plántulas trasplantadas como germinadas en los medios contaminados, asimismo, no se encontró efectos tóxicos significados en el desarrollo de la raíz y biomasa.

Munive, Loli, Azabache y Gamarra (2018), en su artículo “Fitorremediación con maíz (*zea mays* L.) y compost de stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados”, tiene como objetivos evaluar el efecto de la aplicación de compost y vermicompost a base de *Stevia* sobre los metales pesados y la fertilidad de los suelos agrícolas del valle del Mantaro con la aplicación de la técnica de fitorremediación, utilizando el maíz. El Diseño Experimental utilizado fue completamente al Azar con 3 Tratamientos y 3 repeticiones por cada localidad. Concluyendo que, compost y vermicompost de *Stevia* contribuyen a la

solubilización de los metales Pb y Cd para una mejor absorción, el vermicompost contribuye a que la planta de maíz presente mejores características.

Ortega, Beltrán y Marrugo (2011), en su investigación “Acumulación de mercurio (hg) por caña flecha (*Gyneryium sagittatum*) (Aubl) Beauv.in vitro”, elaboraron una alternativa viable de ser implementada para la rehabilitación de suelos contaminados. Este estudio se realizó en el laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Universidad de Sucre, empleando diseño experimental de bloques al azar, análisis de varianza, prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para la establecer las diferencias significativas entre los tratamientos, pruebas de Kolmogorov-Smirnov y test de homogeneidad de varianza de Bartlett. Los análisis de mercurio se realizaron por el método de espectroscopia de absorción atómica con vapor frío. En conclusión, esta planta acumula mercurio (Hg) debido a las altas concentraciones en sus tejidos sin afectar su viabilidad.

Paiva (2012), en su tesis “Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando *Amaranthus spinosus*-Amaranthaceae en Cusco del 2012”, tiene por principal objetivo evaluar la capacidad de absorción y acumulación de plomo por la raíz, tallo, hojas e inflorescencia en *Amaranthus spinosus*. El experimento se realizó en macetas con un suelo de textura franco que se contaminó artificialmente con, 0 (testigo), 200, 400 y 600 ppm de Pb/ Kg-1 de suelo a partir del acetato de plomo en macetas distribuidas de 3 x 4 con 4 repeticiones. A los 136 días se realizaron los análisis de absorción de plomo mediante el método de EAA. Se concluye que la planta tiene la capacidad de acumular en sus tejidos Pb hasta en la más alta concentración demostrando tolerancia al metal.

Pérez, Vidal y Marrugo (2014), en su artículo: “Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají, tienen por objetivo evaluar la capacidad acumuladora de mercurio por parte la planta de ají (*Capsicum annum*), en suelos contaminados procedentes

del corregimiento Mina Santa Cruz, asimismo, se utilizó la técnica de espectrofotometría de absorción atómica por vapor frío para obtener los resultados. Las muestras de tejidos (raíces, tallos y hojas) de plantas de *C. annuum* sembradas en dos suelos contaminados con mercurio y un suelo control obtuvieron bajos porcentajes de concentración de mercurio.

Rebaza y Valverde (2019), en su tesis de bachiller “Evaluación del potencial fitorremediador de la especie *Brassica Juncea* (Mostaza) en suelos contaminados con zinc y arsénico provenientes de relaves mineros”, el objetivo fue evaluar el potencial remediador de la *Brassica Juncea* (Mostaza) en los suelos contaminados por zinc y arsénico provenientes de los relaves mineros del sector Santa Catalina del distrito Santiago de Chuco. Se desarrolló en condiciones de laboratorio utilizando un método que incluye un diseño experimental y muestreo aleatorio simple que consistió en una especie vegetal y 4 tratamientos con 0%, 20% 40% y 60% de relave minero mezclados con suelo agrícola, realizando 2 réplicas por tratamiento. Se concluye que la efectividad de la planta es alta en la remoción de As y Zn.

Luego de haber presentado y descrito la realidad problemática y los antecedentes de la investigación, a continuación, se describen las bases teóricas correspondientes a las variables de estudio; además también se consideran algunos conceptos que guardan relación con estas.

La minería es un tipo de producción de consumo extensivo de recursos naturales no renovables; esta actividad productiva consiste en la extracción de metales preciosos, cuyo valor monetario es elevado, involucrando intereses económicos, pero también los procesos desde su extracción implican el uso de compuestos como plomo, mercurio, cianuro, entre otros, que considerado son metales pesados tóxicos para la salud en altas concentraciones (Junquera, 2010). En nuestro país, el Estado prioriza la minería y la inversión de capital extranjero debido a las ganancias que dejan estas dos posibilidades (Junquera, 2010). Sin



embargo, las etapas para el procesamiento del oro aún son precarias, además, existe un déficit en el control gubernamental, debido a la corrupción de los funcionarios (La Rotta y Torres, 2017).

La minería forja impactos negativos en el ambiente, ya que, da pase a la contaminación y degradación de recursos naturales como el suelo (Guerrero y Pineda, 2016). Es decir, produce erosiones y sedimentación en zonas bajas, asimismo, debido a los derrames de efluentes mineros la flora y fauna aledaña se ve altamente afectada y tiende a desaparecer del sitio (Junquera, 2010). Por otro lado, cuando las tierras se riegan con agua de ríos contaminados por la actividad económica mencionada anteriormente, estas tienden a acumular altas concentraciones de metales pesados, condicionando el desarrollo de las plantas, afectando taxonomía (La Rotta y Torres, 2017).

Ante esta realidad surge la biorremediación, que se define como una técnica empleada para restaurar los componentes naturales y ambientes de la Tierra que han sido previamente contaminados por agentes o sustancias tóxicas (Sifuentes, 2014). Esta técnica utiliza la capacidad metabólica de microorganismos y plantas para modificar o descomponer determinados contaminantes, transformándolos en sustancias menos tóxicas o inertes (Alva, Chacón & Morales, 2019). Se puede emplear organismos autóctonos del lugar contaminado u organismos exógenos; asimismo, esta técnica se puede realizar in situ o ex situ tanto en condiciones aerobias como en condiciones anaerobias (Sifuentes, 2014).

Dentro de las áreas de aplicación de la biorremediación, tenemos que se suele emplear en el sector minería e hidrocarburos debido a que resulta ser más económica respecto a tecnologías convencionales (Garzón, Rodríguez y Hernández, 2017). La capacidad de microorganismos para degradar y bio adsorber contaminantes guarda relación con que las condiciones físicas y químicas se mantengan estables, por ello es que cuando se

trabaja ex situ existe una mayor probabilidad de que la técnica funcione eficientemente (Yagnentkovsky, 2011).

Dentro de las principales técnicas de biorremediación tenemos, en primer lugar, a la fitorremediación que es una técnica que se utiliza en plantas para extraer los contaminantes del suelo y acumularlos en sus tejidos. Existen dos tipos diferentes de fitorremediación: “in planta” en la cual la especie vegetal absorbe el contaminante para luego incorporarlo en sus tejidos y “ex planta” en la cual se va a realizar la degradación en la rizosfera ya que los compuestos de bajo peso molecular liberados por las especies vegetales van a provocar una mayor actividad microbiana en el área a descontaminar. Mientras que, dentro de sus principales beneficios, tenemos que es apropiada para remover contaminantes de extensas áreas, no produce alteraciones en el medio, la generación de residuos secundarios es mínima y el suelo puede ser reutilizado; asimismo, se debe considerar que no puede ser empleado para grandes profundidades (Yagnentkovsky, 2011).

Por otro lado, los procesos de fitorremediación pueden ser clasificados en: Fitoestabilización, que es la reducción de la biodisponibilidad de los contaminantes a través de la revegetación, lo cual va a inactivar estos compuestos tóxicos reduciendo el impacto negativo al medio; Fitoimmobilización, que es un proceso donde contaminantes sean inmovilizados para que posteriormente se reduzcan debido a la producción de compuestos químicos entre suelo; Fitoextracción o también llamada fitoacumulación, consiste en emplear la capacidad de las plantas para extraer los contaminantes y acumularlos en las diferentes partes de las especies vegetales; Fitodegradación, se da cuando las plantas a través de la producción de enzimas como a deshalogenasa y la oxigenasa que ayudan a catalizar la degradación de los contaminantes; Fitovolatilización, la planta realiza la volatilización de los contaminantes del suelo; y finalmente Rizofiltración, donde las raíces de las plantas

realizan la absorción de metales pesados presentes en aguas contaminadas (Círculo de Innovación en tecnologías Medioambientales y Energía, 2007).

En segundo lugar, tenemos a la Biosorción, técnica de biorremediación que consiste en la remoción de contaminantes contenidos en soluciones acuosas mediante la unión a biomasa; existe una variedad de biomateriales como bacterias, hongos, algas, entre otros que pueden unirse a los compuestos tóxicos. En tercer lugar, está la Metilación, que emplea bacterias y hongos en condiciones aerobias y anaeróbicas pueden realizar la metilación de compuestos tóxicos como el mercurio, arsénico, selenio y plomo; este proceso consiste en la adición de un grupo metilo a una molécula dando como resultados compuestos pocos solubles en agua o compuestos volátiles. Finalmente, se encuentra la Bioprecipitación, en esta técnica se utilizan microorganismos que pueden generar metabolitos que precipitan con varios metales pesados; por lo general se utiliza a el grupo de bacterias sulfato reductoras para formar sulfuros a partir de la reducción de sulfatos, permitiendo separarlos del medio líquido debido a su baja solubilidad (Yagnentkovsky, 2011).

Una de las plantas que se emplearán para realizar la presente investigación descriptiva tenemos será *Brassica juncea*, esta especie puede adaptarse a diferentes tipos de climas y tolera altitudes de 500 a 4200 msnm, suele encontrarse en suelos con pH de 4.3 a 8.3, asimismo, puede acumular cantidades significativas de metales y tolerarlos (Huiza, 2019). Su origen resulta de una hibridación entre *Brassica nigra* y *Brassica rapa*, posee el tallo cilíndrico y glauco, pétalos de más de 6 mm de largo y solo de 2 a 3 pares de particiones en las hojas basales, también tiene los frutos extendidos y sus flores son amarillas de 1.2 cm a más de diámetro (Rebaza y Valverde, 2019).

En fitorremediación cuando a *Brassica juncea* se le aplica ácidos orgánicos de ajo peso molecular se puede lograr obtener mejores resultados de acumulación de metales

pesados en sus órganos vegetativos, mientras que, la adición de compost de estiércol mejora sus propiedades químicas, estabiliza los metales y favorece el crecimiento de la misma (Huiza, 2019). Por otra parte, también se suele emplear como planta comestible y medicinal (Rebaza y Valverde, 2019).

La otra especie vegetal que se considerará será *Cecropia peltata*, la cual es conocida popularmente como guarumo, este árbol posee hojas palmeadas y está compuesto por metabolitos secundarios como taninos y azúcares, puede llegar a crecer entre 5 a 10 metros de altura, aunque en sus zonas de origen puede alcanzar más de 20 metros (González et al., 2006); esta especie es representativa de la zona intertropical americana y se extiende hasta América del Sur (Vidal et al., 2010). Se ha observado que esta especie vegetal puede crecer y desarrollarse en sitios contaminados y en suelos poco fértiles, además, presenta semillas abundantes, persistentes y de producción frecuente (León, 2016).

*Cecropia peltata* presenta propiedades cardiovasculares, diuréticas y antiasmáticas (Vidal et al., 2010). Además, también se puede emplear para fitorremediar y recuperar suelos deteriorados por acción de la explotación minera debido a, su alto potencial de acumulación de los contaminantes y por su gran masa vegetal (Vidal, 2009). León (2016), en su estudio explica que *Cecropia peltata* además de poder usarse para la descontaminación de suelos que presentar altos niveles de mercurio, se puede emplear al mismo para reforestar zonas erosionadas por las actividades mineras.

Finalmente, tenemos a la especie vegetal *Urtica urens*, la cual crece en la región andina de Ecuador; esta especie vegetal presenta tallos estriados provisto de pelos urticantes delgados y unicelulares esparcidos en ambas caras, asimismo, presenta hojas simples pecioladas, opuestas acerradas de color verde oscuro, con cistolitos redondos, mientras que, sus flores se encuentran dispuestas en largos racimos ramificados insertados en las axilas de

las hojas (Yagnentkovsky, 2011). *Urtica urens* contiene compuestos fenólicos como escopoletina, ácidos caféico, betaina, colina lecitina fitoesterinas, serotonina y vitaminas A, B y C, estos compuestos actúan como protectores frente a las radiaciones ultravioleta y forman el pigmento natural de la planta (Gutiérrez, 2013); también presenta compuestos flavónicos como el kemferol, quercetina e isramnetina que permiten que esta especie vegetal tiene propiedades antihistamínicas, antiinflamatorias y antioxidantes (Díaz, 2017). De acuerdo a investigaciones podemos mencionar que esta especie vegetal se utiliza para tratar dolencias como sífilis o para la caída del cabello (Ghenó et al., 2010).

Asimismo, *Urtica urens* crece con poca luz solar, con temperaturas bajas, suelos húmedos, con pH de 5.5 a 8, puede multiplicarse a partir de una sola planta presente en cualquier suelo (Gutiérrez, 2013). Esta especie vegetal también se ha utilizado en diversos estudios para biorremediar suelos contaminados por metales pesados; la investigación de Díaz (2017), identificó que *Urtica urens* tiene mayor capacidad de acumular metales pesados en sus hojas respecto de sus raíces, debido a que, esta planta tiene un aumento rápido en su número de hojas lo que le permite que pueda acumular mayores concentraciones.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia para la remediación con *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens* en suelos contaminados por minería, de 2010 al 2021?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. General**

Analizar la eficiencia para la remediación con *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens* en suelos contaminados por minería, de 2010 al 2021.

### 1.3.2. Específicos

- Identificar las metodologías empleadas en los estudios y parámetros fisicoquímico del suelo contaminado.
- Discriminar el órgano morfológico de las especies vegetales con mayor incidencia en la concentración de metales
- Determinar la eficiencia de *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*, para remoción de contaminantes.
- Proponer un diagrama con pasos para lograr la fitorremediación en suelos contaminados por minería.

### 1.4. Hipótesis

*Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens* tienen efectiva capacidad para el proceso de remediación en suelos contaminados por minería, de 2010 al 2021.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Una investigación abarca un gran número de técnicas que sirven como recurso indispensable para sociólogos, psicólogos, historiadores, periodistas, académicos, científicos, escritores, entre otros investigadores. Al emplear los métodos de investigación, se logra conocer y delimitar el problema, la recolección de datos importantes para proponer hipótesis que posteriormente serán probadas o respaldadas y también permite, que la toma de decisiones sea más acorde al caso de estudio. (Guevara, Verdesoto y Castro, 2020).

En esta investigación, respecto al enfoque de estudio la investigación se enmarca en el tipo cualitativo, porque utiliza la recolección y análisis de datos obtenidos a partir de fuentes bibliográficas. Para autores como Salgado (2007), este proceso de investigación es más flexible y abierto, donde el curso de las acciones se rige por el campo, es decir, los participantes y la evolución de los acontecimientos, de este modo, el diseño se va ajustando a las condiciones del escenario o ambiente.

Asimismo, de acuerdo con su propósito, la investigación se enmarca en el tipo básica debido a que, tiene por finalidad encontrar una respuesta para el problema de la contaminación de los suelos por la minería, enfocándose en la búsqueda de información que permita la consolidación de conocimiento para el cumplimiento de los objetivos. Gonzáles (2004), menciona que la investigación básica en contraposición tácita con la investigación aplicada, idealmente la investigación básica culminará con un descubrimiento, mientras que, la investigación aplicada culminará con un invento.

De acuerdo con el análisis de datos, es un estudio retrospectivo, ya que, se utilizarán datos de investigaciones previas, realizando el traslado de estos desde las fuentes originales hacia las fichas de registro, para su posterior análisis. Según Ramos (2014), la mayoría de las intervenciones retrospectivas bajo el enfoque cualitativo ameritan de la técnica de la

triangulación, la cual consiste en determinar ciertas interacciones o coincidencias a partir de diferentes apreciaciones y fuentes informativas o varios puntos de vista del mismo fenómeno, en este caso la biorremediación de suelos contaminados por minería.

Ramos (2014), explica que, la investigación transversal o transeccional se limita a evaluar una situación o fenómeno en un punto del tiempo y determina o ubica cuál es la relación de un conjunto de variables en un momento. En este sentido, según el número de mediciones en un determinado tiempo, la investigación es transversal, debido a que, se realizará el análisis de los datos de las variables recopiladas en un periodo de 10 años sobre la muestra.

Conforme a lo anterior, se determinó que en la presente investigación se llevará a cabo en base a un diseño descriptivo, debido a que la pandemia por Covid – 19, ha sido elemento de restricción en la entrada a laboratorios y nuestra casa de estudios, por lo que se efectuará la revisión de fuentes bibliográficas que consignen la biorremediación de suelos contaminados por minería empleando *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*, luego del análisis de los datos de estas fuentes se realizará posteriormente la comparación de estos para obtener los resultados y conclusiones.

### **1.1. Población y muestra**

La población está constituida por estudios ya realizados sobre plantas que realizan remediación de suelos contaminados por minería; mientras que, la muestra está constituida por estudios realizados que investigan a *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*.



## **1.2. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **1.2.1. Técnicas**

El análisis documental como técnica de recolección de datos, es uno de los métodos más utilizados para realizar una investigación eficaz, ya sea descriptivo o experimental, también, nos permite conocer la estructura de los documentos para extraer el aporte más importante; ya que, representa sistemática y sintéticamente cada estudio, facilita su recuperación y consulta de la misma; ofreciendo la información de estudios ya realizados y con ello, la obtención e incorporación de datos y el proceso posterior de análisis de la información. Dulzaides y Molina (2004).

En el presente trabajo de investigación se aplicó la técnica de análisis documental, para lograr identificar la metodología de las investigaciones del tratamiento en suelos contaminados por minería, específicamente, los que utilizan como base a las plantas *Brassica Juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*.

### **1.2.2. Instrumentos de recolección y análisis de datos**

Dentro de los instrumentos de recolección de datos tenemos a la ficha de contenido, Rizo (2015), indica que, esta permite un fácil manejo de datos e ideas ajenas y propias, por lo que, transcribir en ellas la información más importante encontrada en la lectura crítica de la bibliografía es conversar organizadamente dicha información.

Asimismo, redactar en ellas reflexiones, comentarios o el análisis personal del investigador con respecto a una idea, es la manera de imprimirle posteriormente un orden y una coherencia interna al pensamiento propio. Entonces, si ambos procedimientos se combinan forman fichas mixtas, con las cuales se está más cerca aún de la elaboración del trabajo final. (Rizo, 2015)

En este sentido, el instrumento que se empleará para la presente investigación será fichas resumen en las cuales se colocó información relevante de cada estudio, este instrumento es creado, por esta razón, para determinar la validez y confiabilidad del instrumento, se utilizó la opinión y el visto bueno de la docente Yessica Luján Rojas que cuenta con la experiencia de asesoramiento en estudios e investigaciones sobre temas relacionados con la carrera profesional de Ingeniería Ambiental de nuestra casa superior de estudios, sede Trujillo.

El procedimiento que se empleó para recolectar los datos consistió, en primer lugar, realizar la búsqueda de estudios científicos teniendo como base la metodología de aproximación PRISMA, ya que esta permite obtener información relevante sobre el tema de interés, biorremediación de suelos, asimismo, se utilizaron repositorios confiables de Universidades y de publicaciones científicas como Scielo y Redalyc.

En segundo lugar, para extraer solo aquellos estudios que guarden relación con las variables de la presente investigación descriptiva se estableció el siguiente filtro: fecha de antigüedad no mayor a 11 años, idioma español, minería como rubro de aplicación de la fitorremediación; *Brassica juncea*, *Cecropia Peltata* y *Urtica urens* como especies empleadas para fitorremediación.

En tercer lugar, se realizó en el programa Excel la elaboración de matriz de consistencia (*Tabla 1*), operacionalización de variables (*Tabla 2*) y también matriz resumen para colocar información puntual, es decir repositorio, autores, año de publicación y título de investigación de cada uno de los estudios que pasaron el filtro mencionado.

En cuarto lugar, para el análisis de los datos se consideraron como parámetros para la variable independiente, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*, a la morfología vegetal y, el porcentaje de absorción y eficiencia; mientras que, para la variable dependiente, suelos contaminados, los parámetros fueron concentración inicial y final de contaminantes, parámetros fisicoquímicos (*ver Figura 1*).

Finalmente, es importante mencionar que, para determinar la eficiencia de remediación con ambas especies vegetales, se utilizó la fórmula de Harrington Emerson (1912), y esta fórmula fue utilizada por primera vez por Seiichi Nakajima, el fundador del TPM: Total Productive Maintenance, como herramienta de medición fundamental para conocer el rendimiento productivo de la maquinaria industrial. A continuación, se detalla la fórmula:

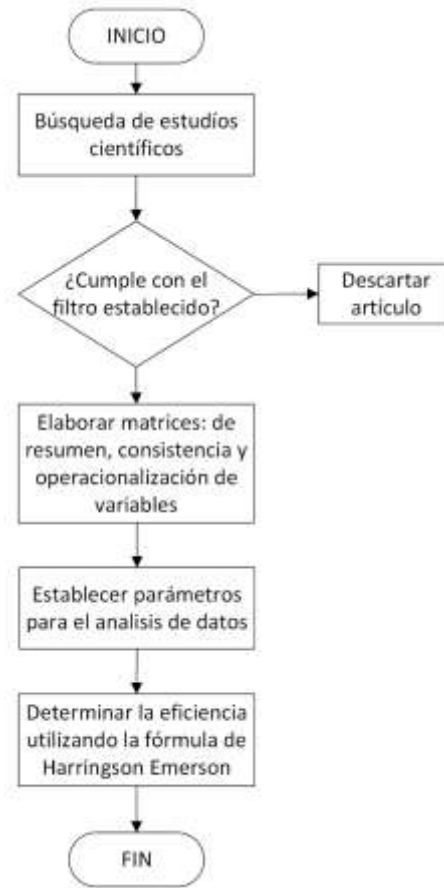
$$\%E = \left( \frac{Ci - Cf}{Ci} \right) * 100$$

*Donde:*

*Ci = Concentración inicial*

*Cf = Concentración final*

*Fuente: López, K (2018)*



*Figura 1. Diagrama del proceso de recolección de datos. Elaboración: Propia*

Respecto a las consideras éticas, la presente investigación salvaguarda la propiedad intelectual de los autores, respecto a teorías y resultados de las investigaciones que se emplearán como base, por lo que serán citados apropiadamente y se precisará las fuentes bibliográficas.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 2.1. Identificación de las metodologías empleadas en los estudios y parámetros fisicoquímicos del suelo contaminado

#### 2.1.1. Metodología de los artículos

Cada una de las investigaciones que se han considerado para las tres especies vegetales desarrollan diferentes tipos de metodología, de acuerdo a Morles (2002), la elección que hace cada autor sobre la metodología que emplea tiene que tener en cuenta el área de estudio, objetivos, tipo de investigación, variables, propósito, entre otros factores. A continuación, se presentan tablas donde se detalla la metodología por artículo.

Tabla 1.

Metodologías de los artículos para *Brassica juncea*

Planta	Artículo	Metodología empleada
<i>Brassica juncea</i>	ART 1. Evaluación del potencial fitorremediador de la especie <i>Brassica juncea</i> (Mostaza) en suelos contaminados con zinc y arsénico provenientes de relaves mineros	Diseño experimental que consistió en una especie vegetal y cuatro tratamientos con 0%, 20%, 40% y 60% de relave minero mezclados con suelo agrícola; cada uno con dos repeticiones.
	ART 2. <i>Brassica juncea</i> con biosurfactantes para reducir la concentración de plomo en suelos contaminados a inmediaciones de la Procesadora Minex, Nazca - 2020	Diseño experimental con cuatro tratamientos, en el primero se empleó solo <i>Brassica juncea</i> , en el segundo se le adiciona lecitina de soja, en el tercero se adiciona goma guar y en el cuarto se agregó ambos biosurfactantes.
	ART 3. Efecto de la aplicación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular en la biodisponibilidad de plomo y zinc en un sistema usando <i>Brassica juncea</i>	Se emplearon 3 especies vegetales <i>Zea mays</i> , <i>Brassica juncea</i> y <i>Nicotiana tabaum</i> , además, se prepararon tres niveles de contaminación del suelo a diferentes dosis adicionado con el sustrato peat-moss.

En la presente tabla se describe brevemente el contexto de cada investigación encontrada y tomada como muestra para la planta en estudio: *Brassica juncea*, de esta manera se identificó 3 diseños experimentales, el Art. 1 utilizó tratamientos con diferentes % de contaminación en el suelo; mientras que, en el Art. 2 se empleó la adición de biosurfactantes para mejorar el desarrollo de la planta; finalmente, el Art. 3 se pusieron a prueba 3 tipos de plantas, incluida *Brassica juncea*, todas expuestas a 3 niveles de contaminación.

Tabla 2.

 Metodologías de los artículos para *Cecropia peltata*

Planta	Artículo	Metodología empleada
<i>Cecropia peltata</i>	ART 1. Evaluación in vitro de la capacidad de maní forrajero ( <i>Arachis pintoii</i> W.C) y guarumo ( <i>Cecropia peltata</i> ) en la biorremediación de suelos contaminados con mercurio	Se utilizó dos especies vegetales ( <i>Maní forrajeo</i> y <i>Cecropia peltata</i> ), dos tipos de sustrato (cacao y café), dos niveles de concentración de mercurio en el suelo (7 ppm y 0 ppm)
	ART 2. Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo ( <i>Cecropia peltata</i> )	Diseño factorial que tiene como variable de respuesta la concentración de mercurio total en suelo y tejidos, y como factores: grado de contaminación del suelo, aplicación de un agente quelante (ácido nítrico) en dos niveles (aplicación y no aplicación) y tiempo de crecimiento de la planta
	ART 3. Evaluación de <i>Medicago sativa</i> L (ALFALFA), <i>Cecropia peltata</i> L (GUARUMO) Y <i>Arachis pintoii</i> W.C (MANÍ FORRAJERO) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en las riberas del río Nambija, Barrio Puente Azul, Cantón Zamora	Diseño correlacional, conformado por seis tratamiento y un testigo, se utilizó sustrato de bocshi y tres especies vegetales ( <i>Arachis pintoii</i> W.C., <i>Cecropia peltata</i> , <i>Medicago sativa</i> L.)

Después de aplicar los filtros para los artículos de la planta *Cecropia peltata*, de acuerdo a la metodología empleada, en el Art. 1 se evaluó 2 tipos de especies en un suelo contaminado, una de ellas *Cecropia peltata*, a 2 niveles de contaminación; asimismo, en el Art. 2 se centra en un diseño factorial, teniendo como evidencia a través del tiempo el desarrollo de la planta en suelo contaminado; por último, el Art. 3 nos detalla el potencial de 3 especies fitorremediadoras mediante un diseño correlacional, evaluadas en 6 tratamientos y 1 testigo.

Tabla 3.

 Metodologías de los artículos para *Urtica urens*

Panta	Artículo	Metodología empleada
<i>Urtica urens</i>	ART 1. Remoción de metales pesados con <i>Urtica urens</i> en suelos contaminados del distrito de Huamachuco, provincia de Sánchez Carrión, La Libertad	Tres tratamientos con diferentes contenido de abono y suelo contaminado, el primer tratamiento consta de 600 gr y 900 gr de abono y suelo respectivamente, el segundo tratamiento de 450 gr y 1050 gr, y el tercer tratamiento de 300 gr y 1200 gr; cada tratamiento cuenta con tres plantas de <i>Urtica urens</i>
	ART 2. Capacidad fitorremediadora de <i>Urtica urens</i> , en suelos con metales pesados del sector Capanario, Quiruvilca, Santiago De Chuco, La Libertad	Dos grupos, uno experimental con tres repeticiones y un grupo control
	ART 3. Efecto del quelato (EDTA) en la fitorremediación de un suelo contaminado por plomo, con <i>Urtica urens</i> en La Oroya, 2018.	Cinco dosis de EDTA en suelo contaminado con plomo (TTT1 (control), T2 (0.05), T3 (0.10), T4 (0.15), T6 (0.25) g.kg-1, de cada tratamiento se hizo tres repeticiones y se sembró semillas de <i>Urtica urens</i> .
	ART 4. Fitorremediador por densidad poblacional de <i>Urtica Urens</i> en suelos contaminados por metales pesados, caserío Shiracmaca, distrito de Huamachuco – 2018	Cuatro celdas iguales donde se colocó 6 kg de suelo en cada celda y se le agregó estiércol de cuy, luego de 15 días se sembró en la primera celda 1 planta, en la segunda celda 2 plantas, en la tercera celda 3 plantas y en la cuarta celda (testigo)

Para *Urtica Urens*, en el Art. 1. podemos ver que la metodología consta de 3 medios distintos que se diferencian por la cantidad de suelo contaminado y abono; en el Art. 2 consta de un diseño repetitivo para evaluar la capacidad de la planta; siguiendo con el Art. 3 se evidencia la aplicación del quelato EDTA, se realiza repeticiones con distintas dosis y finalmente se comparan los resultados; por último, el Art. 4. Se basó en el efecto de la densidad poblacional, cantidad de plantas, para fitorremediar un suelo.

### 2.1.2. Parámetros fisicoquímicos de artículos

Por otro lado, se identificó los parámetros fisicoquímicos en cada uno de los estudios para conocer la condición inicial de los suelos, esto para establecer puntos de referencia luego de aplicar diferentes tratamientos, los cuales pueden ser utilizados para compararse tanto con los resultados finales como con la normativa ambiental vigente (ECA suelo) y dar un diagnóstico sobre la efectividad del tratamiento.

Tabla 4.

 Parámetros fisicoquímicos de los artículos para *Brassica juncea*

Planta	Artículo	Procedencia del suelo	Tiempo	pH	% MO	Na (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	N (ppm)	CE mS/cm
<i>Brassica juncea</i>	ART 1.	Santiago de Chuco, La Libertad	-	-	-	-	-	-	-	-
	ART 2.	Nazca, Ica	3 meses	6.15	1.28	-	1.18	1.11	-	1737
	ART 3.	-	-	7.82	14.23	0.12	-	0.50	-	-

En la presente Tabla 4 se resumen los parámetros tomados en cuenta por cada investigación, referente a *Brassica juncea*, en la composición física y química del suelo, por lo que se puede observar que no todos tienen en cuenta los mismos parámetros.

Tabla 5.

 Parámetros de los artículos para *Cecropia peltata*

Planta	Artículo	Procedencia del suelo	Tiempo	pH	% MO	Na (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	N (ppm)	CE mS/cm
<i>Cecropia peltata</i>	ART 1.	Adquiridos de manera comercial	6 meses	-	-	-	-	-	-	-
	ART 2.	Barranco de Loba, sur de Bolívar, Venezuela	4 meses	3.71	1.03	-	-	-	-	-
	ART 3.	Riveras del Río Nambija	4 meses	5.7	0.57	-	-	-	-	0.07

Esta tabla detalla los parámetros en los estudios realizados con *Cecropia peltata*, de acuerdo al medio de desarrollo de la planta, podemos observar que existen diferencias de acuerdo a la procedencia del suelo, tiempo de exposición, Ph y MO%.



Tabla 6.

 Parámetros de los artículos para *Urtica urens*

Planta	Artículo	Procedencia del suelo	Tiempo	pH	% MO	Na (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	N (ppm)	CE mS/cm
<i>Urtica urens</i>	ART 1.	Huamachuco, Sánchez Carrión, La Libertad	2 meses	5.71	3.82	-	130.22	-	1992.96	2.993
	ART 2.	Sector Campanario, Quiruvilca, Santiago de Chuco, La Libertad	-	5.23	3.65	248.5	967.5	434.9	-	-
	ART 3.	La Oroya	2 meses	7.71	2.69	735.1	66.1	774	-	-
	ART 4.	Caserío Shiracmaca, Huamachuco, Sanchez Carrión, La Libertad	2 meses	4.61	-	-	-	-	-	0.083

Estos datos fueron tomados de los artículos de la planta *Urtica urens*, donde se distingue que no todos los artículos evaluaron las mismas condiciones para el desarrollo de la planta, en algunos coinciden y otros no.

## 2.2. Discriminación el órgano morfológico de las especies vegetales con mayor incidencia en la concentración de metales

Se realizaron tres tablas a manera de check list, donde por artículo y metal, se logró identificar el órgano vegetativo con mayor incidencia en la concentración de metales pesados presentes en los suelos. En la *Tabla 7* se puede apreciar que los tres órganos vegetativos de *Brassica juncea* tienen igual incidencia, de igual manera sucede con *Cecropia peltata* (ver *Tabla 8*) y *Urtica urens* (ver *Tabla 9*).

Tabla 7.

*Incidencia de órganos vegetativos de Brassica juncea*

Especie vegetal	Artículo	Zinc			Arsénico			Plomo			Bario			Mercurio			Cromo		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<i>Brassica juncea</i>	ART 1.	✓	✓	✓	✓	✓	✓												
	ART 2.							✓	✓										
	ART 3.	✓	✓	✓				✓	✓	✓									

Dónde: A = Raíz, B = Tallo, C = Hojas

Se realizó un check list de incidencia de contaminantes en órganos vegetativos (hoja, raíz y tallo) por artículo para *Brassica juncea* de acuerdo a los resultados de cada estudio, encontrando concentraciones de Zn, As y Pb.

Tabla 8.

*Incidencia de órganos vegetativos de Cecropia peltata*

Especie vegetal	Artículo	Zinc			Arsénico			Plomo			Bario			Mercurio			Cromo		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<i>Cecropia peltata</i>	ART 1.												✓	✓	✓				
	ART 2.												✓	✓	✓				
	ART 3.												✓	✓	✓				

Donde: A = Raíz, B = Tallo, C = Hojas

Se realizó un check list de incidencia de contaminantes en órganos vegetativos (hoja, raíz y tallo) por artículo para *Cecropia peltata* de acuerdo a los resultados de cada estudio, encontrando concentración de Hg.

Tabla 9.

*Incidencia de órganos vegetativos de Urtica urens*

Especie vegetal	Artículo	Zinc			Arsénico			Plomo			Bario			Mercurio			Cromo		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
<i>Urtica urens</i>	ART 1.				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
	ART 2.				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓
	ART 3.							✓	✓	✓									
	ART 4.							✓	✓	✓									

Dónde: A = Raíz, B = Tallo, C = Hojas

Se realizó un check list de incidencia de contaminantes en órganos vegetativos (hoja, raíz y tallo) por artículo para *Urtica urens* de acuerdo a los resultados de cada estudio, encontrando concentraciones de As, Pb, Ba y Cr.

A continuación, se presentan gráficos que muestran que órgano vegetativo; raíz, tallo u hojas, de las tres especies en estudio, tienen mayor incidencia en la acumulación de metales pesados luego de realizarse fitorremediación.

A. Para las raíces:

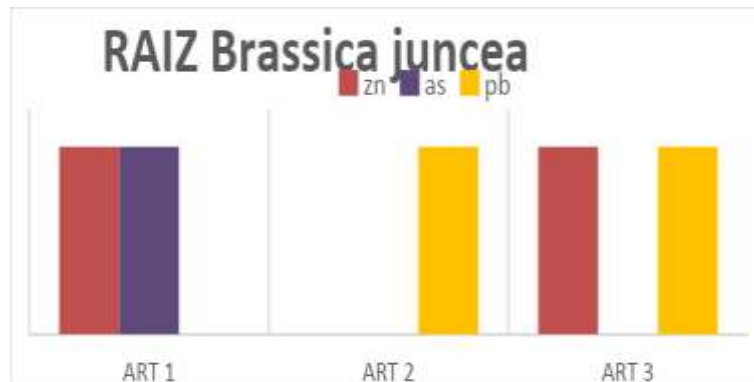


Figura 2. Presencia de metales pesados (Zn, As y Pb) en las raíces de Brassica Juncea



Figura 3. Presencia de metales pesados (Hg) en las raíces de Cecropia Peltata

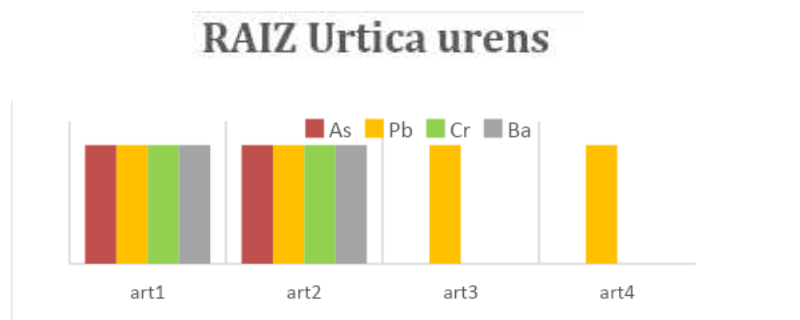


Figura 4. Presencia de metales pesados (As, Pb, Cr y Ba) en las raíces de Urtica Urens

B. Para el tallo:

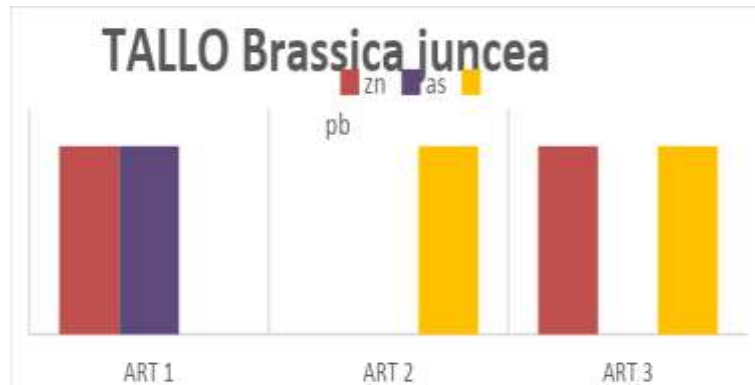


Figura 5. Presencia de metales pesados (Zn, As y Pb) en el tallo de Brassica Juncea

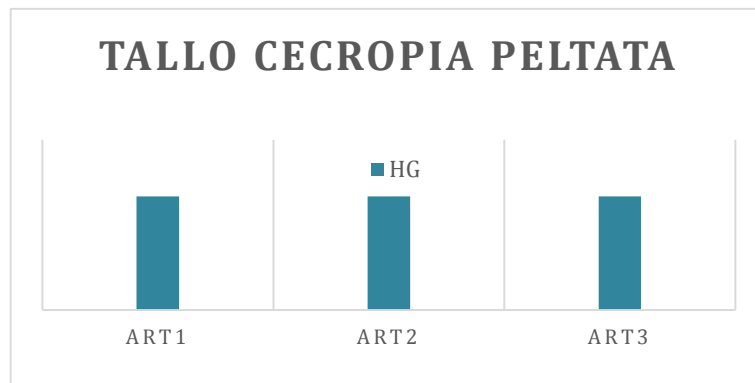


Figura 6. Presencia de metales pesados (Hg) en el tallo de Cecropia Peltata

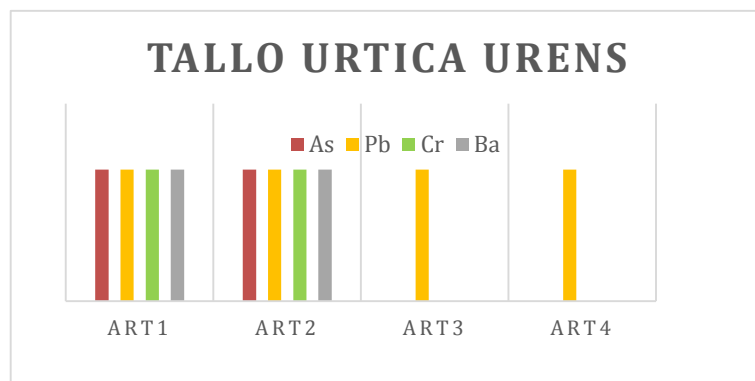


Figura 7. Presencia de metales pesados (As, Pb, Cr y Ba) en el tallo de Urtica Urens

C. Para las hojas:

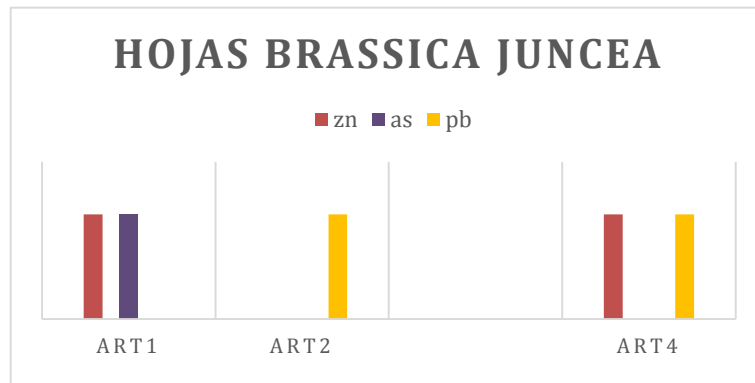


Figura 8. Presencia de metales pesados (Zn, As y Pb) en las hojas de Brassica Juncea

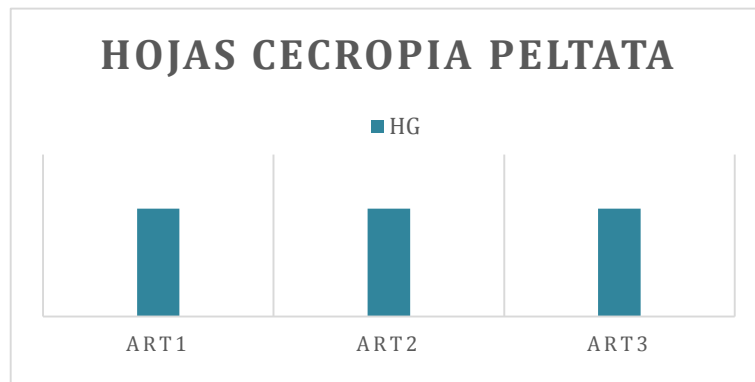


Figura 9. Presencia de metales pesados (Hg) en las hojas de Cecropia Peltata

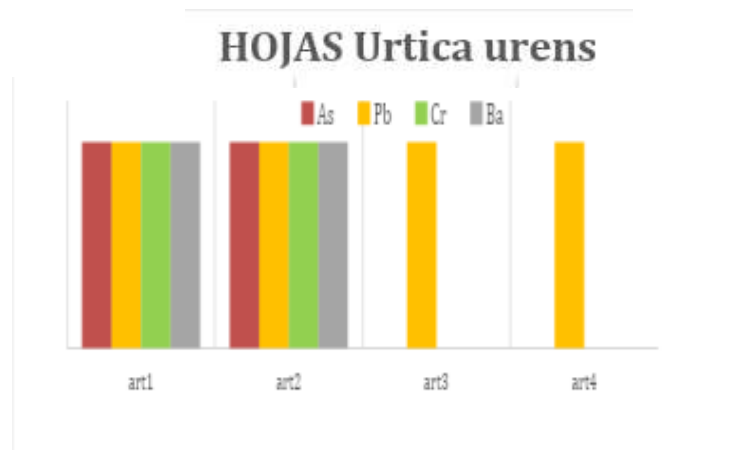
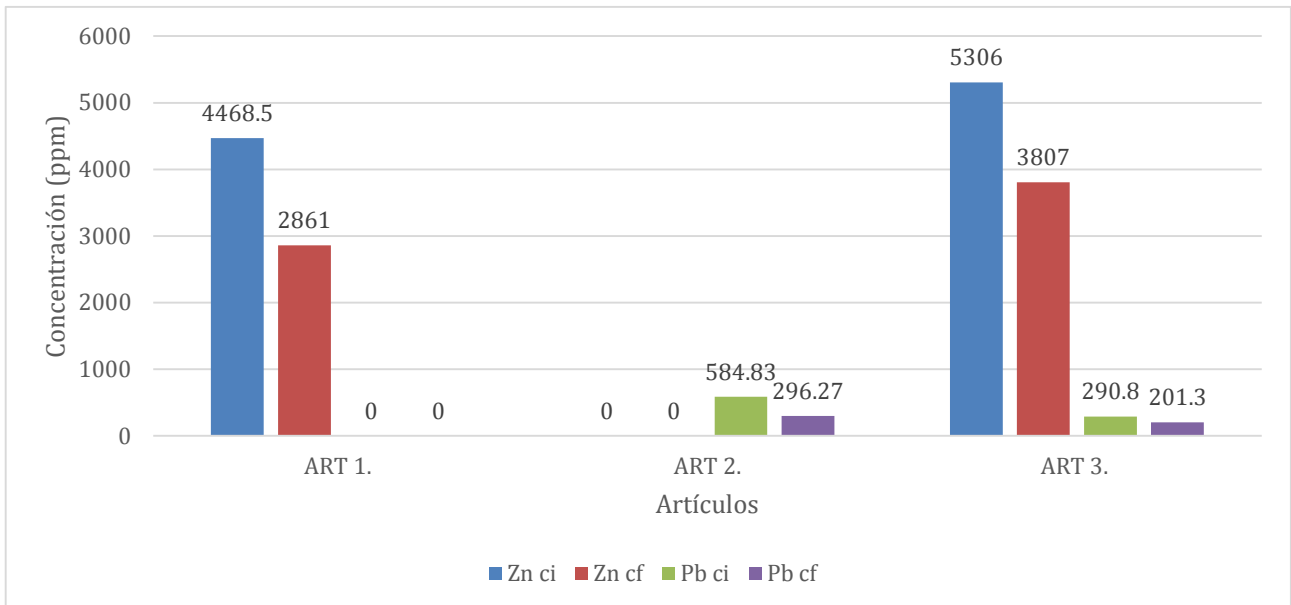


Figura 10. Presencia de metales pesados (As, Pb, Cr y Ba) en las hojas de Urtica Urens

### 2.3. Determinación la eficiencia de *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*, para remoción de contaminantes

Se realizaron gráficos donde se detalla la concentración inicial y final de los contaminantes por estudio para cada especie vegetal, es decir, en el *Figura 10* se detalla los estudios para *Brassica juncea*, en el *Figura 11* para *Cecropia peltata*, y en el *Figura 12* para *Urtica urens*.



*Figura 11. Concentración inicial y final de metales pesados*

Donde:

*ci* = Concentración inicial

*cf* = Concentración final

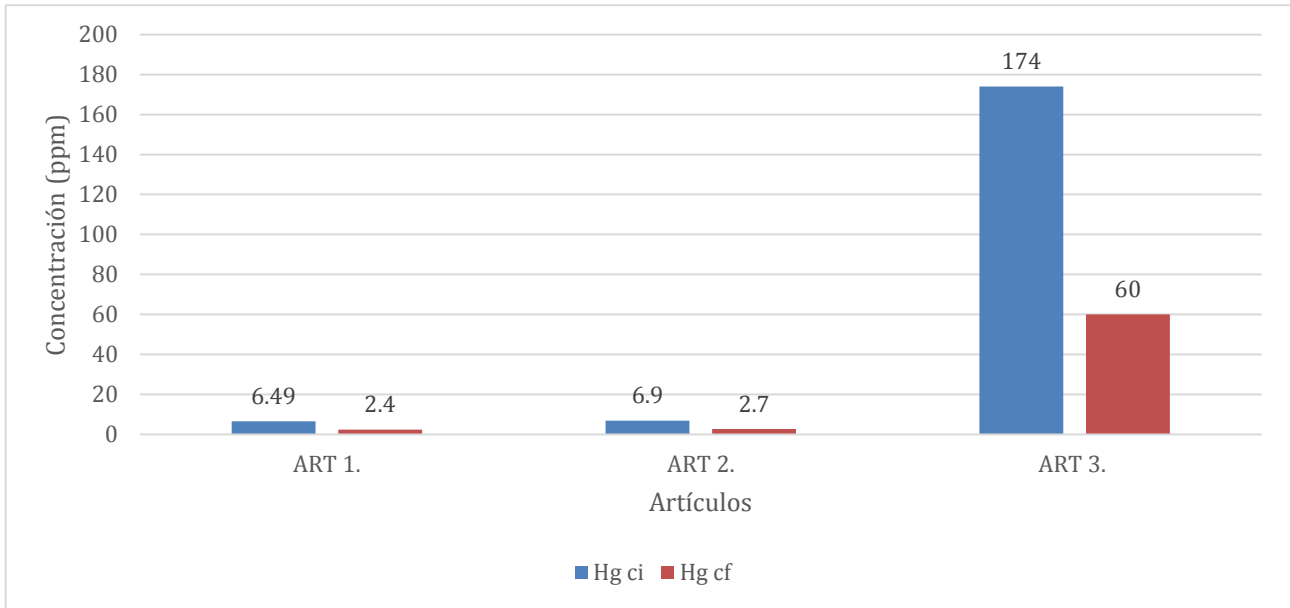


Figura 12. Concentración inicial y final de metales pesados

Donde:

*ci* = Concentración inicial

*cf* = Concentración final

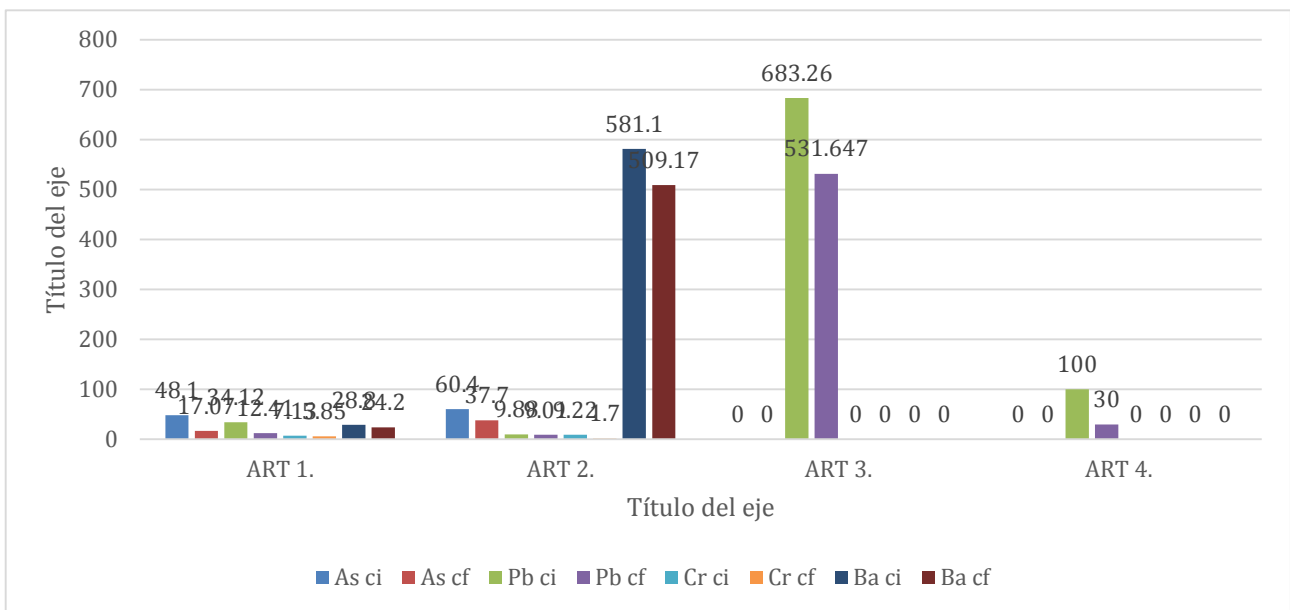


Figura 13. Concentración inicial y final de metales pesados

Donde:

*ci* = Concentración inicial

*cf* = Concentración final

Asimismo, también se graficó la eficiencia por artículo para cada una de las especies

vegetales; para ello se utilizó la fórmula de Harrington Emerson (1912):

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

Donde:

*Ci* = Concentración inicial

*Cf* = Concentración final

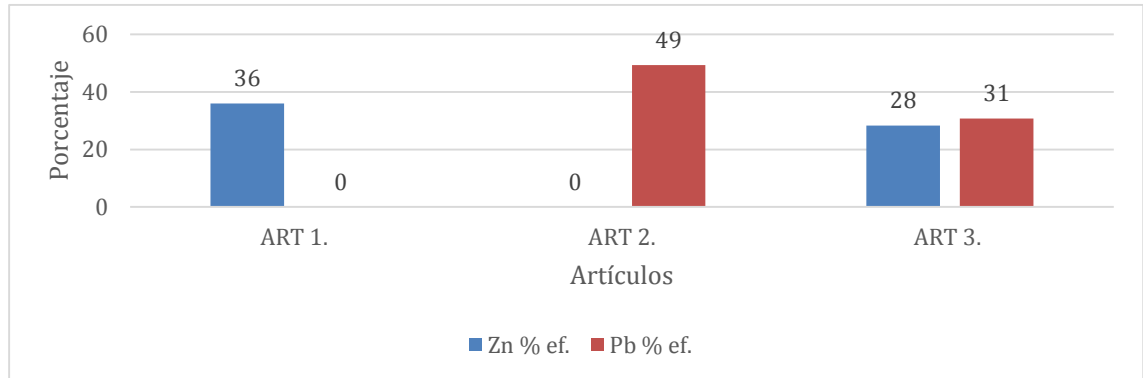


Figura 14. Porcentaje de eficiencia para *Brassica juncea*

Donde:

*% ef* = Porcentaje de eficiencia

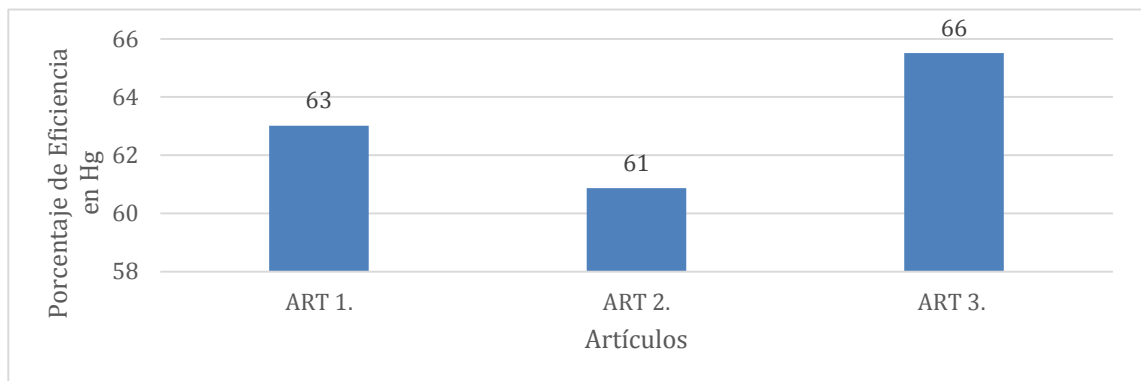


Figura 15. Porcentaje de eficiencia para *Cecropia peltata*

Donde:

*% ef* = Porcentaje de eficiencia



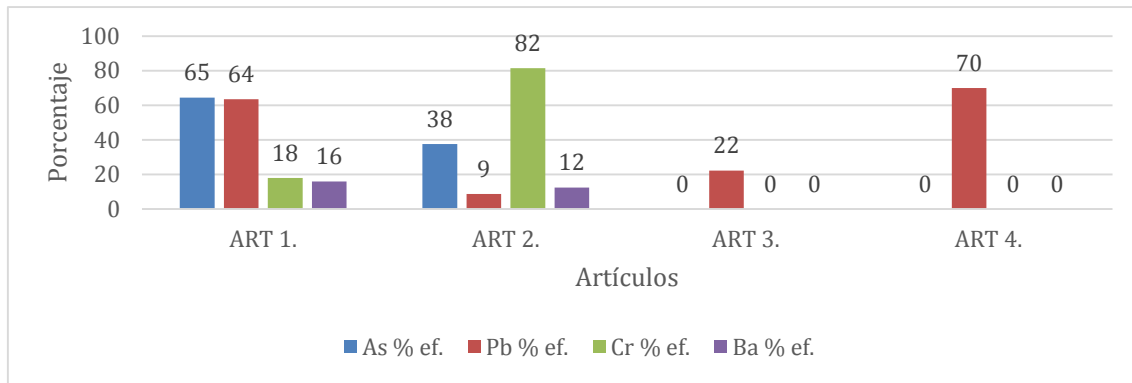


Figura 16. Porcentaje de eficiencia para *Urtica urens*

Donde:

% ef = Porcentaje de eficiencia

## 2.4. Propuesta de un diagrama con pasos para lograr la fitorremediación en suelos contaminados por minería

Se desarrolló una propuesta de metodología para aplicar la biorremediación en suelos contaminados por minería, ya que, esta técnica permite reducir o remover los contaminantes de manera eficiente y con menor costo que las técnicas tradicionales. Además, la remediación con plantas también puede ser empleada para recursos hidrológicos contaminados. El diseño de fitorremediación que se propuso se basa en el diagrama que Fabelo, J. (2017) desarrolló en su investigación. A continuación, se detalla paso a paso desde la selección y el diseño de la tecnología.

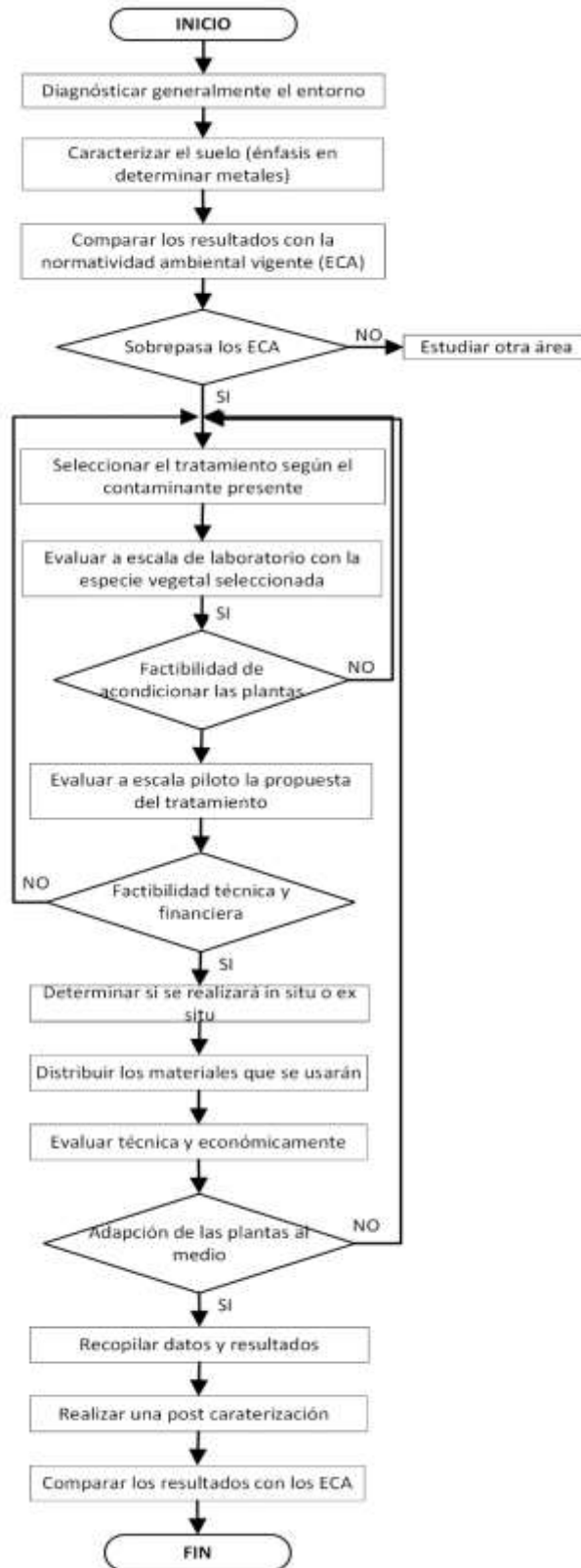


Figura 17. Propuesta para remediación de suelos contaminados

Fuente: Fabelo, J. (2017). Elaboración: Propia

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1.DISCUSIÓN

Al plantear como primer objetivo, identificar las metodologías empleadas en los estudios de *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica Urens*, nos ha permitido en primera instancia, mediante las Tablas N° 1, 2 y 3, separar los artículos por especie y determinar que la aplicación de fitorremediación es una alternativa factible, para la extracción de metales pesados que contaminan los suelos de diferentes lugares de procedencia. Por ello, de cada tipo de planta se tomaron artículos en los que se describe la metodología aplicada y diseño experimental, el cual permite la obtención de resultados, ya sea de manera experimental o descriptiva, según la toma de muestras. Por lo tanto, el presente estudio se está enfocando bajo el concepto de: utilizar la fitorremediación como una manera de aprovechar la capacidad acumuladora, metabolizadora y estabilizadora de ciertas plantas, a través de diferentes metodologías, para lograr la restauración de suelos contaminados por metales pesados, debido a su potencial aplicabilidad y bajo costo. (Delgadillo, et al. 2011)

En efecto, a lo antes mencionado, de los artículos tomados se identificó algunos de los parámetros fisicoquímicos del suelo contaminado, como %MO, pH, P, K, N y CE, los cuales, según los resultados de cada artículo se catalogaron, según Díaz (2018), como: factores determinantes en el tiempo de remoción de metales pesados y la viabilidad del método aplicado, de acuerdo a las características y componentes de suelos contaminados. De esta manera, *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica Urens* obtienen las condiciones óptimas para adaptarse al medio en el que se encuentran para su desarrollo. De acuerdo a los estudios realizados, como resultado se identificaron los valores de dichos parámetros necesarios para cada especie, detallados en las *Tablas* 4, 5 y 6, de acuerdo a la procedencia de las muestras del suelo, en el que destaca que la presencia de, Materia orgánica (%): 1.28

- 14.23 para *Brassica juncea*, 1.03-0.57 *Cecropia peltata* y 2.69-3.82 para *Urtica Urens*; pH: 6.15 - 7.82 para *Brassica juncea* (medio de ácido a alcalino), 3.71-5.7 para *Cecropia peltata* (medio ácido) y 5.7-7.7 para *Urtica Urens* (medio de ácido a alcalino); y tiempo de fitorremediación estimada: 2-7 semanas *Brassica juncea*, 4-6 meses para *Cecropia peltata* y 2 meses para *Urtica Urens*. Finalmente, según Madrigal (2019): estas condiciones se ven experimentalmente reflejadas en las propiedades del suelo y adaptación de las plantas luego de efectuar la fitorremediación; por lo que, luego del tiempo de fitorremediación se comparan los resultados con los estándares de calidad del suelo (ECA) vigentes. SINIA (2017) para comprobar el efecto de absorción de metales pesados en el suelo.

De acuerdo con Barceló (1992), durante las interacciones de las plantas y un suelo contaminado por metales pesados, se evidencian diferentes mecanismos de adsorción, transporte, acumulación de los mismos en los órganos morfológicos de la planta (hoja, raíz, tallo) y resistencia frente al metal pesado, en cuanto a la raíz, se encuentra en contacto directo con el suelo y es el medio por el que la planta absorbe nutrientes. Ante ello, según los artículos seleccionados en el presente trabajo, se pudo evidenciar los tipos de metales acumulados en las especies vegetales *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica Urens* con mayor incidencia en la concentración de metales dentro de su estructura morfológica, obteniendo los resultados descritos en las *Tabla 7*, *8* y *9*, respectivamente. Asimismo, se detalla en la *Figura 1*, tanto para la raíz, tallo y hojas de *Brassica Juncea*, se identificó la absorción de Zn, As y Pb; en el *Figura 2*, tanto para la raíz, tallo y hojas de *Cecropia peltata*, se identificó la absorción de Hg y en el *Figura 3*, tanto para la raíz, tallo y hojas de *Urtica urens*, se identificó la absorción de As, Pb, Ba y Cr. De esto, se rescata que las especies no absorben un solo metal en común, sino que varía de acuerdo a su capacidad fitorremediadora determinada por su eficiencia.

Para determinar la eficiencia de *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*, cómo se observa en las Figuras 10, 11 y 12 respectivamente, se empleó una fórmula Harrison Emerson (1912), donde la eficiencia es igual a la concentración inicial menos la concentración final, todo sobre la concentración inicial y multiplicado por 100 para sacar el resultado en porcentaje, de esta manera se logró identificar la eficiencia que tuvieron las tres especies vegetales para la absorción de los contaminantes.

En los resultados del porcentaje de eficiencia para la planta *Brassica juncea* para zinc se obtuvo valores de 36 y 28 % y para plomo 49 y 31%. Autores como Huiza (2019), indican que esta especie vegetal puede adaptarse a diferentes situaciones climáticas acumulando cantidades significativas de metales, específicamente plomo y zinc, y tolerarlos; sin embargo, la adición de ácidos orgánicos de bajo peso molecular puede triplicar los resultados que se obtengan, mientras que la adición de compost puede mejorar las propiedades químicas, además de, estabilizar los metales y favorecer el crecimiento de esta especie vegetal.

La especie vegetal *Cecropia peltata* obtuvo valores de porcentaje de eficiencia de 63%, 61% y 66% para el contaminante mercurio, en los tres estudios analizados el porcentaje de eficiencia es mayor al 60%. Bernal (2014) explica que existen especies vegetales tolerantes a los metales pesados; esto está relacionado con mecanismos como el establecimiento de enlaces entre los metales y la pared celular, la reducción del transporte por la membrana celular, el flujo activo de metales desde las células hacia el exterior, la acumulación del exceso de metales en las vacuolas, la quelación del metal por ligandos orgánicos y/o inorgánicos (fitoquelados), o por la precipitación del metal al formar compuestos de baja solubilidad. En este sentido, de acuerdo a los resultados observamos que

*Cecropia peltata* es una especie vegetal que posee grandes características de acumulación en cuanto a mercurio.

Mientras que, la especie vegetal *Urtica urens* obtuvo un porcentaje de eficiencia de 64 y 38% para arsénico; 64, 9, 22 y 70 % para plomo; 18 y 82% para cromo; 16 y 12% para bario. La diferencia significativa en resultados de porcentaje de eficiencia para cada uno de los metales radica en los diferentes tiempos de tratamiento; Aguilar (2019) explica que existe una relación directamente proporcional entre la eficiencia y el tiempo de tratamiento, es decir, a mayor tiempo de permanencia de la planta en contacto con el suelo contaminado, mayor será la acumulación de los contaminantes en sus órganos vegetativos.

En cumplimiento con el objetivo 4, se realizó la propuesta del diseño del proceso para la descontaminación de suelos contaminados por minería de manera general (ver *figura 2*), es decir, que se puede aplicar cualquiera de las tres especies vegetales descritas en el presente estudio, así como para otras; además, autores Calduch (2014) recomiendan comprender las características básicas de las especies a utilizar y, para ello es importante realizar análisis bibliográficos. Por otro lado, es importante que se sigan cada una de las etapas consideradas en el diagrama propuesto, si se desea obtener resultados exitosos en futuros proyectos experimentales; sin embargo, queda a criterio de cada investigador si desea adicionar etapas.

En este proyecto se tuvo como principal limitación la poca información sobre nuestras variables de estudio (*Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens*) aplicadas en suelos contaminados por minería. Por otro lado, si bien la fitorremediación es una tecnología de descontaminación que con el pasar de los años ha ido tomando mayor importancia, los progresos en el campo son limitados por falta de conocimientos de las interacciones entre las especies vegetales y los contaminantes presentes en el suelo, así

también, los investigadores por lo general no tienen una idea clara de cuáles son los pasos a seguir para realizar un correcto procedimiento de diagnóstico, establecimiento de la metodología adecuada y la verificación si el tratamiento está siendo efectivo o no, por ello, esperamos que la presente investigación sirva de guía para futuras investigaciones.

## 4.2. CONCLUSIONES

- La metodología a aplicarse se deberá determinar considerando el tamaño de la muestra y los tipos de contaminantes presentes para lograr una mayor eficiencia de las plantas estudiadas, asimismo, se debe tener en cuenta parámetros como Procedencia de suelo, tiempo de exposición al contaminante, ph, %MO, N, P, K, Na y CE, ya que son factores determinantes y de acondicionamiento de la planta.
- Las especies vegetales *Brassica juncea*, *Cecropia peltata* y *Urtica urens* son eficientes para realizar la fitorremediación de metales pesados, ya que los acumulan en sus principales órganos morfológicos, como raíz, hojas y tallo.
- *Brassica juncea* tiene en promedio de eficiencia para zinc 32% y para plomo 40%, mientras que, *Cecropia peltata* para mercurio 40% de eficiencia y, *Urtica urens* tiene para arsénico 51.5%, plomo 41.25%, cromo % y bario 14%; estas especies vegetales se pueden utilizar para biorremediación de suelos contaminados por minería, sin embargo, cada una de las especies tiene afinidad por diferentes metales, por lo tanto, la eficiencia también dependerá de los contaminantes presentes en el lugar a descontaminar.
- Se propuso un diagrama para el tratamiento de suelos contaminados por minería mediante la fitorremediación, el cual servirá como línea base para poder aplicarse en campo y mejorar la calidad del mismo.

## V. REFERENCIAS

- Aguilar, W. (2019). *Eficacia de acumulación de la ortiga (Urtica urens) para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la provincia constitucional del Callao, 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Alas Peruanas, Perú. Recuperado de [https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/4807/Tesis\\_Ortiga\\_Fitorremediaci%C3%B3n\\_Plomo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12990/4807/Tesis_Ortiga_Fitorremediaci%C3%B3n_Plomo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Alva, G., Chacón, A. y Morales, R. (2019). *Efecto biorremediador con Trichoderma Sp en suelos contaminados con glifosato, Distrito de Casa Grande - Provincia de Ascope - Departamento la Libertad, semestre 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú. Recuperado de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35923/alva\\_sg.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35923/alva_sg.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Álvarez, L. (2019). *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar* (Tesis de postgrado). Universidad Politécnica de Madrid, España. Recuperado de [https://oa.upm.es/55865/1/MARISA\\_ALVAREZ\\_CALVO.pdf](https://oa.upm.es/55865/1/MARISA_ALVAREZ_CALVO.pdf)
- Arenas, S. y Hernández, S. (2012). *Fitotoxicidad del cadmio (Cd) y el mercurio (Hg) en la especie Brassica nigra* (Tesis de pregrado). Universidad de Medellín, Colombia. Recuperado de <https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1233/Fitotoxicidad%20del%20Cadmio%20%28Cd%29%20y%20el%20Mercurio%20%28Hg%29%20en%20la%20especie%20Brassica%20nigra.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



Barceló J. y Poschenrieder C. (1992). *Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados*. ResearchGate. Nuclear industry water analysis.

Recuperado de:

[https://www.researchgate.net/publication/285841974\\_Respuestas\\_de\\_las\\_plantas\\_a\\_la\\_contaminacion\\_por\\_metales\\_pesados?enrichId=rgreq-9f1f52755ec6e91425cdd5fb0a150953-](https://www.researchgate.net/publication/285841974_Respuestas_de_las_plantas_a_la_contaminacion_por_metales_pesados?enrichId=rgreq-9f1f52755ec6e91425cdd5fb0a150953-)

[XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4NTg0MTk3NDtBUzozMDQ3MDE5OTg4NjIzMzZAMTQ0OTY1ODAyNTA0NA%3D%3D&el=1\\_x\\_2&esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/285841974_Respuestas_de_las_plantas_a_la_contaminacion_por_metales_pesados?enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI4NTg0MTk3NDtBUzozMDQ3MDE5OTg4NjIzMzZAMTQ0OTY1ODAyNTA0NA%3D%3D&el=1_x_2&esc=publicationCoverPdf)

Bazán, T., y Rojas, D. (2018). *Remoción de metales pesados con Juncus arcticus y Urtica dioica en un relave minero, distrito Huamachuco - La Libertad* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Perú. Recuperado de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33249/bazan\\_gt.pdf?sequence=1](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33249/bazan_gt.pdf?sequence=1)

Bernal, A. (2014). *Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general*. Revista de Investigación Agraria y Ambiental. 5(2), 245-258. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5590911.pdf>

Calduch, R. (2014). *Métodos y técnicas de investigación internacional*. Universidad Complutense de Madrid, España. Recuperado de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/835-2018-03-01-Metodos%20y%20Tecnicas%20de%20Investigacion%20Internacional%20v2.pdf>

Cárdenas, J. (2013). *La minería en México: despojo a la nación*. Cuestiones constitucionales, (28), 35-74. Recuperado de

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-91932013000100002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-91932013000100002&lng=es&tlng=es).

Círculo de Innovación en tecnologías Medioambientales y Energía (2007). *Informe de vigilancia tecnológica: técnicas de recuperación de suelos contaminados*. Recuperado de [https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6\\_tecnicas\\_recuperacion\\_suelos\\_contaminados.pdf](https://www.madrimasd.org/uploads/informacionidi/biblioteca/publicacion/doc/VT/vt6_tecnicas_recuperacion_suelos_contaminados.pdf)

Corral, M., Rivera, N., y Sánchez, E. (2014). *Percepciones y realidades de la contaminación en la comunidad minera San José de Avino, Durango*. Tecnología y ciencias del agua, 5(5), 125-140. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222014000500008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222014000500008&lng=es&tlng=es)

Delgadillo A.; González C., Prieto F., Villagómez J., & Acevedo O. (2011). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. Tropical and subtropical agroecosystems, 14(2), 597-612. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es).

Delgado, G. (2013). *Costos ecológicos de la minería aurífera a cielo abierto y resistencia social: una lectura desde el proyecto Caballo Blanco en México*. Intersecciones en Antropología, 14 (1), 279-294. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1795/179531063019>

Díaz, L (2018). *Revisión de técnicas empleadas y aplicación para la recuperación de suelos contaminados por elementos potencialmente tóxicos (EPT)*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Recuperado de:

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/15625/REVISI%203%93N%20DE%20T%20C%20CNICAS%20EMPLEADAS%20Y%20APLICACI%203%93N%20DE%20BIOESTIMULACI%203%93N%20PARA%20LA%20RECUPERACI%203%93N%20DE%20SUELOS%20CONTAMINADOS%20POR%20ELEMENTOS%20POTENCIALMENTE%20T%20C%20XICOS%20%28EPT%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, F. (2014). *Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano*. Revista de Salud Pública, 16(6), 947-957.  
<https://dx.doi.org/10.15446/rsap.v16n6.45406>

Díaz, M. (2017). *Capacidad de acumulación de la ortiga Urtica urens para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Oroya, Junín, 2017* (Tesis de pre grado). Universidad César Vallejo, Perú. Recuperado de [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20707/DIAZ\\_%20DM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20707/DIAZ_%20DM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Dueñas, J. (2015). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de Inga Edulis Mart., en un área degradada por minería aurífera en el distrito Inambari, provincia Tambopata, región de Madre de Dios* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios, Perú: Repositorio de UNAMAD. Recuperado de <https://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14070/117/004-2-3-040.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dulzaides, M., y Molina, A. (2004). *Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso*. ACIMED, 12(2), 1. Recuperado de

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es&tlng=es).

Gallardo, D., Cabrera, I., Bruguera, N. y Madrazo, F. (2013). *Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en la localidad de Santa Lucía, Pinar del Río*. *Revista Científica Avances*, 15(1), 98-116. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5350852.pdf>

Gallardo, S. (2019). *Propuesta de Fitorremediación en suelos contaminados con metales pesados mediante la utilización de Helianthus annuus L. en Camilo Ponce Enríquez, Azuay, Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad Agraria del Ecuador, Ecuador. Recuperado de <http://181.198.35.98/Archivos/GALLARDO%20QUINTEROS%20AHOMED%20SANTIAGO.pdf>

Garzón, J., Rodríguez, J. y Hernández, C. (2017). *Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible*. *Revista Universidad y Salud*, 19(2), 309-318. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n2/0124-7107-reus-19-02-00309.pdf>

Gheno, Y., Nava, G., Martínez, A., y Sánchez, E. (2011). *Las plantas medicinales de la organización de parteras y médicos indígenas tradicionales de Ixhuatlancillo, Veracruz, México y su significancia cultural*. *Polibotánica*, (31), 199-251. Recuperado en 16 de junio de 2022, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-27682011000100012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682011000100012&lng=es&tlng=es).

González, C. (2004). *La Investigación Básica. La Investigación en Ciencias Fisiológicas: Bioquímica, Biología Molecular y Fisiología. Cuestiones*

*Previas*. Educación Médica, 7(Supl. 1), 41-50. Recuperado de [http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1575-18132004000200008&lng=es&tlng=es](http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1575-18132004000200008&lng=es&tlng=es).

González, Y., Scull, I., Bada, A., Fuentes, D., González, B., Arteaga, M., y Hernández, O. (2006). *Ensayo de toxicidad a dosis repetidas durante 28 días del extracto acuoso de Cecropia peltata L. (yagruma) en ratas Cenp: SPRD*. Revista Cubana de Plantas Medicinales, 11(2). Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1028-47962006000200005&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962006000200005&lng=es&tlng=es).

Guerrero, M. y Pineda, V. (2016). *Contaminación del suelo en la zona minera de Rasgatá Bajo (Tausa). Modelo Conceptual*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 26 (1), pp. 57-74. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v26n1/v26n1a04.pdf>

Guevara, P., Verdesoto, A., y Castro, N. (2020). *Metodologías de investigación educativas (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación - acción)*. Revista Científica de la Investigación y el Conocimiento, 4(3), 163-173. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7591592>

Gutierrez, M. (2013). *Control de calidad y evaluación del antiinflamatorio de los extractos de Xanthium spinosum L. y Urtica urens en modelo murino* (Tesis de postgrado). Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. Recuperado de [https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/05/997219/control-de-calidad-y-evaluacion-del-efecto-inflamatorio-de-los-\\_jaXaKir.pdf](https://docs.bvsalud.org/biblioref/2019/05/997219/control-de-calidad-y-evaluacion-del-efecto-inflamatorio-de-los-_jaXaKir.pdf)

- Huiza, K. (2019). *Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante especies del género Brassica* (Tesis de pregrado). Universidad Científica del Sur, Perú. Recuperado de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/891/TB-Huiza%20Karen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jara, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. y Cano, N. (2014). *Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados*. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145-154. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>
- Jaramillo, G. y Trujillo, D. (2021). *Uso de especies vegetales bioacumuladoras como alternativas sustentables en procesos de fitorremediación* (Tesis de pre grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/c69d7385-569c-4625-aa76-e4c18e8c1a20/content>
- Junquera, C. (2010). *El impacto de la minería aurífera en el Departamento de Madre de Dios (Peru)*. *Observatorio Medioambiental*, 13(1), 169-202. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/download/OBMD1010110169A/21193/>
- La Rotta, A., y Torres, M. (2017). *Mining and its health and environmental impacts. The case of Potosí*. *Scielo*, 41(112), 77-91. Recuperado de [https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource\\_ssm\\_path=/media/assets/sdeb/v41n112/0103-1104-sdeb-41-112-0077.pdf](https://www.scielosp.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/sdeb/v41n112/0103-1104-sdeb-41-112-0077.pdf)
- León, V. (2017). *Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera*

*Lincuna S.A.C., en condiciones de ivernadero, 2015-2016* (Tesis de pregrado).

Universidad Nacional Santiago Antuanez de Mayolo, Ancash, Perú.

Recuperado de

[http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1900/T033\\_72513051\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1900/T033_72513051_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Lobo, P. (2013). *Evaluación de la sostenibilidad de las diferentes técnicas de recuperación de suelos contaminados* (Tesis de postgrado). Universidad de

Oviedo, España. Recuperado de

<http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/18166/4/TFMPaulaLoboRosarioProteg.pdf>

López, J., Moreira, J., Vera, A., Pacheco, P. y Toujagne, R. (2006). *Nota técnica mineralogía, geoquímica y algunas medidas de protección ambiental en yacimientos de oro de Cuba*. Universidad, Ciencia y Tecnología, 10(41-Especial),

301-306. Recuperado de

[http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1316-48212006000500007&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212006000500007&lng=es&tlng=es).

López, I. (2015). *Sobre el desarrollo sostenible y la sostenibilidad: conceptualización y crítica*. *Barataria*. Revista Castellano-Manchega de Ciencias Sociales, (20),

111-128. Recuperado de

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3221/322142550007>

Madrigal S., Morales C. y De la Garza I. (2019). *Evaluación de los cambios físicos y químicos de dos suelos contaminados con agua congénita en el estado de tabasco*. *Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability*,

3(1). Recuperado de:

<https://revistas.ujat.mx/index.php/JEEOS/article/view/3280>

Martínez, L. (2018). *Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal–Arequipa y propuesta de fitorremediación* (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú.

Recuperado de

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7789/CNDmamala2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Munive, R., Loli, O., Azabache, A., y Gamarra, G. (2018). *Fitorremediación con Maíz (Zea mays L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados*. Scientia Agropecuaria, 9(4), 551-560. Recuperado de

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2077-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-)

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

Ortega, R., Beltrán, J. & Marrugo, J. (2011). *Acumulación de mercurio (Hg) por caña flecha (Gynerium sagittatum) (Aubl) Beauv. in vitro*. Revista Colombiana de

Biología, 13(1), 33-41. Recuperado de

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-)

[34752011000100005&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752011000100005&lng=en&tlng=es)

Osores, F., Rojas, J., y Manrique, C. (2012). *Minería informal e ilegal y contaminación con mercurio en Madre de Dios: Un problema de salud pública*. Acta Médica

Peruana, 29(1), 38-42. Recuperado de

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1728-](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-)

[59172012000100012&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1728-59172012000100012&lng=es&tlng=es)



- Paiva, G. (2012). *Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando *Amaranthus spinosus* – *Amaranthaceae* en Cusco del 2012* (Tesis de postgrado). Universidad Católica Santa María, Perú. Recuperado de <https://docplayer.es/80802844-Fitorremediacion-de-suelos-contaminados-con-plomo-utilizando-amaranthus-spinosus-amaranthaceae-en-cusco-del-2012.html>
- Palacios, J., Mejía, E., Oropeza, J., Martínez, M. y Figueroa, B. (2009). *Impacto de las actividades económicas en los recursos suelo y vegetación*. Terra Latinoamericana, 27(3), 247-255. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792009000300009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792009000300009&lng=es&tlng=es)
- Pantoja, F. y Pantoja, S. (2016). *Problemas y desafíos de la minería de oro artesanal y en pequeña escala en Colombia*. Revista de la Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión, XXIV (2), 147-160. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=909/90947653009>
- Pérez, H., Vidal, J., y Marrugo, J. (2014). *Evaluación de la capacidad acumuladora de mercurio del ají (*Capsicum annuum*)*. Rev. salud pública, 16(6), 897-909. Recuperado de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0124-00642014000600008](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-00642014000600008)
- Ramos, M. (2014). *Investigación retrospectiva para dar respuesta al origen de una enfermedad ocupacional músculo-esquelética*. Salud de los trabajadores, 22(1), 65-70. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5300521.pdf>

- Rebaza, D., y Valverde, K. (2019). *Evaluación del potencial fitorremediador de la especie Brassica juncea (Mostaza) en suelos contaminados con zinc y arsénico provenientes de relaves mineros* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Perú. Recuperado de [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13782/RebazaParedes\\_D%20-%20ValverdeVasquez\\_K.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/13782/RebazaParedes_D%20-%20ValverdeVasquez_K.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Rizo, J. (2015). *Técnicas de investigación documental*. UNAN-FAREM Matagalpa. Recuperado de <https://repositoriosiidca.csuca.org/Record/RepoUNANM12168>
- Rocha, L., Olivero, J. y Caballero, K. (2018). *Impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por Mercurio en suelo superficial de San Martín de Loba, Sur de Bolívar (Colombia)*. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 34(1), 93-102. Recuperado de <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.08>
- Salgado, A. (2007). *Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos*. *Liberabit*, 13(13), 71-78. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1729-48272007000100009&lng=es&tlng=es)
- Sifuentes, E. (2014). *Producción de inóculo de Pleurotus ostreatus para uso en biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo* (tesis de pre grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Perú. Recuperado <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1874/T01-S53-T.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

SINIA (2012). *Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. MINAM.* Recuperado de:  
<https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-ea-suelo-0>

Vidal, J., Marrugo, J., Jaramillo, B., y Perez, L. (2010). *Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (Cecropia peltata)*. Ingeniería y desarrollo, (27), 113-129. Recuperado de  
<https://www.redalyc.org/pdf/852/85215207007.pdf>

Yagnentkovsky, N. (2011). *Aplicación de técnicas de biorremediación para el tratamiento de residuos industriales con alto contenido de metales pesados* (Tesis doctoral). Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Recuperado de  
[http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2706/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2706/Documento_completo.pdf?sequence=1)

## ANEXOS

## Anexo 1. Matriz de consistencia de variables

TÍTULO: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA PARA LA REMEDIACIÓN CON <i>Brassica juncea</i> , <i>Cecropia peltata</i> Y <i>Urtica urens</i> EN SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA, DE 2010 AL 2021				
PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cuál es la eficiencia para la remediación con <i>Brassica juncea</i> , <i>Cecropia peltata</i> y <i>Urtica urens</i> en suelos contaminados por Minería, de 2010 al 2021?.	<p><b>General:</b> Analizar la eficiencia para la remediación con <i>Brassica juncea</i>, <i>Cecropia peltata</i> y <i>Urtica urens</i> en suelos contaminados por minería, de 2010 al 2021.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> <i>Brassica juncea</i>, <i>Cecropia peltata</i> y <i>Urtica Urens</i></p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> <i>Suelo contaminado</i></p>	<p><b>Tipo de investigación:</b> No Experimental</p> <p><b>Diseño:</b> Descriptivo. Se diagrama de la siguiente manera: <math>VI + VD = O</math></p> <p><i>Dónde:</i> <b>VI:</b> Variable Independiente; <b>VD:</b> Variable Dependiente; <b>O:</b> Observaciones</p> <p><b>Técnica:</b> Ficha resumen</p> <p><b>Instrumento:</b> Análisis de estudios ya realizados sobre biorremediación de suelos contaminados empleando <i>Brassica juncea</i>, <i>Cecropia peltata</i> y <i>Urtica urens</i>.</p> <p><b>Método de análisis de datos:</b> Cualitativo.</p> <p><b>Método de análisis de datos:</b> Cualitativo.</p>	<p><b>Población:</b> está constituida por 30 estudios ya realizados sobre biorremediación en suelos contaminados por minería.</p> <p><b>Muestra:</b> está constituida por 11 estudios sobre descontaminación de suelos contaminados por mercurio de minería aurífera utilizando <i>Brassica juncea</i>, <i>Cecropia peltata</i> y <i>Urtica urens</i>.</p>
	<p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Identificar las metodologías empleadas en los estudios y parámetros fisicoquímico del suelo contaminado.</li> <li>Discriminar el órgano morfológico de las especies vegetales con mayor incidencia en la concentración de metales</li> <li>Determinar la eficiencia de <i>Brassica juncea</i>, <i>Cecropia peltata</i> y <i>Urtica urens</i>, para remoción de contaminantes.</li> <li>Proponer un diagrama con pasos para lograr la fitorremediación en suelos contaminados por minería.</li> </ul>			

Anexo 2. Matriz de Operacionalización de Variables

TÍTULO: “ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA PARA LA REMEDIACIÓN CON <i>Brassica juncea</i> , <i>Cecropia peltata</i> Y <i>Urtica urens</i> EN SUELOS CONTAMINADOS POR MINERÍA, DE 2010 AL 2021”					
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>					
<i>Cecropia peltata</i> y <i>Urtica Urens</i>	<i>Brassica juncea</i> , esta planta se utiliza en fitorremediación, para eliminar del suelo metales pesados, tales como plomo, en sitios con residuos peligrosos, ya que posee una muy alta tolerancia a estas sustancias y almacena los metales pesados en sus células. También ayuda a prevenir la erosión del suelo en estos sitios evitando así que la contaminación aumente (González, et al., 2006).	Se recopilarará información para poder cacular la eficiencia de remediación que tienen las especies vegetales.	Absorción de compuestos tóxicos	Porcentaje de absorción	Razón
	<i>Cecropia peltata</i> L., conocida popularmente como yagruma o guarumo en Cuba, es un árbol de más de 20 metros de altura compuesto de hojas palmeadas de colores característicos. (González, et al., 2006).		Morfología	Órganos vegetativos	Razón
	<i>Urtica urens</i> (ortiga) crece dentro de los bosques como parte de la cubierta vegetal del suelo de los bosques. Hierba erecta o ascendente de 15–50 cm de alto. Asimismo, es utilizada para la biorremediación de suelos contaminados por metales pesados. Romoleroux, et al. (2019).				
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>					
Suelos contaminados	Plaster (2000) sostiene que: “El suelo es un recurso natural de renovación muy lenta, contiene nutrimentos, minerales, compuestos orgánicos y organismos vivos, y posee la capacidad de soportar el crecimiento de las plantas” (citado por Chan, et al., 2015, p.4). Sin embargo, la FAO (2018) señala que este recurso está siendo contaminado principalmente por el hombre quien realiza actividades como: la agricultura, industria y minería.	En la presente investigación se llevará a cabo un análisis para identificar el estado inicial y final de concentración de metales pesados en el suelo, lo cual permitirá que se pueda realizar una comparación.	Calidad del Suelo	pH  Conductividad Eléctrica	Razón  Razón

Anexo 3. Matriz resumen

N°	BASE DE DATOS	TÍTULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	AUTOR	AÑO	PAÍS	ARTÍCULO				
						OBJETIVO	MÉTODO	RESULTADOS	INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN	CONCLUSIÓN
2	SciELO	Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados	Jara Enoc, Gómez José, Montoya Haydeé, Chanco Magda, Mariano Mauro y Noema Cano	2014	Perú	Evaluar la capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas en suelos contaminados con metales pesados	Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, donde fueron evaluados 20 tratamientos con 5 repeticiones por tratamiento.	Urtica urens acumuló: 854.5 mg de plomo kg-1 MS, 452.8 mg de zinc kg-1 MS y 8.9 mg de cadmio kg-1 MS. Lupinus ballianus acumuló: 992.8 mg de plomo kg-1 MS y 287.3 mg de cadmio kg-1 MS. Fuertesimalva echinata acumuló: 2015.1 mg kg-1 MS de plomo, 1024.2 mg kg-1 MS de zinc y 11 mg kg-1 MS de cadmio. Brassica rapa acumuló: 758.8 mg kg-1 MS de plomo, 550 mg kg-1 MS de zinc y 4.9 mg kg-1 MS de cadmio. Solanum nitidum acumuló: 576 mg de plomo por kg-1 de materia seca (MS), 431.4 mg de zinc kg-1 MS (Fig. 1) y 8.7 mg de cadmio kg-1 MS.	Higrotermógrafo digital	La mayor eficiencia de acumulación de plomo y zinc fue obtenida en las raíces de Fuertesimalva echinata con el tratamiento de 100% de relave de mina. Mientras que, en las raíces de L. ballianus fue obtenida la más alta acumulación de cadmio.
3	Repositorio de Tesis - Universidad Católica de Santa María (UCSM)	Fitorremediación de suelos contaminados con plomo utilizando Amaranthus spinosus - Amaranthaceae en Cusco del 2012	Paiva Prado Greta Margot	2012	Perú	Desarrollar ensayos de fitorremediación, en los suelos contaminados con plomo del relleno sanitario de kehuar-Anta utilizando la especie Amaranthus spinosus	El suelo fue contaminado artificialmente a partir del acetato de plomo (CH3-COO). Se distribuyó en estadístico de bloques randomizados con arreglo factorial de 3 x 4 con 4 repeticiones.	La absorción del plomo por Amaranthus spinosus se realiza a medida que se genera el crecimiento vegetativo, es decir formación de la raíz, tallos hojas hasta llegar a la floración el Pb es absorbido en mayor cantidad por la raíz y pasando por translocación a las diferentes partes de la planta.	Análisis por Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS) y análisis de varianza factorial a través del Modelo lineal univariante ANOVA	Amaranthus spinosus presenta alta tolerancia al contaminante plomo, ya que se desarrolla en forma normal según aumenta la concentración de este metal sin presentar ningún estrés a ningún factor (temperatura, humedad, pH).
4	DIGITAL.CSIC	Impacto de la contaminación por Cu, Zn Y Pb de suelos de minas abandonadas en una especie cultivada en ellos	Gutiérrez-Ginés, M <sup>a</sup> J.; Pastor, J. y Hernández, A. J.	2011	España	Estudiar el comportamiento de Avena sativa, L en suelos de minas contaminados con Cu, Zn Y Pb	Se utilizó dos tipos de suelos (suelo de mina de plata y suelos de mina de cobre). Se realizó tres repeticiones por cada tratamiento; en cada microcosmos se sembraron 5 semillas de Avena sativa L	Los resultados de los análisis de partes aéreas y raíces muestran que la avena es capaz de tomar los metales del suelo e incorporarlos a sus tejidos. Por otra parte, la concentración de metales es mayor en raíces que en partes aéreas	Análisis químicos por espectroscopía de emisión por plasma (ICPOES) y análisis numéricos en ANOVA y un test de rangos múltiples (LSD), cuando una transformación logarítmica era suficiente para igualar las varianzas de los datos, y mediante el test no paramétrico de Kruskal-Wallis (Kw)	Avena sativa L. es una especie que no tolera altas concentraciones de Cu en el suelo donde crece, puesto en evidencia por el mermado crecimiento y la pérdida de la capacidad de fructificar. Sin embargo, ha demostrado ser tolerante para crecer en suelos con