

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

“Comparación de la capacidad fitorremediadora de la higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros”

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
AMBIENTAL**

AUTORA: Cotrina Mamani, Keyko Stefaníe

ASESOR: Bonifacio Munguía, Jonathan Oscar

HUÁNUCO – PERÚ

2024

U

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional()
- Trabajo de Investigación ()
- Trabajo Académico ()

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación Ambiental
AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería ambiental

Disciplina: Ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniera ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ()
- Fondos Concursables ()

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 71605081

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 46378040

Grado/Título: Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental

Código ORCID: 0000-0002-3013-8532

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Zacarias Ventura, Héctor Raúl	Doctor en ciencias de la educación	22515329	0000-0002-7210-5675
2	Morales Aquino, Milton Edwin	Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
3	Prado Valenzuela, Sarita Deniz	Maestro en gestión del sistema ambiental	41830682	0000-0002-0641-5843

D

H



UNIVERSIDAD DE HUANUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 29 del mes de octubre del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

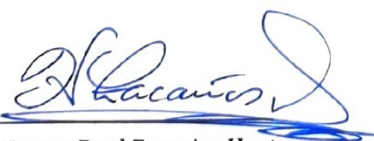
- Dr. Hector Raul Zacarias Ventura (Presidente)
- Mg. Milton Edwin Morales Aquino (Secretario)
- Mg. Sarita Deniz Prado Valenzuela (Vocal)

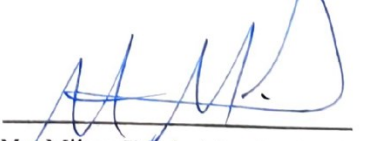
Nombrados mediante la **Resolución N° 2306-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"COMPARACIÓN DE LA CAPACIDAD FITORREMEDIADORA DE LA HIGUERILLA (*Ricinus Communis L.*) Y ORTIGA MAYOR (*Urtica dioica*) EN LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS AFECTADO POR PASIVOS AMBIENTALES MINEROS"**, presentado por el (la) Bach. **COTRINA MAMANI, KEYKO STEFANIE**, para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) **APROBADO** Por **UNANIMIDAD** con el calificativo cuantitativo de **16** y cualitativo de **BUENO** (Art. 47)

Siendo las **17:56** horas del día **29** del mes de **octubre** del año **2024**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Dr. Hector Raul Zacarias Ventura
DNI: 22515329
ORCID: 0000-0002-7210-5675
Presidente


Mg. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Secretario


Mg. Sarita Deniz Prado Valenzuela
DNI: 41830682
ORCID: 0000-0002-0641-5843
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: KEYKO STEFANIE COTRINA MAMANI, de la investigación titulada “Comparación de la capacidad fitorremediadora de la higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros”, con asesor JONATHAN OSCAR BONIFACIO MUNGUÍA, designado mediante documento: RESOLUCIÓN N° 988-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 22 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 16 de agosto de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

41. Cotrina Mamani, Keyko Stefaníe.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

ÍNDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

13%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

6%

2

repositorioinstitucional.buap.mx

Fuente de Internet

5%

3

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

4

Submitted to Universidad de Huanuco

Trabajo del estudiante

1%

5

repositorio.undac.edu.pe

Fuente de Internet

1%



RICHARD J. SOLIS TOLEDO,
D.N.I.: 47074047
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO
D.N.I.: 40618286
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

DEDICATORIA

A Dios, por acompañarme en cada instante de mi vida, por darme la oportunidad de poder concretar con esta etapa de mi vida, por poner en mi camino a personas de gran corazón que fueron mi apoyo a lo largo de mi formación profesional.

A mi madre Elizabeth Mamani por su amor puro, comprensión, apoyo incondicional, por creer en mí en todo momento, por enseñarme que todo se puede lograr con perseverancia y constancia, por saber guiarme por buen camino y por ser mi ejemplo a seguir.

A mi papito Ángel Mamani, quien siempre me brindo su amor incondicional, por sus sabias palabras, por ser un gran padre a pesar de las adversidades.

A mi mamita Amadea Rivera, quién en vida cultivó modales y valores para ser quien soy ahora, por su amor y por esos consejos que me ayudaron a seguir adelante y a no rendirme ante ninguna adversidad.

A mis hermanos, tíos y tías por todo su cariño, por su apoyo emocional y consejos durante todo este proceso.

AGRADECIMIENTOS

A Dios que siempre me ha iluminado en cada paso del camino y por darme sabiduría para cumplir uno de mis sueños más preciados.

Al Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco por haberme aceptado a formar parte de ella a lo largo de mi formación profesional, que me permitió conocer a excelentes profesionales, a los docentes que forman parte de la familia universitaria por los conocimientos impartidos, en especial a mi asesor el Mg. Jonathan Oscar Bonifacio Munguía, quien dedico su tiempo guiándome en la elaboración de mi proyecto.

A mis Jurados por sus recomendaciones, paciencia y las críticas constructivas que hicieron posible que mi proyecto de investigación se realice.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPITULO I.....	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6.1. VIABILIDAD AMBIENTAL	17
1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA	17
1.6.3. VIABILIDAD TÉCNICA.....	17
CAPITULO II.....	18
MARCO TEORICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	22
2.2. BASES TEÓRICAS.....	25
2.2.1. FITORREMEDIACIÓN	25

2.2.2. FUNCIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS	28
2.2.3. PLANTAS REMEDIADORAS	29
2.2.4. PLANTA ORTIGA MAYOR (URTICA DIOICA).....	32
2.2.5. AGLOMERACIÓN DE METALES DENSOS EN LOS VEGETALES.....	35
2.2.6. REMOCIÓN DE METALES PESADOS.....	35
2.2.7. MOVILIDAD DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO	37
2.2.8. PARÁMETROS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO ..	39
2.2.9. PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS DEL SUELO	40
2.2.10. CONTAMINACIÓN DE SUELOS CON METALES DENSOS	42
2.2.11. CONTAMINACIÓN MINERA EN SUELOS	42
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	46
2.3.1. FITORREMEDIACIÓN	46
2.3.2. REMOCIÓN	46
2.4. HIPOTESIS	48
2.4.1. HIPÓTESIS ALTERNA.....	48
2.4.2. HIPÓTESIS NULA.....	48
2.5. VARIABLES	48
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN	48
2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA.....	48
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	49
CAPITULO III.....	50
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	50
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	50
3.1.1. ENFOQUE	50
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	51
3.1.3. DISEÑO	51
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	52
3.2.1. POBLACIÓN	52
3.2.2. MUESTRA.....	53
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..	53
3.3.1. PROTOCOLO PARA LLEVAR A CABO EL PROYECTO	53

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	61
CAPITULO IV.....	62
RESULTADOS.....	62
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS	62
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	65
CAPITULO V.....	68
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68
CONCLUSIONES	71
RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS	73
ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas UTM del EUM Curimarca.....	53
Tabla 2 Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	53
Tabla 3 Descripción de la concentración de metales pesados (Cu y Pb, en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (Ricinus communis L.)	62
Tabla 4 Descripción de la concentración de metales pesados (Cu y Pb, en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (Urtica dioica)	63
Tabla 5 Descripción de los parámetros fisicoquímicos del suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica)	64
Tabla 6 Prueba de normalidad de los datos	65
Tabla 7 Contratación de la hipótesis	66
Tabla 8 Tabla comparativa de los resultados de fitorremediación	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Ricinus communis</i> L.....	30
Figura 2 <i>Urtica dioica</i>	33
Figura 3 Imagen observación pre y post intervención.....	52
Figura 4 Colocación de los trazos de muestreo en la zona de extracción regular (forma de cuadrado)	54
Figura 5 Técnica del cuarteo	55
Figura 6 Descripción de la concentración de metales pesados (en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.)	62
Figura 7 Descripción de la concentración de metales pesados (en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>)	63

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tuvo como objetivo comparar la capacidad fitorremediadora de la higuera (*Ricinus communis L.*) y ortiga mayor (*Urtica dioica*) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros. La metodología presenta un enfoque cuantitativo, tiene un alcance o nivel aplicativo y cuyo diseño experimental es un experimento verdadero. Tiene como población el suelo contaminado con un área aproximadamente de 500 m², del cual se obtuvo como muestra 100 kg de suelo afectado por pasivos ambientales mineros de un área de 10 m² y se repartieron en 10 maceteros de 10kg de capacidad de los cuales 5 de los maceteros fueron destinados para dar inicio el proceso de remoción de metales densos (Pb, Cu) con higuera (*Ricinus communis L.*) y los otros 5 maceteros con la Ortiga mayor (*Urtica dioica*), luego se llevó a analizar las muestras de suelo al laboratorio. Para el análisis de la información se utilizó el software estadístico formato IMB SPSS (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales) versión 29 que fue de utilidad para el análisis de datos, creación de tablas, etc. al igual que el programa Microsoft Excel en la comprobación de la información proporcionados por el laboratorio. Como resultado se tuvo que la ortiga mayor cumple un mejor rol bioacumulador con respecto a la higuera, asimismo se tuvo que ninguna de las especies fue capaz de remediar de manera satisfactoria el suelo contaminado por cobre. Se concluye que la especie ortiga mayor fue más eficaz para remediar el suelo contaminado por metales pesados que la higuera.

Palabras Clave: Comparación, capacidad, higuera, ortiga, remoción.

ABSTRACT

The objective of this research project was to compare the phytoremediation capacity of castor stinging nettle (*Ricinus communis* L.) and nettle (*Urtica dioica*) in the removal of heavy metals in soils affected by mining environmental liabilities. The methodology presents a quantitative approach, has a scope or application level and whose experimental design is a true experiment. Its population is contaminated soil with an area of approximately 500 m², from which 100 kg of soil affected by mining environmental liabilities from an area of 10 m² was obtained as a sample and distributed into 10 pots of 10 kg capacity, of which 5 The pots were intended to begin the process of removing dense metals (Pb, Cu) with castor (*Ricinus communis* L.) and the other 5 pots with the Greater Nettle (*Urtica dioica*), then the soil samples were analyzed. to the lab. For the analysis of the information, the statistical software IMB SPSS format (Statistical Package for Social Sciences) version 29 was used, which was useful for data analysis, creation of tables, etc. as well as the Microsoft Excel program in verifying the information provided by the laboratory. As a result, it was found that the nettle fulfills a better bioaccumulator role with respect to the castor plant, and it was also found that none of the species was able to satisfactorily remediate the soil contaminated by copper. It is concluded that the greater nettle species was more effective in remediating soil contaminated by heavy metals than the castor plant.

Keywords: Comparison, capacity, castor, nettle, removal.

INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos por los pasivos ambientales mineros, generado por la explotación y extracción de minerales ha evolucionado significativamente a nivel mundial, ya que es el principal causante de los daños que enfrenta el entorno ambiental y la salubridad de la gente.

Los metales pesados están presentes en el suelo como un componente natural y como consecuencia de las actividades generadas por el hombre, por lo que la minería, viene siendo uno de los temas más destacados y no por las actividades económicas, sino por la situación crítica de generar impactos negativos al ambiente, provocando la contaminación de suelos, pérdida de miles de hectáreas vegetales, debido a que la mayor parte son explotaciones sin ningún tipo de estrategias de manejo ambiental para los impactos generados a los componentes ambientales que provoca dicha actividad.

En la región de Huánuco se encuentran muchos pasivos ambientales mineros y todos ellos sin ninguna estrategia de manejo ambiental, uno de ellos ubicados en San Rafael, el cual se ha convertido en el principal factor que impacta negativamente a los componentes del ambiente como el suelo, aire, agua y de la misma manera a la salud de población que vive alrededor del pasivo ambiental.

El recurso suelo es el que resulta ser directa y altamente afectado por las malas prácticas mineras y la ausencia de reglas que regulen el cierre de minas o contribuyan a un buen manejo de estos, la contaminación de este recurso ocurre debido al exceso de metales pesados en el suelo que disminuye su calidad y fertilidad de esta, ya que afecta la composición microbiológica y aquellos metales pesados que contaminan los canales del agua que utiliza la población de San Rafael para el regadío de sus cultivos comprometiendo de esta manera la salud alimentaria.

A fin de solucionar esta problemática se optó por elegir la fitorremediación con la técnica de fitoextracción, el cual es amigable con el medio ambiente para remediar suelos contaminados con metales pesados

utilizando plantas propias de la región y que se adaptan al clima como la higuera (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*) con capacidad de acumular grandes cantidades de metales pesados en sus estructuras aéreas (hoja y tallo) y radicular (raíz), de esta manera mejorar el recurso suelo, contrarrestando así la contaminación para posteriormente utilizar esos terrenos para plantaciones forestales y reducir los riesgos hacia la salud de personas.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El suelo es recurso fundamental para la vida ya que proporciona materias primas renovables y no renovables, que sirven de utilidad para el hombre, ya que en ella se realiza diversas actividades como la agricultura, construcción, minería, recreación, entre otros, asimismo se realiza diferentes funciones en la naturaleza, así como la generación y transformación de sustancias nutritivas para los vegetales y microorganismos que se encuentren en el suelo, de tal manera el suelo mediante la descomposición es capaz de transformar compuestos orgánicos o de modificar su estructura para conseguir la mineralización. Según MINAM (2020), el suelo juega un papel crítico en el buen desempeño y equilibrio en el entorno ambiental, y aparte de esto contribuye al orden de la salida del líquido y el tiempo, la biodiversidad y la captura de la hulla.

El suelo es un recurso finito, el cual no puede ser reemplazado, ya que para que se forme un suelo fértil de 1 cm tiene que pasar muchos años, el resultado de todo ese transcurso viene a ser la superficie donde se puede desarrollar la vida, es decir el suelo es la base para los alimentos, medicamentos y servicios eco sistémicos, por eso es importante de tener un suelo de calidad, ya que de este depende que los seres vivos sigan teniendo alimento y un refugio.

A nivel mundial la problemática de pasivos mineros tiene impactos ambientales y socioeconómicos, dentro de los impactos ambientales se encuentran el paisaje alterado físicamente, los desechos apilados, la combustión espontánea de desechos de carbón, contaminación del agua, daños a la vegetación, pozos abiertos, contaminación del suelo; de igual manera los impactos socioeconómicos van de la mano con los impactos ambientales como es la pérdida de suelo, ya sea el vertido de los residuos mineros, por erosión, desgaste, corrosión, mal drenaje o un suelo

directamente contaminado.

El Perú se posiciona entre los principales generadores de metales, que ocasionan impacto positivo en cuanto a la economía, pero con el pasar de los años ha generado un impacto hacia el ambiente de manera negativa, por presencia de pasivos ambientales mineros.

De acuerdo con MINEM (2019), en el Perú se registró 8,448 pasivos ambientales mineros, de los cuales se identificaron 4,353 de peligro alto por actividades mineras e hidrocarburos, de estas el 88% no cuenta con un estudio ambiental para su remediación. Las regiones con mayor cantidad de Pasivos Ambientales Mineros “PAM” en su territorio son: Ancash con 1,362; Cajamarca con 1,156; Puno con 1,054; Huancavelica con 881; Lima con 680 y Junín con 666.

Asimismo, estos pasivos ambientales mineros manifiestan riesgos para el entorno ambiental y la salubridad de la gente; la exposición a la contaminación se debe a la presencia de sustancias peligrosas en diferentes medios ya sea en el agua, suelo o en el aire.

Huánuco cuenta con 295 pasivos ambientales mineros, es una región que presenta conflictos socio ambientales, debido a las malas prácticas mineras y la ausencia de reglas que regulen el cierre de minas o contribuyan a un buen manejo de estos, es por lo que se generó la aglomeración de PAM, como es el caso en la jurisdicción de San Rafael, el cual provoca la contaminación de los recursos naturales, poniendo de esta manera en peligro la salud humana y poblaciones aledañas.

Es por ello que decidí buscar una alternativa de solución a esta alarmante situación, por lo que opté por la técnica de fitorremediación en la cual se emplea el uso de plantas fitorremediadoras como la Higuera y la Ortiga mayor, las cuales son personajes principales en el procedimiento de purificación del recurso suelo repleto de contaminantes provenientes de los pasivos ambientales, causantes de la inutilización de terrenos, vegetación y estabilidad del ecosistema. Esta clase de procedimiento comparado con otros procedimientos convencionales resulta ser ambientalmente factible, asimismo

en la parte económica puesto que no es muy costoso; esta investigación tiene por finalidad proponer la mejor especie que tiene la mayor capacidad fitorremediadora para remover metales pesados, contrarrestando así la contaminación que se genera al medio ambiente por pasivos ambientales mineros y el de dar una mejor vida a las personas que viven alrededor. El estudio se constituye como una investigación de nivel aplicativo, que, por su naturaleza, busca la mejora de una situación problemática.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Existe diferencia entre la capacidad fitorremediadora de la higuera (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

¿Cuál es la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (*Ricinus communis* L.)?

¿Cuál es la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (*Urtica dioica*)?

¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos del suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*)?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar la capacidad fitorremediadora de la higuera (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Describir la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (Ricinus communis L.).

Describir la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (Urtica dioica).

Describir los parámetros fisicoquímicos del suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica).

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A lo largo de los años se ha venido poniendo en conocimiento sobre la problemática ambiental que están derivados de la contaminación de suelos, principalmente por procesos agrícolas y mineras mal controladas.

La presente investigación resultó de mucha utilidad para encontrar una propuesta para mejorar las condiciones actuales del suelo contaminados por pasivos ambientales mineros, el cual a través de metales densos contamina el recurso suelo. El proyecto tuvo como finalidad disminuir la cantidad reunida de dichos metales densos del suelo mediante la fitoextracción, ya que es una opción viable y ecológica que contribuye de manera sostenible al medio ambiente, utilizando plantas para la fitoextracción de contaminantes de los suelos deteriorados.

De igual manera, esta investigación contribuye al óptimo bienestar de los pobladores que viven cerca del lugar donde hay existencia de pasivos ambientales mineros, por lo que se espera que de los resultados que se obtengan sea de ayuda o sirvan de base para futuras investigaciones que tengan relación con la investigación, y así poder mitigar la contaminación del suelo.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Una de las limitaciones que se tuvo fue la carencia de investigaciones regionales sobre fitorremediación del suelo con metales pesados en la provincia de Huánuco.

Asimismo, otra de las limitaciones más relevantes fue que no se contó con disponibilidad de laboratorios en la provincia de Huánuco, por lo que se tuvo que enviar las muestras de suelos a la ciudad de Tingo María, donde existe laboratorio de suelo de la UNAS para poder realizar el análisis correspondiente.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. VIABILIDAD AMBIENTAL

Es posible, puesto que ayuda a mitigar la contaminación del suelo por pasivos ambientales mineros, ayudando a la mejora de la calidad del suelo, asimismo trae beneficios al ambiente por el empleo de recursos naturales y contribuye a un óptimo bienestar de los pobladores.

1.6.2. VIABILIDAD ECONÓMICA

Respecto a los recursos financieros, el costo para determinar los parámetros del suelo que fueron analizados en el laboratorio antes y después de realizar la fitorremediación, fue posible costearlo, porque se contaba con los recursos económicos necesarios, completando la tarea planteada en el estudio.

1.6.3. VIABILIDAD TÉCNICA

Fue viable, por el hecho de que se tenía información precisa para poder realizar este proyecto de investigación sin ningún inconveniente. Las plantas Higuierilla y Ortiga mayor son accesibles, y se adaptan de manera óptima al clima de la zona de estudio. Facilidad de transporte, ya que el lugar donde se obtuvo el suelo para realizar la investigación, se encuentra a unas horas de la ciudad y se cuenta con movilidad propia.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Vixta (2019) en su tesis: Estudio comparativo de tres técnicas de extracción química secuencial en la fitorremediación de jales mineros, Universidad Autónoma de Puebla, México, cuyo **objetivo** fue evaluar la movilidad de Elementos Potencialmente Tóxicos “EPT” mediante la comparación de tres metodologías de extracción química secuencial en la rizosfera de un tratamiento de fitorremediación en jales mineros de Zimapán, Hidalgo. En la **metodología** se realizó un ensayo de fitorremediación con *Ricinus communis*, una enmienda orgánica y Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (BPCV) *Klebsiella* MC173, *Enterobacter* MC101 y *Escherichia* N16. Se determinaron parámetros fisicoquímicos del jal, la concentración total de EPT por el método 3052 de la EPA y la fracción extraíble de EPT. En los **resultados** de la movilidad de EPT confirmó que las BPCV y *Ricinus communis* influyen su distribución en las distintas fracciones consideradas por cada técnica. Debido al contenido asociado a formas solubles, intercambiables, carbonatos, oxihidróxidos y óxidos de Fe y Mn se encontró alto potencial de movilidad de As, Cd, Fe, Mn, Pb y Zn. Se determinó alta asociación de los EPT a sulfuros primarios, que coincide con las menas características de la región. Se obtuvo como **conclusión** que se encontró a *Ricinus communis* como una especie capaz de germinar y desarrollarse en presencia de altas concentraciones de Fe, As y Zn y contenidos relativamente altos de Pb y Mn.

Acosta (2019) en su tesis: Evaluación de los procesos de fitorremediación con *Ricinus communis* L. y *Helianthus annuus* L. usando bacterias promotoras de crecimiento vegetal, Universidad Autónoma de Puebla, México, su **objetivo** fue evaluar el desempeño de

Ricinus communis L. (Higuerilla) y *Helianthus annuus* L. (Girasol) en un proceso de fitorremediación asistido con bacterias promotoras del crecimiento vegetal en sustrato orgánico comercial Miracle Grow® y jales. Para la **metodología** las semillas de Higuerilla se plantaron en cada unidad experimental que 40 contenía 500 g de jal con un 5% de sustrato orgánico comercial Miracle Grow®, se inocularon con suspensión bacteriana 0.5 Å a 600nm excepto el testigo, el cual fue inoculado con Buffer de fosfatos 1M. Una vez germinadas las plántulas se inocularon por segunda vez a los 11 días, tuvieron riego diario y monitoreo del crecimiento a través de la longitud del tallo a lo largo de 30 días. A los 30 días, cada planta se retiró cuidadosamente de la maceta y la raíz se enjuagó varias veces con agua destilada estéril. Las partes de la planta se clasificaron como aéreas (tallo y hoja) y subterráneas (raíces). El crecimiento de la planta se evaluó midiendo la altura del tallo, la longitud y volumen de desplazamiento de la raíz y el peso húmedo y seco de la biomasa. De acuerdo con los **resultados** obtenidos en los experimentos realizados con sustrato orgánico comercial Miracle Grow® se tuvo que, para la planta de Girasol, la cepa 133 fue la que presentó un mejor crecimiento en el tallo, mostrando así una mejor influencia en el incremento de su biomasa mientras que para el crecimiento de la raíz la cepa 103 resultó ser la más eficiente en el desarrollo. Con respecto a la planta de Higuerilla en el experimento con sustrato orgánico comercial Miracle Grow®, el mejor crecimiento del tallo lo presentó la cepa 129 teniendo una mejor promoción del crecimiento vegetal, esto favorecido por la actividad microbiana y la producción de metabolitos. De esta manera se **concluyó** que la cepa 103 en ambos experimentos ha demostrado sus capacidades como bacteria promotora del crecimiento vegetal ayudando al crecimiento de las plantas bajo condiciones de estrés en presencia de jales mineros ya que contribuyó al desarrollo de la raíz y del tallo en ambos experimentos.

Silva (2019). En sus tesis: Potencial de fitorremediación de *Ricinus communis* L. en suelos contaminados por hierro, en las minas de Camaquã-RS. Universidad Federal Do Pampa, Brasil, tuvo como

objetivo evaluar el potencial de fitorremediación de la especie *Ricinus communis* L. (Camona), ex situ, en suelos contaminados por residuos de mineral de hierro, provenientes de la localidad de Minas do Camaquã, distrito de Caçapava do Sul, RS. En su **metodología** se evaluaron parámetros de crecimiento, alteraciones físico-morfológicas y potencial de fitoextracción de la especie *Ricinus communis* cultivadas en diferentes suelos en 90 días de crecimiento. Los grupos sometidos a suelo contaminado por relaves no presentaron síntomas de toxicidad y mostraron parámetros de crecimiento normales o incluso positivos en comparación con el suelo control. Como **resultado** la especie demostró una bioacumulación significativa, tuvo factores positivos de translocación y bioacumulación. Se **concluyó** que, *Ricinus communis* demostró ser promisorio como fitorremediador para el área de estudio.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Barrios y Garcilazo (2019) en su tesis: Capacidad fitorremediadora de *Ricinus communis* “Higuerilla” sobre Arsénico y Plomo de suelos contaminados del sector La Porfía Pataz, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo. Tuvo como **objetivo** evaluar la capacidad fitorremediadora utilizando la planta *Ricinus communis* “Higuerilla”, para absorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de contaminantes como metales pesados. Su **metodología** consistió en evaluar los parámetros de crecimiento (tales como la longitud de las raíces, la altura del tallo y el número de hojas) en las diferentes etapas de crecimiento de la planta, con el fin de determinar la capacidad fitorremediadora de la Higuerilla en las concentraciones de plomo y arsénico. Por otra parte, se midió la concentración de dichos elementos en la planta. De los **resultados**, se destaca que se encontró que *Ricinus communis* puede tolerar y absorber las concentraciones de plomo y arsénico (49.15 mg As/kg) en suelos contaminados por metales y, por lo tanto, se **concluyó** que puede ser utilizada para fitorremediación de suelos afectados por contaminación minera.

Bazán y Rojas (2019) en su tesis: Removimiento de metales densos con *Juncus balticus* y Ortiga mayor en un desecho minero, Distrito Huamachuco - La Libertad, Universidad César Vallejo, La Libertad; el proyecto tuvo por **objetivo** calcular la cantidad extraída de metales pesados existentes en un relave minero utilizando las plantas herbáceas (*Urtica dioica* y *Juncus arcticus*); la **metodología** que utilizó fue un diseño experimental en el que participaron un grupo control y dos grupos experimentales, de los cuales se realizaron tres repeticiones para cada planta, estas a su vez contenían el 70% de relave minero y el resto abono orgánico (humus) para efectuar el procedimiento de remoción de metales como: Cd, As y Pb, todo esto se realizó fuera del área del relave minero fuera del relave minero, además se llevaron al laboratorio las muestras de suelo para tener conocimiento de la cantidad reunida de metales que contiene un relave minero sin ninguna intervención; respecto a los **resultados**, la cantidad acumulada de metales en el suelo combinado con relave minero fueron las siguientes: 11.42mg/kg del elemento cadmio, 433.08 mg/kg del elemento arsénico y 142 mg/kg de plomo, luego de llevar a cabo el proceso de remoción de metales usando el método de fitorremediación por 2 meses, la especie *Urtica dioica* extrajo el 33.7% del metal arsénico, 70.8% del metal cadmio y 32.2% del metal plomo, mientras que la especie *Juncus arcticus* logró resultados de 27.5% de As, 67.9% de Cd y 26.3% de Pb; finalmente como **conclusión** menciona que la especie *Urtica dioica* removió mayores cantidades de elementos metales contaminantes (Pb, Cd y As) existentes dentro del relave minero a comparación de la especie *Juncus arcticus*, asimismo los resultados que se obtuvieron respecto a la remoción de metales después de la fitorremediación sobrepasando las referencias de la normativa sobre el estado del entorno para el tipo de suelo agrícola.

Quispe (2020) en su tesis: Fitorremediación con *Ricinus Communis* para el tratamiento de suelos contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco, Universidad Daniel Alcides Carrión, tuvo como **objetivo** proponer la fitorremediación con *Ricinus communis* para el tratamiento de suelos contaminados con plomo. La **metodología** consistió en

preparar suelos a diferentes concentraciones de plomo a partir del nivel original; los cuales fueron de 458.62 mg/kg, 704.36 mg/kg, 955.94 mg/kg y 1210.32 mg/kg de plomo para lo cual se consideró tres repeticiones por cada tratamiento, así se evaluó la tolerancia del *Ricinus communis* al plomo. Los **resultados** obtenidos de acuerdo al análisis estadístico planteado para un nivel de confianza de 0.05 indican que el *Ricinus communis* fitorremedia mejor en suelos con concentración de plomo entre 243.90 mg/kg y 835.63 mg/kg de Pb; y, además, para el tratamiento de 243.90 mg/kg de Pb se disminuye su concentración hasta niveles inferiores al Estándar de Calidad Ambiental para suelo DS N° 011-2017-MINAM, para Uso de Suelo Residencial y/o Parques. Finalmente, se realizó los cálculos correspondientes para hallar los factores de translocación y bioconcentración. Donde, con el factor de bioconcentración determinó que el *Ricinus communis* no se considera como una planta hiperacumuladora, más bien entraría en la clasificación de una especie exclusora y con el factor de translocación se llegó a la **conclusión** de que esta planta es un fitorremediador del tipo fitoestabilizador; debido a que, limita la absorción del contaminante por la raíz y reduce la movilidad de este a otros tejidos de la planta; proponiendo esta planta para casos de contaminación de plomo en suelos que requiera de un tratamiento del tipo fitoestabilizador.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Paredes (2021) en su tesis: Efecto de la fitorremediación con 2 variedades de ortiga en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto, Marabamba, Provincia de Huánuco, Dpto de Huánuco, UDH, cuyo **objetivo** fue evidenciar el efecto del tratamiento vegetal con dos tipos de ortiga sobre la calidad del suelo utilizado en vertederos a cielo descubierto. La **metodología** empleada en esta investigación fue experimental, donde se contó con 2 grupos de 4 repeticiones cada una. Para poder demostrar el efecto de dichas plantas se tuvo que analizar parámetros químicos, biológicos y físicos del suelo, así como los tres metales densos (pb, cd y zn) presentes en el suelo, estos fueron

evidenciados con los ECA para Suelo. Los **resultados** mostraron que acuerdo al análisis mecánico el suelo fue clasificado como de trama franco sabuloso; con los dos tipos de urtica se tuvo un resultado notable en la reducción de plomo y cadmio, con *Urtica urens* fue 80.5 ppm de Plomo y de 1.64 ppm con Cadmio mientras que con la *Urtica dioica* fue de 92.5 ppm de Plomo y 1.575 ppm de Cadmio; también se pudo apreciar que el pH con *Urtica urens* L, que se encontraba inicialmente levemente alcalino pasó a moderadamente alcalino, mientras tanto con la *Urtica dioica* L. el pH se mantuvo en levemente. El suelo que contuvo *Urtica urens* L. mostró Materia orgánica con 0.195 ppm, Nitrógeno con 0.0075%, por otro lado, la *Urtica dioica* L. mostró Materia orgánica un total de 0.4975 ppm y Nitrógeno un 0,0075 %; se tuvo como **conclusión** que la *Urtica urens* L. tuvo mayor impresión que la *Urtica dioica* L. en cuanto a los indicadores químicos del suelo, en la remoción de cadmio y plomo, además que actúa como un estimulante para los microorganismos.

Carhuaricra (2019) en su Tesis titulada: “Fitorremediación mediante el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *Limnobiium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle” - Universidad de Huánuco, tuvo por **objetivo** determinar la capacidad fitorremediadora por el proceso de fitodegradación a escala experimental con dos especies acuáticas, *Limnobiium laevigatum* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales de la laguna facultativa,. Para la **metodología** tuvo un enfoque cuantitativo en la que se diseñó un humedal artificial de flujo libre superficial a escala laboratorio, se incorporaron las dos especies macrófitas flotantes comúnmente conocido como Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el Trébol de agua (*Limnobiium laevigatum*), en la que se evaluó la fitorremediación por el proceso de fitodegradación en diferentes y se hizo las mediciones de 23.4 horas, 31.2 horas, 39 horas y 46.8 horas, de esta forma poder remover elementos tóxicos presentes en el agua de forma económica,

ecológica y con un aporte al desarrollo sostenible. En el sistema ya mencionado se trabajó en el tratamiento de aguas residuales domésticas, para lo que se establecieron los siguientes parámetros: potencial de Hidrogeno (pH), Conductividad, Temperatura, Coliformes Termotolerantes, DBO, DBQ, Sólidos suspendidos Totales, Los **resultados** obtenidos en el mencionado tratamiento fueron: Para sólidos suspendidos totales post tratamiento una reducción: en 23.4 horas 132 mg/L, 31.2 horas 26 mg/L, 39 horas 31 mg/L y en 46.8 horas 68 mg/L. DBO post tratamiento tuvo una reducción: en 23.4 horas 99.8 mg/L, en 31.2 horas 42.5 mg/L, en 39 horas 34.7 mg/L y en 46.8 horas (36.5 mg/L). La DQO post tratamiento tuvo una reducción: en 23.4 horas 271.1 mg/L, en 31.2 horas 156.8 mg/L, en 39 horas 128.4 mg/L y en 46.8 horas 166.9 mg/L. El pH post tratamiento tuvo un incremento: en 23.4 horas 6.2, en 31.2 horas 6.6, en 39 horas 6.7 y en 46.8 horas 7.5. La temperatura posterior al tratamiento tuvo un incremento: en 23.4 horas 21 °C, en 31.2 horas 24 °C, en 39 horas 27 °C y en 46.8 horas 24 °C. La conductividad tuvo una reducción posterior al tratamiento: en 23.4 horas 487 µS/cm, en 31.2 horas 414 µS/cm, en 39 horas 342 µS/cm y en 46.8 horas (315 µS/cm). Por otro lado, posterior al tratamiento los coliformes fecales o termotolerantes tuvieron una reducción: en 23.4 horas 1300000 NMP/100mL, en 31.2 horas 7900 NMP/100mL, en 39 horas 230 NMP/100mL y en 46.8 horas 790 NMP/100mL. Con lo que se **concluyó** que con este proceso existe una capacidad para la fitorremediación, ya que los parámetros evaluados están por debajo de los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.

Fernández (2019) en su tesis: Tipificación de clases de vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto, Distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, tuvo como **objetivo** el reconocimiento de aquellas especies originarias del caserío ubicado en Picuruyacu Alto capaces de acumular cadmio en su estructura; como **metodología** se realizó un análisis físico, químico y morfológico (tallo, raíz, flor, hojas y semillas) de los 4 individuos de las

especies propios del lugar de estudio; como **resultados** se registraron que de los análisis realizados, las 9 especies vegetales que logró identificar acumularon en sus raíces el 50% de la cantidad total del metal cadmio; como la especie *Browallia americana* tuvo la capacidad de acumular el 81.39% en su estructura radicular, también la especie *Cyathula prostrata* cuya acumulación de cadmio en sus raíces representó el 52.47% y la especie vegetal *Cyperus simplex* logró acumular el 52.81%, esto se debe a que las especies vegetales necesitan una mejor distribución del metal cambio con la finalidad de no ser afectados; como **conclusión** el Tesisista menciona que las 7 especies vegetales originarias que pueden tolerar el metal cadmio en sus estructuras son: *Ageratina* cf *azangaroensis*, *Diodia alata*, especie *Philoglossa mimuloides*, *Browallia americana*, la especie *Euphorbia heterophylla*, *Commelina difusa* y la especie *Borreria prostrata*, además, se han reconocido dos especies vegetales nativas con la capacidad de acumular cadmio, los cuales son la especie vegetal de *Cyathula prostrata* cuyo grupo se denomina *amaranthaceae* y la especie *Cyperus simplex* correspondiente al grupo denominada *cyperaceae*.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. FITORREMEDIACIÓN

La palabra fitorremediación resulta del término griego phyto que denota planta y del término latín remedium denota remover un daño; y se define como el procedimiento que emplea especies vegetales para extraer, trasladar, reunir y deshacer las sustancias contaminantes ya sean del tipo inorgánico e inorgánico en el recurso suelo y la aplicación se puede realizar en el sitio como fuera del lugar contaminado (Agudelo et al., 2005).

Un conglomerado de formas para destituir, asimilar, descomponer compuestos de metales densos, orgánicos, radiactivos y derivados del petróleo mediante el manejo de plantas con suficiencia fisiológica y bioquímica de aspirar, acumular, o convertir las sustancias en menos tóxicas. (López, 2011).

El proceso de la fitorremediación nace como un tipo de tecnología en el que se manipulan especies vegetales, cuyo propósito es purificar zonas contaminadas ya sea aire, agua o suelos, cuyo tratamiento radica en el potencial de las plantas para acumular, extraer, admitir y disminuir los contaminantes a cantidades aceptables que no representen agravios al entorno y al bienestar de las personas (Bernal, 2014).

Adicionalmente al propósito de la fitorremediación de quitar el elemento contaminante de la composición del recurso suelo, es importante añadir la recuperación de la cualidad del recurso para desplegar sus funciones de modo eficaz y sustentable (Bernal, 2014).

Según Delgadillo et al. (2011), nombra aquellas especies vegetales con tolerancia a metales que tienen mecanismos para dicho tratamiento. El procedimiento a utilizarse se da según la clase de metal, la eficiencia de absorción, transporte y almacenamiento; los vegetales que absorben y acumulan metales pesados, sigue diversas etapas para realizar esta transformación:

- **Primera etapa:** Implica la transferencia de metales pesados dentro del sistema de las plantas y su ubicación en las partes aéreas. Las raíces son el principal punto de entrada de los compuestos densos, a los que llegan por expansión, flujo másico o intercambio catiónico en el medio. Debido a la presencia de ácidos carboxílicos, las células de las raíces están cargadas negativamente de ellos e interactúan con las cargas positivas de los elementos densos, formando así una armonía dinámica favorable para entrar al interior de las células a través de la vía apoplástica o simplástica.
- **Segunda etapa:** Los metales densos dentro de las especies vegetales son retenidos mediante la unión de iones específicos por medio de antagonistas, ya que estas son producidas por las mismas plantas que tienen dentro de ellas ácidos somáticos, ácidos aminados y 2 tipos de péptidos: aquellos que son ricos en tiol y los que se conforman por metales más proteínas.

- **Tercera etapa:** Al final, pasa por la categorización y desintoxicación, desarrollo por el que, el metal pesado al unirse con 1 o más compuestos orgánicos son retenidos en el orgánulo celular.

❖ **Tecnologías de fitorremediación**

La fitorremediación es una técnica que aprovecha la capacidad remediadora de ciertas plantas para absorber, acumular, estabilizar o reducir los contaminantes del suelo, entre ellos los metales pesados (Obeso et al., 2017).

La fitorremediación puede usarse de varias maneras, una de ellas es el de autocontrol en la cual incluye procesos como la rizofiltración, la fitoestabilización y fitoinmovilización, otra manera de usarse es el de la eliminación, la cual comprende procesos de fitodegradación, fitoextracción y fitovolatilización. Thangavel y Subhuraam (2004). Asimismo, existen técnicas fitorremediadoras para la purificación de zonas terrestres y zonas acuáticas deterioradas, los cuales se mencionan a continuación:

- **Fitoextracción:** Llamado también fitoacumulación, cuyo primer paso es la elección de especies vegetales idóneas para el proceso de extracción de metales y también se tendrá en cuenta el ambiente para su desarrollo; la fitoacumulación es un proceso que radica en extraer los metales pesados a través de las raíces de las especies vegetales y reunirlos en las otras secciones de la planta como en tallos y hojas. Posterior al crecimiento de la planta se procede a cortar y luego quemarlo para después disponerlo en un estercolero de seguridad (Delgadillo et al., 2011).
- **Fitovolatilización:** Es aquel proceso en el que las plantas luego de haber captado agua y a la vez sustancias contaminantes de tipo inorgánico y orgánico, se transportan hacia las hojas y luego se volatilizan hasta la atmósfera, por intermedio de este procedimiento se expulsan contaminantes de tipo orgánico evaporables como el

benceno y tolueno, también metales como el arsénico y mercurio (Delgadillo et al., 2011).

- **Fitodegradación:** Consiste en degradar sustancias orgánicas contaminantes mediante el proceso de metabolización que ocurre dentro de la estructura vegetal con la ayuda de enzimas propias de las plantas como la oxigenasa con la finalidad de reducir su concentración o transformarlos en agua y anhídrido de carbono (Delgadillo et al., 2011).
- **Fitoimmobilización:** La finalidad de este método es inactivar las sustancias contaminantes en la zona del recurso suelo y la base de la especie vegetal mediante procedimientos de adsorción para limitar su biodisponibilidad (Delgadillo et al., 2011).
- **Fitoestabilización:** El propósito de esta técnica es bloquear el transporte de las sustancias nocivas en el suelo y aglomerarlo en la parte base de la especie vegetal, para lograr rebajar su movilización y prevenir su traslado a los líquidos del subsuelo o al ambiente (Delgadillo et al., 2011).
- **Rizofiltración:** El proceso reside en la asimilación de elementos metálicos acumulados en el agua por medio de sus raíces hasta lograr la saturación de esta parte de la planta, para esto es necesario el adecuado desarrollo de la raíz, posterior a ello se cosecha la especie vegetal y se coloca adecuadamente en un lugar para la aplicación final y definitiva (Delgadillo et al., 2011).

2.2.2. FUNCIÓN MEDIOAMBIENTAL DE LAS PLANTAS HIPERACUMULADORAS

El empleo de plantas denominadas hiperacumuladoras permitieron conocer el método de la fitoextracción que consiste en extraer metales densos del recurso suelo y almacenarlos en su estructura mediante el proceso de absorción y finalmente se realiza la cosecha de la parte superior de la especie vegetal (Kidd et al., 2007).

El desarrollo pausado de la especie y la poca porción de biomasa son las principales limitaciones de la fitoextracción con plantas hiperacumuladoras puesto que el potencial del proceso de extracción es la biomasa de la parte aérea y la cantidad del elemento metálico (Kidd et al., 2007).

Aportación de hongos micorizizicos arbusculares (HMA) en la asimilación y traslado de los metales densos

La superioridad de las micorrizas en la fitorrestauración de suelos afectados con metales densos ha confirmado que dicha combinación es de gran beneficio para el ambiente, ya que congela o paraliza a los metales en las raíces reduciendo de esta manera el traslado hacia a la parte superior de la planta (López, 2011).

2.2.3. PLANTAS REMEDIADORAS

“Las plantas (terrestres, acuáticas, leñosas, entre otras) usadas para la fitorremediación, cuentan con propiedades destinadas a almacenar metales. Convenientemente en el tejido vegetal y raíces, crecen rápidamente y resultan fácilmente cosechable, para cumplir su rol” (Ríos,2017).

2.2.3.1. PLANTA HIGUERILLA (RICINUS COMMUNIS L.)

❖ Taxonomía

La clasificación de la higuierilla se describe de la siguiente forma (Colaboradores de Wikipedia, 2023):

- Reino: Plantae
- Clase: Magnoliopsida
- Familia: Euphorbiaceae
- Género: Ricinus
- Especie: Ricinus communis L.

❖ Descripción morfológica

La *Ricinus communis* L., comúnmente conocida como higuierilla o planta de aceite de ricino se extiende sobre áreas de suelo arenoso, riachuelos y barrancos. Tiene alta tolerancia al crecimiento en condiciones ambientales adversas, como la escasez de lluvias y el calor. Es una planta apropiada que puede usarse potencialmente para la fitorremediación de áreas contaminadas (Yashim et al., 2016).

Figura 1

Ricinus communis L



Nota. Ilustración de la especie botánica *Ricinus Communis*

❖ Descripción botánica

Es un arbusto perenne de crecimiento rápido según las condiciones ambientales y puede alcanzar el tamaño de un árbol pequeño (alrededor de 12 metros o 39 pies), pero no es resistente al frío, su porte es erecto, la cual se puede clasificar por su altura en: altas (10 m), medianas (2 a 3 m) y enanas (menores de 2 m). Su tamaño tiende a ser mayor en climas tropicales y tierras fértiles (con materia orgánica superior al 5%). Las variedades enanas son de gran interés económico porque facilitan la cosecha mecánica (Yashim et al., 2016).

La parte de la raíz es pivotante y profunda constituyendo el anclaje principal de la planta, presenta raíces secundarias y terciarias las cuales se encuentran en su mayoría a poca

profundidad, el tallo principal es recto, seccionado por entrenudos que pueden ser de 11 a 20 cm, que en un inicio es relleno y con el tiempo se hace hueco. El diámetro puede variar de 3 a 15 cm., sus colores fundamentales son verde, rojo y caoba, algunas variedades muy ramificadas y otras sin ramificación, mientras que las hojas son alternas, pecioladas, palmeadas con 5 a 11 lóbulos, dentadas, con nerviación palmatinervia. Peciolos redondos de 18 a 60 cm de longitud; con dos glándulas nectaríferas en la unión con la lámina, dos glándulas en la unión con el peciolo; la lámina de la hoja tiene 10 a 75 cm de diámetro y de un color acorde al del tallo (Rico et al. 2011).

La inflorescencia es la sección del raquis donde se encuentran las flores y también se le conoce como racimo. Es una planta monoica generalmente unisexual, o sea que en sus inflorescencias llevan las flores masculinas y femeninas, su proporción es variable, por lo general las flores femeninas se distribuyen en la región distal y las flores masculinas en la región basal del raquis. La higuera es una planta halógama y anemófila por lo que tiene un alto índice de entrecruzamiento y la polinización se lleva principalmente por el viento (Rico et al. 2011).

❖ **Requerimientos agroecológicos**

- **Clima:** Esta planta tiene un área de dispersión muy amplia, se ha adaptado a climas tropicales húmedos, tropicales secos y también en climas templados (Rico et al. 2011).
- **Temperatura:** Se le ha definido como una planta normalmente tropical y para obtener una buena producción debe de disponerse de una temperatura media superior a 20°C durante su ciclo, si esta es inferior se incrementa el ciclo de cultivo y disminuye la producción de semilla. La planta requiere de una gran luminosidad (Rico et al. 2011).
- **Humedad:** La necesidad de agua durante la etapa de crecimiento es de 600 a 1000 mm (Rico et al. 2011).

- **Suelo:** Prospera bien en terrenos de mediana y alta fertilidad, con un pH óptimo a 5.5 a 6.7 (Rico et al. 2011).

2.2.4. PLANTA ORTIGA MAYOR (URTICA DIOICA)

La planta *Urtica dioica* es una especie que radica en áreas donde se hayan acumulado escombros o desechos, se caracteriza por la presencia de pelos puntiagudos que, al estar en contacto con la piel, penetra en forma de inyección e ingresa la sustancia química acetilcolina que provoca un dolor irritante (Mondragón, 2009).

❖ Ubicación taxonómica

Según Mondragón (2009), la ubicación taxonómica es de esta manera:

- Reino: Plantae
- Subreino: Traqueobionta (plantas vasculares)
- Superdivisión: Spermatophyta (plantas con semillas)
- División: Magnoliophyta (plantas con flor)
- Clase: Magnoliopsida (dicotiledóneas)
- Subclase: Hamamelidae
- Orden: Urticales Género: *Urtica*
- Especie: *U. dioica* L.

❖ Descripción morfológica

Es una especie vegetal herbácea que en algunas veces presenta raíces leñosas, las dimensiones de su altura es de 60 cm a 2 m, respecto al revestimiento tiene vellos urticantes (Mondragón, 2009).

Figura 2
Urtica dioica



Nota: La ortiga mayor crece en climas templados, pero es tolerante a climas fríos, para un desarrollo óptimo necesita suelos profundos con adecuado porcentaje de humedad y sin la presencia de malas hierbas (Minsal, 2018).

- **Tallo:** Tiene forma cuadrada y es tieso verticalmente, cuenta con estípulas cuyas dimensiones van de 5 -15 mm de longitud (Mondragón, 2009).
- **Hojas:** La forma que presenta son ovadas con medidas aproximadas de 5 -15 cm de longitud, además tiene un ápice moderado, un contorno irregular, una base con forma redonda y pecíolos con dimensiones de 1 - 3 cm de longitud (Mondragón, 2009).
- **Inflorescencia:** Las axilares cuya forma es la ramificación de una espiga se encuentran asociadas por muchas de ellas que comparados con el pecíolo son longitudinalmente muy largas (Mondragón, 2009).
- **Flores:** Son de dimensiones pequeñas, son de color verde, presentan flores femeninas, cuyo perianto consta de cuatro partes, y flores masculinas que tienen un perianto que contiene un perianto de cuatro fragmentos y cuatro estambres (Mondragón, 2009).

- **Frutos y semillas:** Los frutos son de color café oscuro, son secos, de forma ovoide con dimensiones de 1 - 2 mm de longitud y su dispersión ocurre en el perianto (Mondragón, 2009).
- **Plántulas:** La forma de los cotiledones es ovada y sus medidas van de 5 - 8 mm, el espacio entre ellos es de 2mm, tiene un borde entero, sus hojas son opuestas, con pelos, con forma diminuta, presenta una lámina con forma ovada, cuyas dimensiones se encuentran entre dos a cuatro milímetros de longitud y uno a 2 milímetros de anchura (Mondragón, 2009).
- **Raíz:** Es una planta anual con la raíz fibrosa, pivotante y blanquecina. El tallo mide de 50 cm a 1 metro, presenta tallos subterráneos que tienen varias yemas en su estructura (Mondragón, 2009).

❖ Hábitat

Su desarrollo se da en ambientes como caminos, zonas ubicadas a los alrededores de terrenos abandonados, terrenos en la zona urbana sin ninguna construcción, también podemos encontrarlo en jardines; no es usual que esta planta forme poblaciones numerosas (Mondragón, 2009).

La planta Ortiga Mayor se desarrolla idealmente en áreas contaminados y en suelos con altos niveles de polución, puesto que se encuentra dentro del grupo de especies nitrófilas tiene la función de purificar la zona donde se desarrolla; son plantas muy persistentes ya que después de un largo periodo de tiempo es notable su presencia y resulta difícil hallarlo en zonas con bajo nivel de contaminantes. Dentro de sus funciones se encuentra la regulación del elemento hierro (Fe) en los suelos debido a su característica ferrosa, logrando beneficiar a las plantas ubicadas a su alrededor, puesto que este elemento es fundamental para la generación de la clorofila; la especie ortiga es fotosensible ya que cuenta con un aparato fotosintético y esto le permite existir en zonas en donde haya variaciones de iluminación (Vogel, 2018)

2.2.5. AGLOMERACIÓN DE METALES DENSOS EN LOS VEGETALES

Muchos vegetales toleran altos grados de metales densos en el recurso suelo por lo que limitan su asimilación y translocación hacia las hojas, y de por ello se les denomina como una técnica que excluye; en cambio, las que asimilan y juntan de manera rápida en la parte superior del vegetal son denominadas técnicas del tipo acumulativas, es esta la causa por lo que requiere una vitalidad muy especializada. (Papuico, 2018).

La capacidad de una planta para aspirar, trasladar y apresar el metal de interés en su componente aéreo donde se cosecha, así como la cantidad de bioenergía generada, determinan su capacidad fitoextractiva. (Papuico, 2018).

❖ Indicador de valorización de tolerancia de plantas a metales pesados

Para calcular la suficiencia de aceptación de la planta hacia los metales pesados se suscita por medio de 2 procedimientos esenciales, los cuales son la acumulación, cuya estrategia se basa en el desarrollo de instrumentos capaces de almacenar metales en su estructura (hojas y tallo) y la acumulación de metales con alta densidad, consiste en impedir el traslado del contaminante a la parte hoja y tallo de la planta (Dextre, 2017)

2.2.6. REMOCIÓN DE METALES PESADOS

La palabra remoción proviene del acto de remover, lo que es justamente quitar o sacar algo de su lugar. En algunos casos la remoción puede ser simple, mientras que en otros puede necesitar de mucho tiempo. En este caso se elimina los metales pesados haciendo uso de plantas remediadoras (Bembibre, 2012).

Los metales densos, capaces de impactar negativamente al ambiente, se encuentran presentes de manera nata en la composición

del suelo, los cuales provienen de la roca madre, pero también son introducidos por medio de actividades humanas, lo que conlleva al incremento de estos metales en los componentes del ambiente (suelo y agua), logrando (García et al., 2002).

La bioacumulación, elevada toxicidad, persistencia y biotransformación son las cualidades usuales de los metales densos que los convierte en elementos ambientales tóxicos y muy perjudiciales para todos los seres vivos, ya que la degradación de estos metales de manera natural resulta difícil y permanece en el ecosistema por prolongados periodos de tiempo; la mayoría de estos metales son utilizados en la industria como el cadmio, plomo, níquel, mercurio y cobre; que son muy dañinos inclusive a reducidas concentraciones (Rodríguez, 2017).

❖ **Aparición de los metales denso en el recurso suelo**

Los metales densos conocidos también como oligoelementos presentes en el suelo, estos metales de acuerdo a su origen resultan ser elementos geogénicos o elementos antropogénicos. Los elementos geogénicos dependen de la geo disponibilidad, que se define como una parte del contenido global que se libera a la biósfera a través de procesos biológicos, químicos o procesos mecánicos, por ende, los elementos geo disponibles son aquellos que provienen de la roca madre y luego se trasladan al suelo por medio del proceso de meteorización (Galán y Romero, 2008).

El criterio llamado geo disponibilidad de los elementos metálicos densos dentro de la composición de las rocas y su papel participativo en los suelos no es significativa en comparación con las cantidades de estos metales provenientes de las acciones antropogénicas, la estabilidad de estos metales en el recurso suelo es muy alta; asimismo en el desarrollo de los cambios tanto físicos como químicos de las rocas sin llegar a sobrepasar los niveles de toxicidad, por otro lado las pequeñas cantidades de metales se hallan dentro de rocas denominadas ígneas y también dentro de rocas sedimentarias, por el contrario elevadas cantidades de metales pesados se hallan principalmente en menas

llamadas metálicas, los cuales son los sulfuros y óxidos (Galán y Romero, 2008).

Se denomina al recurso suelo como cuerpo natural que varía en el tiempo, siendo la base de una inmensa diversidad de seres vivos y del intercambio constante de energía y materia, el cual se encuentra formado por 3 fases diferenciadas: líquida, gaseosa y sólida; la última fase mencionada se puede distribuir en parte orgánica (bacterias, protozoarios, hongos y otros) y la otra parte es inorgánica (rocas, piedras, arcillas, sales de calcio, etc.); la fase líquida se constituye fundamentalmente de agua conjuntamente con iones y gases que se encuentran disueltos; por otro lado la fase gaseosa incorpora los compuestos: CO₂, N₂, CH₄, O₂, etc. (Bautista, 1999).

2.2.7. MOVILIDAD DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO

La meteorización natural del material de partida y la acción humana directa, como el vertido de residuos mineros denominados estériles, pueden provocar la aglomeración de metales densos en el suelo. (Boussen, 2013).

La circulación de cada elemento metálico con mayor densidad no se basa únicamente en la especiación química de estos, pero sí de un conjunto de parámetros propios del suelo, como los siguientes (Galán y Romero, 2008):

- **pH:** Los metales pesados presentan mayor disponibilidad a un suelo con pH ácido ya que son fácilmente adsorbidos, ocurre todo lo contrario con los metales Mo, Se, Cr y As, los cuales tienen mayor movilidad en suelos con pH alcalino.
- **Textura:** Los metales se retienen fácilmente en suelos arcillosos a través del proceso de impregnación, entre tanto el suelo con textura arenosa no tiene potencial para establecerse y contaminan la napa subterránea.

- **Mineralogía de arcillas:** Los valores de la superficie específica y la descompensación eléctrica varían para cada uno de los minerales de arcilla, mientras aumenta la superficie del filosilicato, aumenta a su vez la probabilidad de extraer metales de los suelos.
- **Materia orgánica:** Este parámetro responde al interactuar con los metales más densos mediante el proceso de formación de complejos de cambio o a compuestos como el quelato; si el proceso de adsorción es fuerte, logra estabilizar a los metales como el cobre, de no ser así se forman los quelatos como los metales plomo y zinc. En la mayoría de las situaciones se da la formación de complejos llamados organometálicos que favorecerá la capacidad de disolución, disponibilidad y separación del metal ya que esto permitirá su degradación por los individuos vivientes que habitan en el suelo.
- **Capacidad de cambio:** El potencial para intercambiar cationes en el suelo, va a depender en su mayoría de la porción de sustancia orgánica, fracciones de minerales de la arcilla, radio iónico y valencia, mientras mayor más grande y menor sea los valores de valencia, disminuirá la capacidad de retención de los metales.
- **Condiciones redox:** El estado de oxidación de un metal pesado depende de la capacidad de oxidación-reducción.
- **Carbonatos:** Ellos aseguran la conservación de altos valores de potencial de hidrógeno, los cuales influyen en la aceleración de los metales. El metal pesado cadmio y otros elementos metálicos pesados son captados por los minerales carbonatados.
- **Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn:** Resultan ser esenciales e importantes en los procedimientos de retención y restricción de los metales con mayor densidad, además su dinamismo y actividad se debe a que se localizan esparcidos sutilmente en la masa del suelo.
- **Salinidad:** Las cantidades superiores de salinidad incrementan el movimiento de los metales, así como su capacidad de retención.

2.2.8. PARÁMETROS PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL SUELO

El recurso suelo tiene como facultad acumular, reutilizar los minerales, agua disponible y la energía solar necesaria para el cultivo de plantas son medidas en el diagnóstico la calidad de los suelos, es decir la valoración de este recurso se fundamenta en sus diversas funciones y no exclusivamente en el uso que se le asigna; asimismo se establece como la disposición del suelo para llevar a cabo sus funciones con normalidad en el medio ambiente, la producción de vegetales, conservar la cualidad de los otros recursos (aire, agua, etc.) y proteger el bienestar de las personas (Bautista et al., 2004).

Los parámetros se describen como instrumentos de medida que proporcionan datos sobre las características, procedimientos y propiedades, los cuales determinan el estado de los suelos. La finalidad del cálculo de los parámetros mencionados es el seguimiento de los impactos que genera el manejo del recurso suelo en un tiempo determinado (García et al., 2012).

Las propiedades fisicoquímicas, biológicas y los procedimientos que se efectúan en los suelos son algunos de los indicadores del estado de ese recurso. Según García et al. (2012), los parámetros deberían proporcionar lo siguiente:

- Análisis del estado del suelo y posteriormente reconocer los lugares que representan un deterioro ambiental y comprometen la capacidad y provecho beneficioso de los recursos de las futuras generaciones.
- Análisis de los efectos negativos que se generarán antes de realizar la intervención al suelo.
- Inspección de los efectos negativos provocados por las actividades humanas.
- Precisar si el manejo del suelo es amigable con el ambiente.

2.2.9. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO

2.2.9.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH)

Es un dato que proporciona información del contenido de iones hidrógeno dentro de una solución, asimismo calcula su nivel de acidez (Rivera et al., 2018).

El cálculo del potencial de hidrógeno se obtiene haciendo uso de una escala enumerada desde el 0 hasta el número 14, siendo los suelos neutros con valores igual a 7, suelos básicos con valores mayores a 7 y suelos ácidos con valores menores a esa cifra. Los cambios en el potencial hidrógeno del suelo son causados por las actividades que desarrollan los seres humanos para cubrir necesidades primordiales (Rivera et al., 2018).

El potencial de hidrógeno señala los niveles de toxicidad de los metales con mayor densidad, la cantidad de Ca y Mg y la regulación de estos parámetros con el aumento de CaO, concluyendo que este parámetro es esencial e interviene en el rendimiento de los suelos. Con los datos de la medición del pH del suelo podremos tener conocimiento de la falta de nutrientes de los vegetales, puesto que las sustancias alimenticias de las plantas se ven relacionados con los resultados del potencial de hidrógeno (Rivera et al., 2018).

2.2.9.2. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

Para medir la cantidad acumulada de sales disolventes en una muestra de suelo se realizará a través del parámetro conductividad eléctrica; es decir mide el potencial de un componente en el transporte de la electricidad, representando los datos altos un movimiento sencillo de la corriente eléctrica y da a entender que a valores superiores de transmisión eléctrica, superior será la aparición de sales en los suelos, por lo tanto se sugiere que en los suelos contengan porcentajes menores de este

parámetros, para que ayude al crecimiento de las plantas y logre prevenir intoxicar las plantaciones (Bárbaro et al., 2014).

❖ **Humedad**

Para identificar y dar solución a problemáticas de riego, ciertos aspectos ambientales y análisis de excesos de agua, se necesita saber el contenido de humedad de los suelos (Reyna et al., 2011).

La optimización de la productividad de alimentos va a depender en su mayoría del parámetro humedad, para evitar su reducción, es necesario mantener cubierta el suelo con la vegetación, asimismo se debe adicionar cantidades mayores de materia orgánica (Benites y Castellanos, 2003).

A fin de que los procedimientos de biorremediación no resulten afectados por el contenido de humedad, es fundamental el balance hídrico, pues la baja cantidad de agua impide el funcionamiento de los microorganismos y la alta cantidad de agua minimiza el cambio de sustancias gaseosas en el recurso suelo (Volke et al., 2005).

❖ **Temperatura**

Este parámetro predomina en gran manera en cada uno de los procesos (químicos, biológicos y físicos) del suelo y la variación en ellos, asimismo depende de cada especie vegetal (Sánchez et al., 2010).

Los revestimientos naturales influyen en la temperatura del suelo puesto que en temporadas cálidas logran mantener con una temperatura templada la cubierta de la superficie, mientras que en temporadas invernales cumplen la función de reguladores de las bajas temperaturas (Sánchez et al., 2010).

2.2.10. CONTAMINACIÓN DE SUELOS CON METALES DENSOS

Las numerosas cantidades respecto a metales densos instauradas en los suelos de varios lugares son nocivas para los recursos naturales y los seres vivos por su alto nivel de toxicidad ya que su alto porcentaje de contenido en el suelo degrada tremendamente ese recurso (Galán y Romero, 2008).

La contaminación es un proceso provocado por el hombre en el que uno o varios contaminantes se infiltran y aglomeran en el suelo de tal manera que perturban los procesos del mismo e influyen negativamente en otros paradigmas conectados, como el viento, el agua y los micro-hábitats. La contaminación del suelo se produce cuando hay manifestación de una o más sub-sustancias altamente tóxicas, como los metales densos Pb, Hg, Cd, Cu, Cr, Se, Ar y sus compuestos; los radiactivos; el amianto y otros compuestos peligrosos, o las materias orgánicas (como aquellas sustancias químicas que se encuentran dentro del vegetal, las dioxinas, los venenos útiles, los hidrocarburos, y otros materiales peligrosos), que por ende aumenta las acciones humanas. La contaminación puede proceder de diversas fuentes, como los residuos industriales, los lodos, los vertidos de petróleo, las cenizas industriales y los residuos de pesticidas, entre otros. (Porta et al., 2013).

Cu: El cobre en el suelo esta principalmente adsorbido a la materia orgánica, a los óxidos de hierro y manganeso, así como también está fijado en la red cristalina que es la base estructural directa de los silicatos del suelo (KS KALI GmbH, 2017).

Pb: es un elemento que se concentra en el suelo, por ser un elemento básico no se degrada, y en niveles excesivos es perjudicial para el suelo, lo cual ocasiona la pérdida de sus funciones (Astete et al., 2009).

2.2.11. CONTAMINACIÓN MINERA EN SUELOS

La disociación de los residuos mineros en el agua tanto como en el suelo, así como la liberación de contaminantes a la atmósfera, tienen

repercusiones desastrosas para diversos ambientes y la pérdida de recursos finitos. El suelo es el que tiene el mayor impacto de todos los componentes ambientales contaminados porque es un medio inmóvil que permite que los contaminantes permanezcan durante mucho tiempo, lo que provoca un impacto perjudicial, que se agrava si las poluciones son desechos inorgánicos, como los metales pesados, ya que se debe a su degradación gradual. Este escenario no sólo pone en peligro la salud humana, sino también los ecosistemas. Estas operaciones humanas producen muchos restos de piedra y lodos con metales pesados, que se mantienen en el terreno de la mina. Como resultado, el suelo de la mina se degenera o se pierde definitivamente. (Becerril., et al, 2007).

Debido a que el suelo es típicamente inestable y está formado por componentes que no se sugieren para el desarrollo de actividades biológicas y la formación del suelo, puede soportar efectos destructivos durante las operaciones mineras. (Becerril., et al, 2007).

2.2.11.1. PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

Tiene un origen empresarial: el pasivo son todas las obligaciones y gravámenes que rebajan el activo de una empresa en su balance. Por desgracia, aunque las obligaciones financieras se detallan meticulosamente en el estudio, muchas adeudaciones medioambientales y colectivas no se contabilizan. Si se exigiera a estas empresas que consideraran como un coste todo el daño que infligen a la comunidad, el daño medioambiental que producen disminuiría casi con toda seguridad, ya que las empresas pueden reducir los costes si son responsables de ellos. Las empresas, en cambio, suelen despreciar la contaminación y los daños medioambientales como gastos, creyendo que la naturaleza da los recursos regalados por así decirlo y que no hay restricciones en su uso más allá de las meramente económicas. (Russi, 2002).

Las responsabilidades medioambientales son el total de los daños no compensados al medio ambiente causado por una empresa a lo largo de su historia, en el curso de sus operaciones habituales o en caso de accidente. Dicho de otro modo, son sus responsabilidades con la comunidad en la que trabaja la empresa. (Russi, 2002).

2.2.11.2. TIPO DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS

Minsus (2019), Hay 2 tipos de pasivos mineros ambientales (PAM), según el sitio donde se encuentre:

- **PAM abandonados**, vienen a ser aquellos que están fuera de una licencia vigente en el momento de la admisión.
- **PAM inactivos**, son aquellas que, en su momento, estaban situadas en regiones, obras o instalaciones que no llevaban dos años o más de funcionamiento con una concesión en vigor.

2.2.11.3. IMPACTO NEGATIVO DE LOS METALES PESADOS

❖ Ambiente

Los efectos de los metales respecto al medio ambiente resultan ser muy preocupantes por el cambio en los parámetros del recurso suelo, así como el factor pH (alcalinidad y acidez del suelo), varía los resultados de acuerdo a las cantidades acumuladas de estos metales (Eróstegui, 2009).

En el caso del plomo, por ejemplo, la acumulación en cantidad desmesuradas provoca alteraciones en el desarrollo de las especies vegetales, afecta en la producción agrícola ya que causa la degradación de los suelos y si la polución es elevada causará la desertificación (Eróstegui, 2009).

Los seres vivos acuáticos también son afectados por la aparición de los metales con alta densidad en su ecosistema; lo

peligroso de este contaminante es que no es muy ruidoso, pero cuando notamos los efectos de su presencia en los recursos naturales resulta ser muy tarde para tomar simples medidas en la remediación de estos recursos y en la salud de las personas que se hayan sido afectados por estos metales (Eróstegui, 2009).

❖ **Salud humana**

Los elementos metálicos altamente densos individualmente actúan de distintas maneras y se acumulan en sitios de su preferencia, siendo el metal pesado plomo más famoso, cuya presencia daña múltiples sistemas del organismo como el deterioro de las neuronas del cerebro en el sistema nervioso (Eróstegui, 2009).

El deterioro que producen estos contaminantes es muy diverso y varían en función de cada metal, pero todos ellos causan lesiones a nivel celular, como es el caso del plomo que daña la médula ósea; el metal cadmio su efecto dañino repercute en el órgano del riñón y el elemento arsénico afecta las mitocondrias (Eróstegui, 2009).

Las enfermedades provocadas por la concentración del metal plomo en el organismo humano son múltiples como: esclerosis; enfermedad que no tiene cura y tiene síntomas muy dolorosas; efecto sobre el sistema nervioso, cuyos síntomas son fatiga y parresias, disfunción, entre otros; enfermedades psicológicas como conductas asociales, disminución de habilidades intelectuales y retardo mental; respecto al órgano del riñón, en un periodo largo se presentarán enfermedades renales en las personas que hayan sido intoxicados con este metal (Eróstegui, 2009).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación reduce la cantidad de elementos contaminantes acumulados ya sea en el sitio o fuera de él y se denomina como un grupo de tecnologías que se desarrollan por medio de procesos bioquímicos en las que participan las especies vegetales y por los pequeños organismos vivos que se encuentran en el suelo, para la prevención y remediación en los diversos sectores del ambiente (Delgadillo et al., 2011).

2.3.2. REMOCIÓN

La palabra remoción proviene del acto de remover, lo que es justamente quitar o sacar algo de su lugar. En algunos casos la remoción puede ser simple, mientras que en otros puede necesitar de mucho tiempo (Bembibre, 2012).

❖ Metales pesados

Son elementos cuya composición es química, presentan una densidad superior a 4 g/cm³; según la tabla periódica, su peso, así como su masa atómica son mayores a 20, incluso en pequeñas cantidades son dañinas, ciertos elementos metálicos de este grupo son: plomo (Pb), cobalto (Co), Zinc (Zn), bario (Ba), cromo (Cr), berilio (Be), cobre (Cu), aluminio (Al), cadmio (Cd), arsénico (As) (Londoño et al., 2016).

❖ Contaminación del suelo

Este tipo de contaminación comprende la acumulación de materiales cuya composición es de origen químico (residuos sólidos, fertilizantes, herbicidas, minería, etc.) o materiales fuera del área al suelo en cantidades acumuladas prominentes a lo habitual, cuya presencia tienen consecuencias adversas y significativas dentro de cualquier individuo y también en las labores del suelo (FAO y GTIS, 2015).

❖ **Fitoextracción**

Se conoce con la denominación fitoacumulación, es un método de la fitorremediación en el que se realizan procesos de traslado y de absorción de metales contaminantes iniciando con la parte base y dirigiéndose a la parte superior de la especie vegetal, finalmente se cortan esas estructuras y se proceden a incinerarlos, otra opción de disposición final es la reutilización de aquellos metales pesados (Marrero et al., 2012).

❖ **Hiperacumulación**

Se denomina como el potencial que poseen ciertas especies vegetales en la acumulación de metales pesados en sus estructuras, cuya cantidad acumulada de metales densos se encuentran en niveles superiores y desmesuradas, sus estructuras no están dañadas por el almacenamiento de estos contaminantes, esto se debe al progreso de instrumentos internamente que les permite admitir elevadas cantidades de metales pesados sin ser intoxicados (Llugany et al., 2007).

❖ **Pasivo ambiental**

Es la cantidad total de daños ambientales no compensados infligidos por una empresa durante su historia, en sus operaciones habituales o en caso de accidente. Dicho de otro modo, son sus responsabilidades con la comunidad en la que trabaja la empresa. (Russi, 2002).

❖ **Suelo**

Se denomina como un recurso natural cuya distribución es de manera persistente en el ecosistema y se ve influenciado con variaciones climatológicas, geomorfología y sus diversos usos; es por eso que este recurso es un sistema abierto en el que existen intercambios de nutrientes, cuyo acceso es de modelo atmosférica, mientras los escapes son del tipo escorrentía (Cotler et al., 2007).

❖ pH

Es un dato que proporciona información del contenido de iones hidrógeno dentro de una solución, asimismo calcula su nivel de acidez (Rivera et al., 2018).

❖ Toxicidad

Propiedad de que una sustancia o mezcla de sustancias pueda provocar efectos adversos en la salud o en los ecosistemas (MINAM, 2014).

2.4. HIPOTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS ALTERNA

La higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica) tienen diferencia en su capacidad fitorremediadora en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros.

2.4.2. HIPÓTESIS NULA

La higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica) no tienen diferencia en su capacidad fitorremediadora en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Capacidad fitorremediadora

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA

Remoción de metales pesados

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“Comparación de la capacidad fitorremediadora de la higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica) en la remoción de metales pesados de suelos afectados por pasivos ambientales mineros”

Variable de calibración	Indicador	Valor final	Tipo de variable
Capacidad fitorremediadora	Planta fitorremediadora	- Higuera (<i>Ricinus communis</i> L.) - Ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>)	Nominal dicotómica
Variable evaluativa	Indicador	Valor final	Tipo de variable
Remoción de metales pesados	Concentración de metales pesados en el suelo: - Cu - Pb	mg/kg mg/kg	Numérica continua
Variables Descriptivas	Indicador	Valor final	Tipo de Variable
Parámetros físicoquímicos del suelo	- Temperatura - Humedad - Potencial de Hidrógeno (pH) - Conductividad eléctrica (CE)	°C % 0-14 µS/cm	Numérica continua

Nota. Se muestra el cuadro de variables de estudio desarrollado

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para Supo y Zacarías (2020), existen diferentes tipos de investigación clasificados por criterios:

Según la intervención del investigador, será con intervención, puesto que se recolectarán los datos por el investigador después del proceso de fitorremediación para realizar la respectiva comparación de la capacidad fitorremediadora de las plantas Higuierilla (*Ricinus communis* L.) y la Ortiga mayor (*Urtica dioica*), en busca de una solución.

Según el número de variables analíticas, es analítico ya que el proyecto de investigación cuenta con más de una variable analítica; además aquí se plantean y se ponen a prueba una hipótesis.

Según el número de mediciones de la variable de estudio, es longitudinal, ya que existe más de una medición de las variables de estudio, para lo cual se realizarán dos mediciones en la comparación de la capacidad fitorremediadora de la Higuierilla (*Ricinus communis* L.) y Ortiga mayor (*Urtica dioica*) como variables de calibración.

Según la planificación de mediciones de la variable de estudio es prospectivo puesto que se va a trabajar con datos primarios, es decir, se recolectará los datos imprescindibles para realizar el proyecto.

3.1.1. ENFOQUE

La investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que representa una agrupación de procedimientos que resulta ser progresiva y demostrativo, puesto que emplea la recopilación de información para demostrar la hipótesis que plantea el investigador teniendo como base las mediciones del tipo numérica y análisis estadístico cuyo propósito es el de implementar patrones conductuales y demostración de teorías

(Hernández et al., 2014).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El alcance de investigación del presente estudio resulta ser aplicativo, puesto que tiene de finalidad mejorar una condición de la población de estudio (Supo y Zacarías, 2020).

El presente estudio pertenece a dicho nivel, ya que mejorará la condición del suelo cuya composición tiene contaminantes densos en gran cantidad, es por eso que mediante la fitorremediación para lo cual se empleará la Higuera (*Ricinus communis L.*) y Ortiga mayor (*Urtica dioica*), para posteriormente realizar la comparación y determinar cuál de las plantas utilizadas tiene mayor capacidad fitorremediadora.

3.1.3. DISEÑO

Según Supo y Zacarías (2020), el diseño de una investigación científica se clasifica en: Pre experimento, cuando solo se realiza la observación de los grupos experimentales, Cuasi Experimento, cuando solo se cuenta con un grupo experimental, al cual se observará, se intervendrá y se observará por segunda vez luego de la intervención y experimento verdadero, en el cual se cuenta con más de un grupo experimental, en los cuales al igual que el cuasi experimental se realizarán dos observaciones, una pre intervención y otra post intervención, o también se puede contar con un grupo experimental de control en la cual no se intervenga pero sí se observe en dos etapas.

El diseño del presente proyecto de investigación es el experimento verdadero, ya que tiene dos grupos experimentales, cada una con intervención del investigador, donde se debe realizar observación pre y post intervención, el diseño a utilizarse se resume en lo siguiente:

GE₁: O₁ ----- X₁ ----- O₂

GE₂: O₁ ----- X₂ ----- O₂

Donde:

GE₁: Grupo experimental 1

GE₂: Grupo experimental 2

O₁: Observación inicial (Pre test).

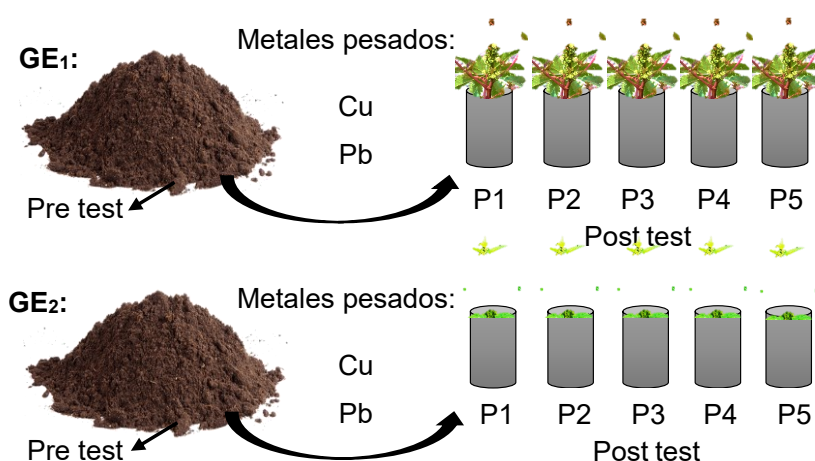
O₂: Observación final (Post test).

X₁: Fitorremediación con Higuera (*Ricinus communis L.*).

X₂: Fitorremediación con Ortiga mayor (*Urtica dioica*).

Figura 3

Imagen observación pre y post intervención



3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El suelo afectado por pasivos ambientales mineros de la Ex Unidad Minera “EUM” Curimarca comprende la población de análisis, la cual tiene un área aproximadamente de 500m² de suelo contaminado con metales pesados, se encuentra ubicado en la jurisdicción de San Rafael, Prov. de Ambo y Dpto. de Huánuco, que se indica a continuación.

Tabla 1
Coordenadas UTM del EUM Curimarca

Zona	Este	Norte
18S	369523	8867571

Nota. Esta tabla muestra la ubicación del EUM

3.2.2. MUESTRA

La muestra de estudio constituyó 100 kg de suelo afectado por pasivos ambientales mineros, el cual fue extraído de un área 10m² del PAM Curimarca para llevar a cabo la investigación, dicha muestra será repartida en 10 maceteros de 10kg de capacidad, de los cuales 5 de los maceteros serán destinados para dar inicio el proceso de remoción de metales densos (Pb, Cu) con Higuierilla (*Ricinus communis L.*) y los otros 5 maceteros con la Ortiga mayor (*Urtica dioica*).

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 2
Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Remoción de metales pesados	Concentración de metales pesados en el suelo: - Cu - Pb	Técnica de la observación control	- Espectrómetro de absorción atómica
Parámetros fisicoquímicos del suelo	- Temperatura - Humedad - Potencial de Hidrógeno (pH) - Conductividad eléctrica (CE)		- Multiparámetro - Conductímetro

3.3.1. PROTOCOLO PARA LLEVAR A CABO EL PROYECTO

❖ Antes de la ejecución del proyecto

En primera instancia, se realizó una visita al área contaminada, para conocer la realidad de la problemática causada por el pasivo ambiental minero y conocer de dónde se tomó las muestras de suelos

necesarias para el avance del actual proyecto de investigación.

Se georreferenció la zona, con ayuda del programa ArcGis para su respectiva localización.

Para obtener las muestras de porciones de suelo se utilizó la pauta para la actividad del muestreo dispuestos en el Decreto Supremo presentado en el año 2013 por el ministerio del ambiente.

Para la presente investigación, según las indicaciones de la pauta en muestreo de suelos del área elegida (MINAM, 2014), de acuerdo al tipo de muestreo que se utilizó fue la siguiente:

❖ **Actividad de muestreo de validación de la descontaminación**

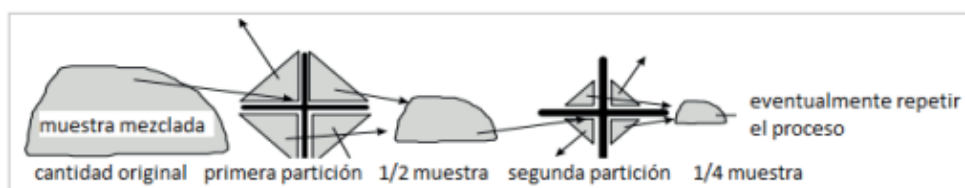
Este tipo de muestreo tuvo como propósito verificar si las técnicas de remediación que se han empleado en el suelo con polución fueron eficientes y quedaron demostrados con datos estadísticos, los cuales estuvieron dentro de los valores dispuestos por el ECA de suelo.

Para zonas de polución de forma regular inferior a 1000m²

La cantidad de lugares elegidos para la actividad dependió del perímetro de la zona contaminada, si el área es cuadrada se realizará cuatro muestras en la **pared** y uno en el fondo, en total cinco muestras.

Figura 4

Colocación de los trazos de muestreo en la zona de extracción regular (forma de cuadrado)



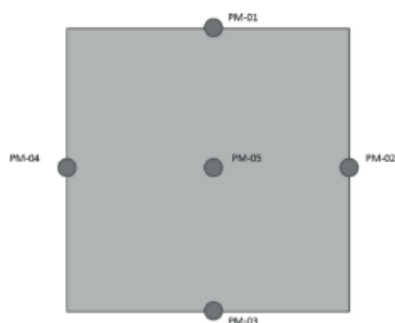
Nota. MINAM, 2014

Para muestras superficiales

Una alternativa en la obtención de porciones de la superficie del suelo son los sondeos manuales con un metro de profundidad. Esta técnica es más sencilla, barata y su uso es acelerado, debido a las

pequeñas cantidades que se extrae fue necesario realizar varias exploraciones y conseguir muestras mezcladas, otras de las técnicas de este tipo de muestras son zanjas u hoyos.

Figura 5
Técnica del cuarteo



Fuente. MINAM, 2014

Para evaluar el deterioro del bienestar de la población, cuando hayan estado conectados directamente, y a los recursos naturales es indispensable tomar muestras compuestas. Es recomendable realizar un muestreo de dos dimensiones, tomar en primer lugar se toma muestras de diez a veinticinco unidades en una capa y luego juntarlo con las otras muestras formando de esta manera una muestra compuesta.

La limpieza del lugar del muestreo se realizó minuciosamente y quitar residuos, pequeños desmontes, escombros, ramas, entre otros; si la cantidad de residuos es demasiada es mejor retirar unos centímetros de suelo en una zona con un radio de quince centímetros.

Para el manejo de las muestras

Según MINAM (2014), respecto al manejo de las muestras que se toman en el presente estudio, resulta fundamental la observación en el momento del manejo de las muestras tomadas, no obstante, resultó necesario seguir las indicaciones que los laboratorios acreditados hayan decretado para los procesos de recopilación y mantenimiento de muestras tomadas a fin de analizarlo posteriormente.

❖ **Materiales para guardar y transportar muestras**

Las particularidades de los envases dependen de los componentes del recurso suelo y de los elementos tóxicos elegidos a ser muestreados, siendo estos envases difíciles de romper para prevenir que las muestras reaccionen químicamente y se evaporen.

Para la conservación de las muestras tomadas se impidió el empleo de materiales químicos, asimismo se colocó las muestras del tipo orgánico en áreas cuya temperatura esté dentro del rango de 4 – 6 °C.

En caso de los metales pesados o metaloides el recipiente a usarse debe ser bolsas de polietileno densa, los envases fueron del mismo volumen de la muestra con el propósito de evitar la presencia de espacios o áreas libres.

Etiquetado

- La ubicación de la etiqueta fue en una zona notable que no exceda las dimensiones del envase y esta debe estar pegada de manera correcta.
- La información contenida en la etiqueta indicaba el número de identificación, datos del proyecto, datos del muestreo (hora, lugar y fecha), datos de la compañía y los datos del investigador encargado para el muestreo.
- Se empleó tinta indeleble para la estampación de datos indispensables en la etiqueta.
- El registro de pequeña porción tomada y el etiquetado se realizó prontamente se haya terminado con la toma de muestras.

Ficha de muestreo

Es un informe en el que contiene el detalle de las muestras que se tomaron, el estado de los puntos establecidos para toma de muestras y las técnicas que se emplearon para el muestro realizado en el lugar elegido

Cadena de custodia

La cadena de custodia debe de contener como mínimo lo siguiente:

- La hoja de este informe enumerada, el cual es facilitada por el laboratorio que se haya elegido para realizar el análisis.
- Datos de la persona encargada del muestreo y el nombre de la empresa asignada para el muestreo.
- Coordenadas UTM del lugar establecido para el muestreo.
- Datos del tiempo (hora y fecha)
- Información de las claves de la cantidad de las muestras.
- Datos del laboratorio que se encarga de recibir y analizar las muestras.
- Los análisis que se requieran realizar de acuerdo a los componentes de las muestras.
- Cantidad total del número de recipientes.
- Las observaciones realizadas.
- Datos de las personas que otorgaron y aceptaron las muestras en todas las fases de traslado, ubicándose dentro de la ficha la hora y fecha.

Condiciones de seguridad de las muestras

- Cada operación individual requirió tratamientos previos en el lugar de la toma de muestras, algunos de ellos fueron preservantes, reactivos y filtrados.
- En el transporte de las muestras se tuvo en cuenta medidas necesarias para el cuidado de las mencionadas muestras como el

embalaje para que no se muevan los envases en el transcurso del traslado.

- El traslado de aquellas muestras que necesiten condiciones de temperaturas particulares, fueron realizadas en depósitos apropiados.
- El transporte de las muestras que se llevaron a cabo en periodo de tiempo sugeridos. Los materiales necesarios para asegurar la limpieza y estabilidad de las muestras tomadas fueron los siguientes: mascarilla, franelas, toallas, agua desmineralizada, lentes de seguridad; se recomienda usar etiquetas plegables, cintas y lapiceros.
- Si los sellos de las muestras fueron violados se evitará su análisis.

Posteriormente las muestras de suelo que se hayan tomado para realizar la investigación fueron enviadas con su respectiva ficha de muestreo y cadena de custodia para el análisis inicial de los metales con mayor densidad y parámetros fisicoquímicos del recurso suelo con polución al laboratorio acreditado de análisis de las muestras de suelos.

Durante la ejecución del proyecto

Para ejecutar el proyecto, las indicaciones a seguir estuvieron enfocados en el proyecto de investigación realizado por Díaz (2017):

- Como primer paso para la obtención del suelo se realizó zanjas, para recolectar las muestras superficiales.
- Para ello se debió de adquirir la cantidad necesaria de suelo de la EUM de Curimarca para dar inicio la presente investigación, de donde se extrajo la muestra para llevar acabo el pre test, el cual se mandó a analizar al laboratorio para así poder determinar la concentración inicial de metales densos y los parámetros físico químicos del suelo. Se tuvo en cuenta que una vez extraído la muestra de suelo se procede a cuartear cuidando del área a ser muestreada de cualquier

desecho superficial, el cual después de obtenerse debe ser puesto en un recipiente adecuado, seguidamente etiquetado y almacenado, para ser enviado al laboratorio.

- Seguidamente se realizó el trasplante de los brotes de las plantas de Ortiga mayor (*Urtica dioica*) en 5 maceteros con 10kg de suelo contaminado por metales pesados, de igual manera se realizó el trasplante en los brotes de las plantas de la higuera (*Ricinus communis L.*) en 5 maceteros con 10kg de suelo contaminado por metales pesados, en cada macetero se dispuso 3 plantas de cada especie, para que se pueda efectuar el proceso de la fitorremediación.
- Durante el tiempo de experimentación estas dos plantas, se regaron interdiario, manteniéndolas en un lugar adecuado, teniendo en cuenta los cuidados necesarios, fueron monitoreadas durante todo el proceso, en el cual se tuvo en cuenta los cambios que se generen siendo registradas en fotografías.

Después de la ejecución del proyecto

Después de 2 meses, se tomó las muestras de suelo de las plantas de Ortiga mayor e Higuera para medir la cantidad acumulada de metales y se mandó al laboratorio para obtener y tener conocimiento de la concentración de los metales pesados, de tal manera se analizaron las características físicas tanto como químicas del suelo.

Los datos de las muestras se llevaron a cabo en la cadena de custodia y ficha de registro. La recopilación de las muestras será colocada en bolsas de polietileno con cierre hermético, éstas estarán etiquetados y a su vez se almacenarán en la caja de tecnopor, para su posterior envío al laboratorio (MINAM, 2014).

Al final, con los resultados ya obtenidos se procedió a analizar, determinar y comparar la capacidad fitorremediadora de la Ortiga mayor y la Higuera en la reducción de los metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales.

Resumen del protocolo para ejecución del proyecto

Etapas preliminares

En primer lugar, se realizó diversas visitas a la zona de estudio para el estudio de la zona y obtener datos preliminares como: rutas de acceso, puntos de ubicación, distancia de la zona, y para posteriormente realizar toma de muestras.

Etapas de trabajo de campo

- **Muestreo de suelo:** se realizó limpieza del lugar de muestreo, se colocó trazos de muestreo en la zona de extracción y se sacó las muestras superficiales de suelo mediante la técnica del cuarteo, una vez recolectado las muestras se colocó en bolsas de polietileno, se envió al laboratorio con su respectiva ficha de muestreo y cadena de custodia para el análisis inicial de los metales pesados (Cu, Pb) y parámetros fisicoquímicos del suelo (T°, humedad, pH, CE).
- **Preparación del terreno:** se preparó el terreno de donde se sacó las muestras ex situ, poniendo las muestras en 10 maceteros de 10 kg con las plantas de Ortiga mayor (*Urtica dioica*) e Higuierilla (*Ricinus communis* L.)
- **Control de muestras:** el control de las muestras se realizó semanalmente, manteniéndolas en un lugar adecuado, fueron monitoreadas durante todo el proceso.
- **Análisis de suelo:** A cabo de 60 días se procedió a llevar los suelos fitorremediados a un análisis de suelo, trasladando 5 muestras de suelo con la planta Ortiga mayor (*Urtica dioica*) y 5 muestras de suelo con la planta Higuierilla (*Ricinus communis* L.) al laboratorio, donde se realizó el análisis final de los metales pesados (Cu, Pb) y parámetros fisicoquímicos del suelo (T°, humedad, pH, CE).

3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

En el procesado de valores numéricos y su posterior análisis de esos valores que se adquirirán en la presente investigación, se utilizó el software estadístico IBM SPSS (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales). Versión 29, que será de utilidad para el análisis de datos, creación de tablas, etc. al igual que el programa Microsoft Excel en la comprobación de la información proporcionados por el laboratorio. También se emplearon procedimientos estadísticos para la contrastación de la hipótesis.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

Tabla 3

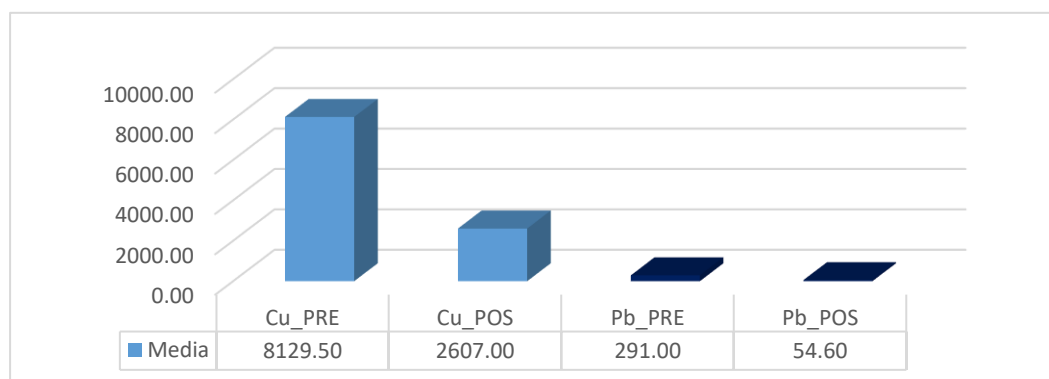
Descripción de la concentración de metales pesados (Cu y Pb, en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (Ricinus communis L.)

Especie		Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
				Límite inferior	Límite superior
Cu_PRE	Higuera	8129.50	0.00	8129.50	8129.50
Cu_POS	Higuera	2607.00	304.66	1761.12	3452.88
Pb_PRE	Higuera	291.00	0.00	291.00	291.00
Pb_POS	Higuera	54.60	7.21	34.59	74.61

Nota. Datos procesados con el software SPSS versión 26

Figura 6

Descripción de la concentración de metales pesados (en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (Ricinus communis L.)



Nota. Descriptivamente, en la tabla y la figura, se aprecia un decremento de la concentración de Cu de 67.9% y un decremento de Pb de 81.23%, en ambos casos se ha empleado higuera.

Tabla 4

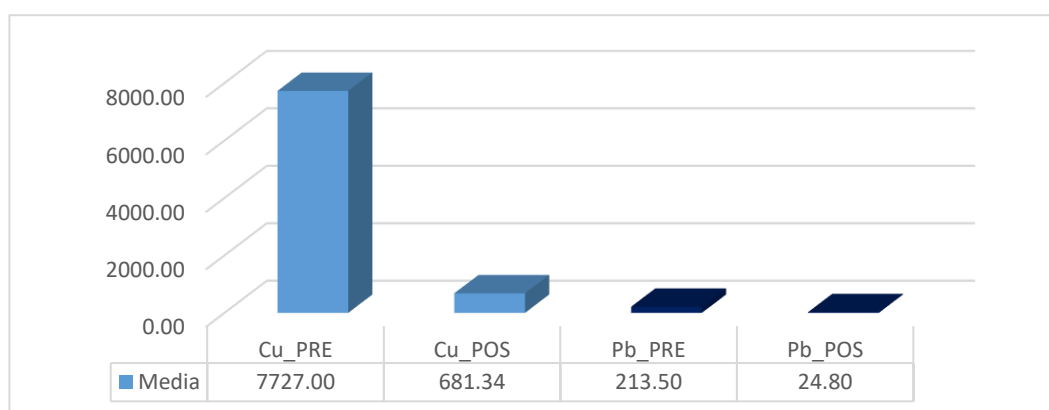
Descripción de la concentración de metales pesados (Cu y Pb, en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (Urtica dioica)

Especie		Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
				Límite inferior	Límite superior
Cu_PRE	Ortiga	7727.00	0.00	7727.00	7727.00
Cu_POS	Ortiga	681.34	83.74	448.83	913.85
Pb_PRE	Ortiga	213.50	0.00	213.50	213.50
Pb_POS	Ortiga	24.80	3.94	13.86	35.74

Nota. Datos procesados con el software SPSS versión 26

Figura 7

Descripción de la concentración de metales pesados (en ppm) en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (Urtica dioica)



Nota. Descriptivamente se aprecia un decremento de la concentración de Cu de 91.18% y un decremento de Pb de 88.38% al emplearse ortiga.

Tabla 5

*Descripción de los parámetros fisicoquímicos del suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*)*

		Media	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media	
				Límite inferior	Límite superior
H_PRE	Higuerilla	12.57	0.00	12.57	12.57
H_POS	Higuerilla	15.27	2.51	8.31	22.22
H_PRE	Ortiga	13.55	0.00	13.55	13.55
H_POS	Ortiga	15.22	1.58	10.83	19.62
pH_PRE	Higuerilla	6.17	0.00	6.17	6.17
pH_POS	Higuerilla	6.79	0.02	6.73	6.84
pH_PRE	Ortiga	6.18	0.00	6.18	6.18
pH_POS	Ortiga	6.83	0.02	6.77	6.89
T_PRE	Higuerilla	29.20	0.00	29.20	29.20
T_POS	Higuerilla	28.20	0.00	28.20	28.20
T_PRE	Ortiga	29.20	0.00	29.20	29.20
T_POS	Ortiga	28.20	0.00	28.20	28.20
CE_PRE	Higuerilla	2.22	0.00	2.22	2.22
CE_POS	Higuerilla	2.4	2.21	1.78	3.01
CE_PRE	Ortiga	2.17	0.00	2.17	2.17
CE_POS	Ortiga	1.63	1.33	1.26	2.00

Nota. Datos procesados con el software SPSS versión 26

En los resultados se tiene que hubo una mayor variabilidad creciente en la humedad al fitorremediarse con la higuera, aunque esto no difiere significativamente de la fitorremediación con la ortiga. Por otro lado, con la ortiga se tuvo un mayor incremento en el pH que con la higuera. Finalmente, con la higuera, se tuvo un incremento considerable en la Conductividad eléctrica.

Tabla 6
Prueba de normalidad de los datos

	Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^c			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
H_POS	Higuerilla	,293	5	,186	,834	5	,149
	Ortiga	,211	5	,200*	,903	5	,424
pH_POS	Higuerilla	,178	5	,200*	,985	5	,957
	Ortiga	,216	5	,200*	,933	5	,619
CE_POS	Higuerilla	,233	5	,200*	,875	5	,289
	Ortiga	,247	5	,200*	,846	5	,182
Cu_POS	Higuerilla	,258	5	,200*	,887	5	,344
	Ortiga	,333	5	,072	,767	5	,043
Pb_POS	Higuerilla	,141	5	,200*	,986	5	,966
	Ortiga	,267	5	,200*	,914	5	,492

Nota. Datos procesados con el software SPSS versión 26

Considerando la prueba estadística con Kolmogorov-Smirnov, corregida por Lilliefors, se ha obtenido un p-valor superior al nivel de significancia convencional de 5% (0.05), por lo que se tiene que cada uno de los indicadores evaluados tiene una distribución que se aproxima a la normal, por lo que es pertinente el uso de una prueba estadística paramétrica.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

H1: La higuerilla (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*) tienen diferencia en su capacidad fitorremediadora en la remoción de metales pesados en suelos afectado por pasivos ambientales mineros.

H0: La higuerilla (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*) no tienen diferencia en su capacidad fitorremediadora en la remoción de metales pesados en suelos afectado por pasivos ambientales mineros.

Nivel de significancia: 5% (0.05)

Tabla 7
Contrastación de la hipótesis

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias				
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
							Inferior	Superior
DIF_Cu	Se asumen varianzas iguales	12,670	,007	4,82	8	0,001	79,454,571	225,177,429
	No se asumen varianzas iguales			4,82	4,60	0,006	68,929,923	235,702,077
DIF_Pb	Se asumen varianzas iguales	1,128	,319	-5,80	8	0,000	-6,664,576	-2,875,424
	No se asumen varianzas iguales			-5,80	6,19	0,001	-6,765,015	-2,774,985

Nota. Prueba estadística con la t de Student para muestras independientes

En cada uno de los indicadores evaluados, se ha obtenido un p-valor inferior al nivel de significancia, por lo que podemos inferir que existe diferencia significativa en la capacidad fitorremediadora de la ortiga y la higuierilla al remover Pb y Cu.

Tabla 8*Tabla comparativa de los resultados de fitorremediación*

Indicador	Estándar suelo agrícola	Pre Test Higuierilla	Pre Test Ortiga	Interpretación	Post Test Higuierilla	Post Test Ortiga	Interpretación
Cu	38.4-81.3 mg/kg (Sela, 2024)	8129.5	7727.0	Ninguno cumple el estándar	2607.0 (-67.9%)	681.34 (-91.1%)	Sigue con valores altos
Pb	<70 (ECA, 2017)	291.0	213.5	Ninguno cumple el estándar	54.6 (-81.2%)	24.8 (-88.3%)	Con ambas especies se cumple el estándar
H	--	12.57	13.55		15.27 (+21.5%)	15.22 (+12.3%)	
pH	6,3 a 6,8 (Cole Parmer, 2021).	6.17	6.18	Ambos cumplen el estándar	6.79 (+10.0%)	6.83 (+10.5%)	Con la higuierilla se cumple el rango
CE	0,8 – 3.0 mS/cm (Rotoplas, 2022)	2.22	2.17	Ambos inician cumpliendo el rango	2.4	1.6	Se mantienen dentro del rango

Nota. Resultados de los indicadores en la higuierilla y ortiga

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto al objetivo general: Comparar la capacidad fitorremediadora de la higuera (*Ricinus communis* L.) y ortiga mayor (*Urtica dioica*) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros, se ha obtenido como resultado que, aun cuando la higuera y la ortiga lograron remover la concentración de Cu del suelo contaminado, en un 67.9% y 91.1% respectivamente, esto no fue suficiente. Por otro lado, para el caso de la remoción de Pb, tanto la higuera como la ortiga cumplieron el objetivo, removiendo el 81.2% y el 88.3% respectivamente. La ortiga fue más eficaz en la remoción de plomo.

La contaminación del suelo agrícola por Pb es un problema antropogénico grave, que amerita la atención del mismo hombre para de alguna manera revertir dicha contaminación. El estudio ha encontrado que la ortiga mayor es una gran alternativa para la recuperación del suelo en cuanto a Pb se refiere. No se descarta tampoco el empleo de la higuera para completar el mismo fin, ya que demostró igualmente eficacia al cumplir el rol de la bioacumulación significativa de Pb, demostrándose que tanto la higuera como la ortiga se convierten en promisorias especies fitorremediadoras. Esto mismo lo ha encontrado Silva (2019), quien particularmente se dedicó a estudiar el potencial remediador del *Ricinus Communis* L. (higuera), encontrando que, pese a que la especie fue sometida a relaves, finalmente no presentaron toxicidad, sino que por el contrario mostró parámetros de crecimiento positivo. Por otro lado, los resultados de Barrios y Garcilazo (2019) son similares a los que se mencionan en esta discusión, resaltando el *Ricinus Communis* tolera concentraciones de plomo en cantidades considerables (47.32 mg Pb/kg).

Por otro lado, Bazán y Rojas (2019), al experimentar con la ortiga mayor, encontraron que ésta extrajo el 32.2% de plomo, desde una cantidad inicial de 142 mg/Kg de plomo en un suelo combinado con relave minero, superando

a la especie *juncus arcticus*, que extrajo un 26.3% de plomo, por tal razón ellos concluyeron que la ortiga no tan solo remueve plomo sino también As en un 33.7%, de una cantidad inicial de 433.08 mg/Kg, 70.8% de Cd de un total de 11.42 mg/Kg. Por lo anterior, el presente estudio refrenda los hallazgos de estudios similares referidos en los antecedentes, consolidando el hecho de que determinadas especies de plantas como la ortiga y la higuierilla pueden actuar eficazmente como fitorremediadores debido al potencial bioacumulador que poseen, convirtiéndose en una alternativa viable para la recuperación del suelo.

Respecto al objetivo específico 1: Describir la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuierilla (*Ricinus communis* L.), se ha encontrado una concentración inicial de 8129.5 ppm de Cu y 291 ppm de Pb en el grupo que correspondió a la higuierilla, y una concentración final de 2607.0 ppm de Cu y 54.6 ppm de Pb, significando una reducción de 67.9% y 81.2% respectivamente, sin embargo, esta reducción no fue suficiente para establecerse dentro del rango recomendado para suelos agrícolas para el caso de la remoción de Cu, pero si lo fue para el caso de la remoción de Pb. Urge la necesidad de encontrar medios efectivos que permitan emplearse con el fin de lograr la sanidad del suelo. En el presente estudio se ha encontrado que ambas especies cumplieron su labor de remover el Pb.

Respecto al objetivo específico 2: Describir la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (*Urtica dioica*), la concentración de Cu y Pb en el grupo de la ortiga fue de 7727.0 mg/Kg y 213 mg/Kg respectivamente, significando una reducción de 91.1% para el Cu y 88.3% para el Pb. La fitorremediación con la higuierilla y la ortiga si ayudó a cumplir el estándar de calidad ambiental aplicado al suelo, con un valor final de 681.34 mg/Kg para el Cu y 24.8 mg/Kg para el Pb, resultado más eficaz la fitorremediación con la ortiga. Teniendo en cuenta que los metales pesados son peligrosos para la salud del mismo hombre que ha contaminado el suelo, es sobresaliente el hallazgo del presente estudio, para el caso de la remoción de Pb.

Respecto al objetivo específico 3: Describir los parámetros fisicoquímicos del suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica), se ha encontrado que con la higuera se dio un mayor incremento (de 12.57 a 15.27) en la cantidad de H en el pasivo ambiental minero que con la ortiga (de 13.55 a 15.22). Para el caso del pH en el pasivo minero, el mayor incremento se dio con el empleo de la ortiga (de 6.18 a 6.83) que con la higuera (de 6.17 a 6.79). En cuanto a la conductividad eléctrica, este tuvo un mayor incremento cuando se empleó la higuera (de 2.22 a 2.4), que, con la ortiga, que tuvo un comportamiento inverso (de 2.17 a 1.63). Ciertamente las plantas requieren Hidrógeno como nutriente esencial para su desarrollo. El hidrógeno es el principal componente de los fertilizantes de amoníaco. Cuando es deficiente la cantidad de hidrógeno en el suelo, las plantas se ponen amarillas, las hojas de las plantas se caen antes de tiempo, se provoca marchitamiento en las plantas, se reduce la capacidad de las plantas para resistir las enfermedades.

CONCLUSIONES

Los resultados del estudio permiten llegar a las siguientes conclusiones:

Existe diferencia en la capacidad remediadora de la higuera y la ortiga al remover los metales pesados. Ninguna de las dos especies logró completar la meta de remover el Cu del pasivo ambiental, esta afirmación se realiza considerando un nivel de confianza del 95%. Por otro lado, ambas especies en estudio si han logrado la meta de remover el Pb del pasivo ambiental, cumpliendo finalmente las normas de Estándar de Calidad Ambiental (ECA. 2017)

Se concluye que con la higuera es posible la remoción de plomo en cantidades suficientes como para que el suelo pueda calificar dentro de los estándares que se permita tener un suelo agrícola. No ha sido posible la remoción de Cu en cantidades suficientes para obtener un suelo con fines agrícolas.

Se concluye que con la ortiga mayor es posible la remoción de plomo en cantidades suficientes como para que el suelo pueda calificar dentro de los estándares que se permita tener un suelo agrícola. Similar a la anterior conclusión se reporta que no ha sido posible la remoción de Cu en cantidades suficientes para obtener un suelo con fines agrícolas.

Para el caso de los parámetros fisicoquímicos evaluados, se concluye que con la higuera se cumple el estándar en el pH, la conductividad eléctrica también se mantiene.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el empleo de la higuera y la ortiga como bioacumuladores de metales pesados, de tal modo que, al masificarse su uso, el beneficio sería mayor para la población de suelo agrícola.

Se recomienda el empleo de la higuera y la ortiga en estudios que permitan compararse los resultados con otras especies y encontrar aquella que brinde un mejor resultado.

Se recomienda que, por medios gubernamentales locales o regionales se masifique el uso de especies como la higuera o la ortiga para la recuperación de los suelos contaminados por los metales pesados.

Se recomienda que temas prácticos como el desarrollado en el presente estudio sean desarrollados en el pregrado, con procedimientos prácticos que permitan ganar experiencia a los estudiantes con lo que estarían más capacitados y con mejores competencias para afrontar el mundo laboral.

Se recomienda que el método científico sea tempranamente utilizado por los estudiantes, con temas como el de la fitorremediación, de tal modo que permita familiarizarse su uso para el momento que tenga que preparar su tesis profesional.

REFERENCIAS

- Acosta, M. (2018) *Evaluación de los procesos de fitorremediación con Ricinus communis L. y Helianthus annuus L. usando bacterias promotoras de crecimiento vegetal* [Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Puebla]. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/7411>
- Agudelo, L., Macías, K. y Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57-60. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69520110.pdf>
- Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., Pari, J., & Rodríguez, F. (2009). Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 26(1), 15-19. doi: 10.17843/rpmesp.2009.261.1327
- Bárbaro, L., Karlanian, M. y Mata, D. A. (2014). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/importancia-del-ph-y-la-conductividad-electrica-ce-en-los-sutratos-para-plantas#:~:text=Importancia%20del%20pH%20y%20la,problemas%20nutricionales%20y%20se%20estresen>.
- Barrios, M. y Garcilazo, A. (2019). Capacidad fitorremediadora de *Ricinus communis* “Higuerilla” sobre Arsénico y Plomo de suelos contaminados del sector La Porfía Pataz [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Cesar Vallejo]. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2984224>
- Bautista, A., Etchevers, J., del Castillo, R. y Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, 13(2), 90-97. <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572>

- Bautista, F. (1999). Introducción al estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Universidad Autónoma de Yucatán.
https://www.researchgate.net/publication/236954595_Introduccion_al_estudio_de_la_contaminacion_del_suelo_por_metales_pesados
- 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 para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad César Vallejo].
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/33249>
- Becerril, J., Barrutia, O., García, J., Hernández, A., Olano, J. y Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos eco fisiológicos y su uso en fitorremediación. Ecosistemas.
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>
- Bembibre, C. (2012). Definición de remoción. Definición ABC.
<https://www.definicionabc.com/general/remocion.php>
- Benites, J. y Castellanos, A. (2003). Mejorando la humedad del suelo con agricultura de conservación. Revista de Agroecología, 19(2).
<https://www.leisa-al.org/web/images/stories/revistapdf/vol19n2.pdf>
- Bernal, A. (2014). Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 5(2), 245-258.
<https://doi.org/10.22490/21456453.1340>
- Boussen, S., Soubrand, M., Bril, H., Ouerfelli, K., y Abdeljaoud, S. (2013). Transfer of lead, zinc and cadmium from mine tailings to wheat (*Triticum aestivum*) in carbonated mediterranean (Northern Tunisia) soils. Geoderma.
https://www.researchgate.net/publication/256716106_Transfer_of_lead_zinc_and_cadmium_from_mine_tailings_to_wheat_Triticum_aestivum_in_carbonated_Mediterranean_Northern_Tunisia_soils

- Carhuaricra, P. (2019). Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *limnobium laevigatum* y *eichhornia crassipes* para dar tratamiento a las aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle (Huánuco), [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad de Huánuco]. <http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/1598/Bach.%20CARHUARICRA%20FERRER%2c%20Poll.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Colaboradores de Wikipedia (2023). *Ricinus communis*. Wikipedia, La enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Ricinus_communis&oldid=149546886.
- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 1(83), 5-71. <https://www.redalyc.org/pdf/539/53908302.pdf>
- Crespo, G. (2011). Comportamiento de la materia orgánica del suelo en pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(4), 343-347. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193022260001.pdf>
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J. y Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2), 597-612. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93918231023.pdf>
- Dextre, A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Senecio rufescens* DC. en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú [Tesis para obtener el título profesional de Bióloga con mención en Botánica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/7232/Dextre_ra.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Díaz, Y. (2017). Capacidad de acumulación de la ortiga *Urtica urens* para la fitorremediación de suelos contaminados con plomo en la Oroya, Junín, 2017 [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/20707/DIAZ_%20DM.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Eróstegui, E. (2009). Contaminación por metales pesados. *Revista Científica Ciencia Médica*, 12(1). <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1817-74332009000100013&>
- Fernández, A. (2019). Identificación de especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto, Distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, Departamento de Huánuco [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1594/FEAT_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Galán, E. y Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 1(10), 48-60. http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- García, C., Moreno, J., Hernández, M. y Polo, A. (2002). Metales pesados y sus implicancias en la calidad del suelo. F. Valladares (Ed.), *Ciencia y Medio Ambiente* (pp. 125-138). <https://digital.csic.es/handle/10261/111812>
- García, I. y Dorronsoro, C. (2005). Contaminación por metales pesados. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>
- García, Y., Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar el recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001

- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). Metodología de la investigación. (6ta ed.). Mc Graw Hill Education.
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Kidd, P., Becerra, C., García, M., y Monterroso, C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas*, 16(2), 1-18.
<https://www.redalyc.org/pdf/540/54016204.pdf>
- KS KALI GmbH. 2017. El cobre. Estados Unidos.
https://www.kaligmbh.com/eses/fertiliser/advisory_service/nutrients/copper.html#anchor0.
- Llugany, M., Tolrá, R., Poschnrieder, C. y Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas*, 16(2), 4-9.
<https://core.ac.uk/download/pdf/13275733.pdf>
- Londoño, L., Londoño, P., Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145- 153.
<http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v14n2/v14n2a17.pdf>
- López, P. (2011). Fitorremediación en los suelos de Mayoc, San Mateo, Huarochirí-Lima. [Tesis para optar el grado académico de maestra en ciencias con mención en minería y medio ambiente, Universidad nacional de Ingeniería].
http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1588/1/lopez_pr.pdf
- Marrero, J., Amores, I., Coto, O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de

Azúcar Cuba, 46(3), 52- 61.

<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>

MINAM (2014). Guía para el muestreo de suelos.

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12104/07_guia-para-el-muestreo-de-suelos-final.pdf

MINAM (2020). La conservación del suelo es fundamental para el funcionamiento de los ecosistemas.

<https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/319483-la-conservacion-del-suelo-es-fundamental-para-el-funcionamiento-de-los-ecosistemas>

MINEM (2019). Anuario minero Perú.

<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/Mineria/PUBLICACIONES/ANUARIOS/2019/AM2019.pdf>

Minsal (2018). Medicamentos Herbarios Tradicionales.

<https://www.minsal.cl/portal/url/item/7d99ff5a5816dbd7e04001011f016d c3.pdf>

Minsus (2019). Estudio de caso de pasivos ambientales mineros en la región

la Libertad/ Perú. <https://minsus.net/mineria-sustentable/wp-content/uploads/2019/01/estudio-de-caso-de-pasivos-ambientales-mineros-aspectos-juridico-institucionales.pdf>

Mondragón, J. (2009). Malezas de México, Ficha – Ortiga mayor.

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/urticaceae/urtica-dioica/fichas/ficha.htm>

Obeso, A., Castillo, A., Gurreonero, J., y Vejarano, R. (2017). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio (Pelargonium zonale).

https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUPN_2987fc5ab17d8cb022e794de5c92ee1c

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo. (2015). Estado Mundial

- Papuico, K. (2018). Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas [Tesis para optar el título profesional de ingeniero ambiental, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
<http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/457/1/TESIS%20KARITO.pdf>
- Paredes, E. (2021). Efecto de la fitorremediación con dos variedades de ortiga (*Urtica urens* L.) y (*Urtica dioica* L) en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto, Marabamba, Provincia de Huánuco, Departamento de Huánuco [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad de Huánuco].
<http://200.37.135.58/handle/123456789/3187>
- Porta, J., López, M., y Poch, R. (2013). Edafología, uso y protección de suelo. Mundiprensa.
<https://www.mundiprensa.com/catalogo/9788484767503/edafologia--uso-y-protección-de-suelos>
- Quispe, A. (2020). Fitorremediación con *Ricinus Communis* para el tratamiento de suelos contaminados con plomo en la ciudad de Cerro de Pasco [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión].
http://45.177.23.200/bitstream/undac/2464/1/T026_71238351_T.pdf
- Reyna, T., Reyna, S., Lábaque, M., Fulginiti, F., Riha, C. y Linares, J. (2011). Importancia de la determinación de la humedad en estudios de infiltración y escorrentía superficial para períodos largos. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 6(2), 91-110.
<https://www.redalyc.org/pdf/928/92819767007.pdf>
- Rico, R., Tapia, L., Teniente, R., González, A., Hernández, M., Solís, J., y Zamarripa, A. (2011). Guía para cultivar higuerilla (*Ricinus communis*

- L.) en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC Campo Experimental Valle de Apatzingán. https://www.academia.edu/27422563/Gu%C3%ADa_para_cultivar_higuera_Ricinus_communis_L_en_Michoac%C3%A1n
- Ríos, A. (2017). Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies *Lolium Perenne*, *Pelargonium Hortorum* y *Fuestesimalva Echinata* en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/3591>
- Rivera, E., Sánchez, M. y Domínguez H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4(1), 101-105. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829/2639>
- Rodríguez, D. (2017). Intoxicación ocupacional por metales pesados. *MEDISAN*, 21(12). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1029-30192017001200012
- Rodríguez, J. (2015). La *Urtica Urens*. Proyecto de sierra baza. <http://www.sierradebaza.org/index.php/component/content/article/82-principal/fichas-tecnicas/fichas-flora/723-Urtica-spe>
- Rotoplas, A. (2022) Qué es la conductividad eléctrica y cuál es su importancia para los cultivos. <https://rotoplas.com.ar/agroindustria/que-es-la-conductividad-electrica/#:~:text=La%20conductividad%20puede%20hallarse%20dentro,el%20suelo%20sea%20baja>.
- Russi, D. y Martínez, J. Los pasivos ambientales. *Debates ambientales*. <https://www.redalyc.org/pdf/509/50901513.pdf>
- Sánchez, C., Menezes, Z., Eiji, E. y Salomao, R. (2010). Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de frijol irrigado. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 13(2), 41-50. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a06.pdf>

- Sela Y. (2024) Las unidades en el informe del análisis de suelo. <https://croipaia.com/es/blog/analisis-de-suelo-unidades/#:~:text=Ppm%20puede%20referirse%20a%20diferentes,extracto%20de%20soluci%C3%B3n%20de%20suelo.>
- Silva, M. (2019). En sus tesis: Potencial de fitorremediación de *Ricinus communis* L. en suelos contaminados por hierro, en las minas de Camaquã-RS. [Tesis para obtener la Licenciatura en Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Universidad Federal Do Pampa]. <http://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/2182/1577>
- Subhashini, V., Swamy, A. y Hema, R. (2013). Fitorremediación: tecnología ecológica y emergente para la absorción de cadmio del suelo contaminado por especies vegetales. *Revista Internacional de Ciencias Ambientales*, 4, 193 – 204. https://scholar.google.co.in/citations?user=8o1iiPUAAAAJ&hl=en#d=gs%20_md_cita-d&u=%2Fcitations%3Fview_op%3Dview_citation%26hl%3Den%26user%3D8o1iiPUAAAAJ%26citation_for_view%3D8o1iiPUAAAAJ%3AULO%20m3_A8WrAC%26tzm%3D300
- Supo, J. y Zacarías, H. (2020). *Metodología de la Investigación Científica*. (3ra ed.). Sociedad Hispana de Investigadores Científicos.
- Thangavel, P., Subhuraam, C. V. (2004). Phytoextraction – Role of hyper accumulators in metal contaminated soils. *Proceedings of the Indian National Science Academy. Part B*. 70(1):109-130. https://scholar.google.com.pe/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=F4N5oCAAAAAJ&citation_for_view=F4N5oCAAAAAJ:2osOgNQ5qMEC
- Vixta, J. (2018). Estudio comparativo de tres técnicas de extracción química secuencial en la fitorremediación de jales mineros [Tesis para obtener el título de Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad Autónoma de Puebla].

<https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/8382>

Vogel, A. (2018). *Urtica dioica*. Enciclopedia de las plantas. <https://www.avogel.es/enciclopedia-de-plantas/urtica-dioica.php>

Volke, T., Velasco, J. y de la Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología. https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/B1E761B1E2F24A5C05257D490070F94F/%24FILE/SuelosContaminadosPorMetalesYMetaloides.pdf

Yashim, Z., Agbaji, E., Gimba, C., y Idris, S. (2016). Phytoremediation Potential of *Ricinus communis* L. (Castor Oil Plant) in Northern Nigeria. International Journal of Plant & Soil Science 10(5): 1-8. https://www.researchgate.net/profile/Edith-Agbaji/publication/301535992_Phytoremediation_Potential_of_Ricinus_communis_L_Castor_Oil_Plant_in_Northern_Nigeria/links/57ee562e08ae280dd0ad5512/Phytoremediation-Potential-of-Ricinus-communis-L-Castor-Oil-Plant-in-Northern-Nigeria.pdf

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Cotrina Mamani, K. (2024). *Comparación de la capacidad fitorremediadora de la higuera (Ricinus communis L.) y ortiga mayor (Urtica dioica) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema general	Objetivo general	Hipótesis	Variables/Indicadores	Método
¿Existe diferencia entre la capacidad fitorremediadora de la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.) y ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros?	Comparar la capacidad fitorremediadora de la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.) y ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>) en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros.	Ha: La higuera (<i>Ricinus communis</i> L.) y ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>) tienen diferencia en su capacidad fitorremediadora en la remoción de metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros.	Variable de calibración Capacidad fitorremediadora Variable evaluativa Remoción de metales pesados Concentración de metales pesados en el suelo: - Cu - Pb	Tipo Prospectivo, con intervención, longitudinal y analítico. Enfoque Cuantitativo Nivel Aplicativo Diseño Experimento verdadero GE₁: O₁ ----- X₁ ----- O₂ GE₂: O₁ ----- X₂ ----- O₂ GE₁: Grupo experimental 1 GE₂: Grupo experimental 2 O₁: Observación inicial O₂: Observación inicial X₁: Fitorremediación con Higuera X₂: Fitorremediación con Ortiga Mayor Población Suelo afectado por pasivos ambientales mineros. Muestra 100kg de suelo afectado por pasivos ambientales mineros.
Problemas específicos	Objetivos específicos			
¿Cuál es la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.)?	Describir la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.).	H₀: La higuera (<i>Ricinus communis</i> L.) y ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>) no tienen diferencia en su capacidad fitorremediadora en la remoción de	Variables descriptivas Parámetros fisicoquímicos del suelo: - Temperatura - Humedad - Potencial de Hidrógeno (pH) - Conductividad eléctrica (CE)	
¿Cuál es la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>)?	Describir la concentración de metales pesados en el suelo afectado por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>).			
¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos del suelo afectado por	Describir los parámetros fisicoquímicos del suelo afectado			

pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.) y ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>)?	por pasivos ambientales mineros antes y después de la fitorremediación con la higuera (<i>Ricinus communis</i> L.) y ortiga mayor (<i>Urtica dioica</i>).	metales pesados en suelos afectados por pasivos ambientales mineros.
--	--	--

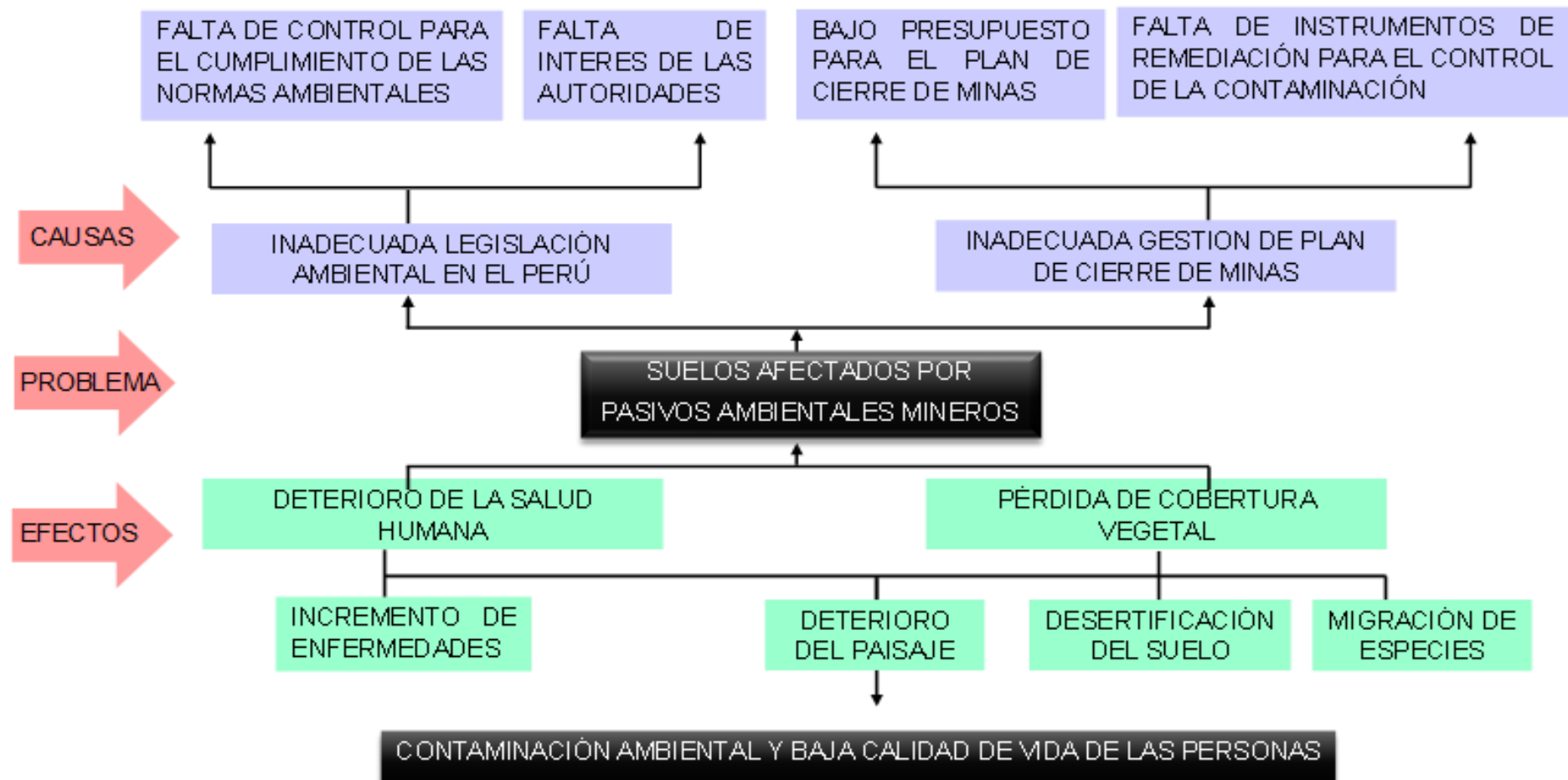
ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN



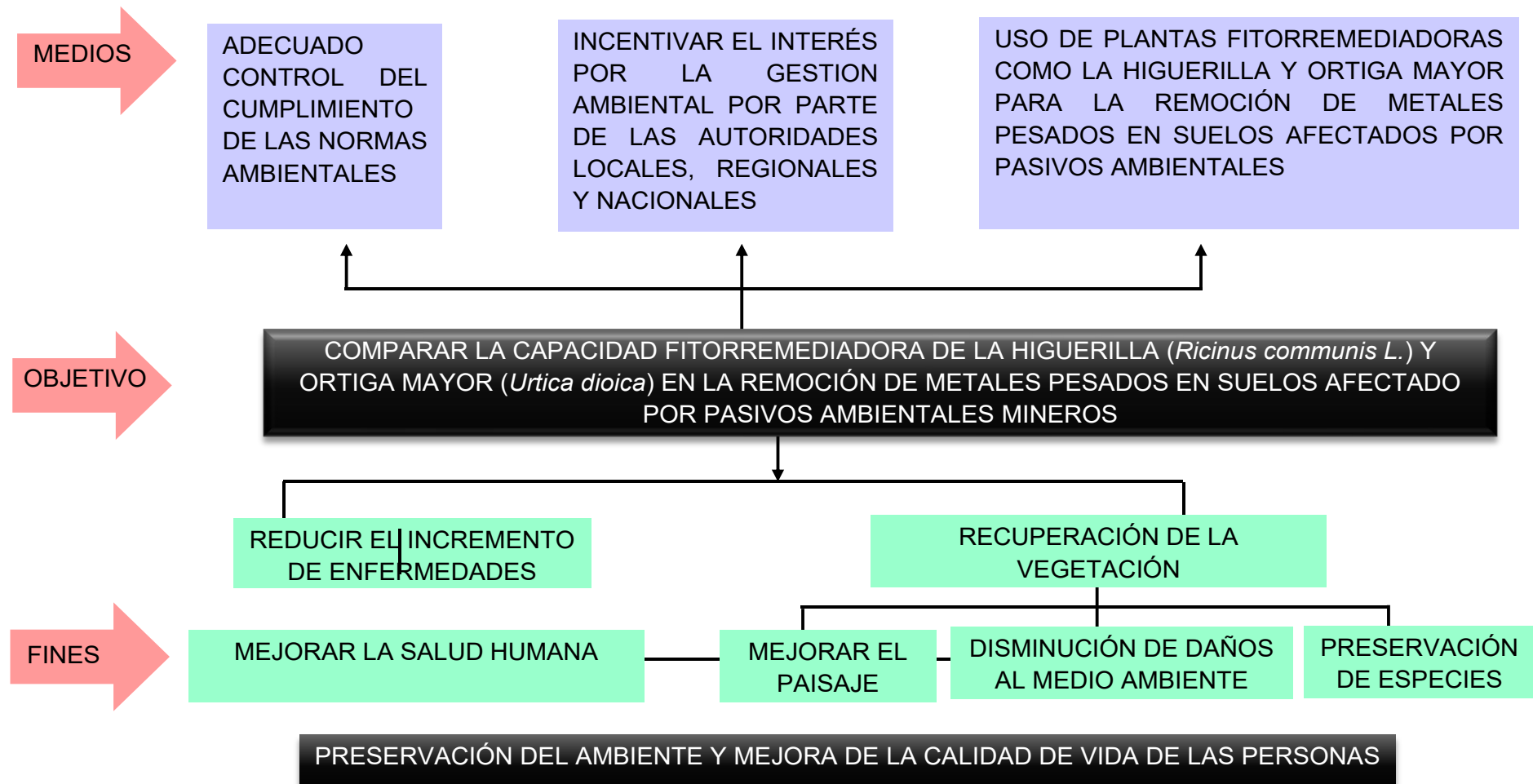
ANEXO 3

DIAGRAMA DE CAUSAS Y EFECTO



ANEXO 4

DIAGRAMA DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

RESULTADOS DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANALISIS DE SUELOS

LASAE



1. DATOS

SOLICITANTE:	KEYKO STEFANIE COTRINA MAMANI	MUESTREADO POR:	KEYKO STEFANIE COTRINA MAMANI
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCION:	21/06/2023
PROVINCIA:	HUANUCO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	21/06/2023
DISTRITO:	HUANUCO	FECHA DE REPORTE:	30/06/2023
MUESTRA:	SUELO	RECIBO O FACTURA:	23016871
CULTIVO:	*****	OBSERVACIÓN:	FECHA DE MUESTREO 19/06/2023

2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		RESULTADOS DEL ENSAYO								
			M _{CWS}	M _{CS}	M _C	°H	PH	T°	CE	Cu _{total}	Pb _{total}
	COD LAB	COD SOL	gramos	gramos	gramos	%	1:1	°C	dS/m	ppm	ppm
1	S0923A	01 (pretest)	132.35	124.44	61.49	12.57	6.17	29.20	2.22	8129.50	291.00
2	S0923B	02 (pretest)	125.81	117.41	55.44	13.55	6.18	29.20	2.17	7727.00	213.50

M _{CWS}	Es el peso del contenedor mas el suelo húmedo, en gramos
M _{CS}	Es el peso del contenedor mas el suelo secado en horno, en gramos
M _C	Es el peso del contenedor, en gramos
°H	Es el contenido de Humedad, en porcentaje

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este Informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE AGRONOMIA

ING. LUIS GERMAN MANSILLA MINAYA
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	KEYKO STEFANIE COTRINA MAMANI
PROCEDENCIA:	HUÁNUCO
RECIBO N°:	34668
FECHA DE MUESTREO:	19/01/2024
FECHA DE REPORTE:	25/01/2024

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANALISIS FISICO		ANALISIS QUIMICO			
			Húmedad	Temperatura	pH	CE	PLOMO TOTAL	COBRE TOTAL
			H°	T°	0-14	uS/cm	Pb	Cu
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	%	°C	1:1	1:1	ppm (mg/Kg)	ppm (mg/Kg)
1	S2024-0021-1	RC - M1	20.38	28.20	6.73	2700	74.00	2931.00
2	S2024-0021-2	RC - M2	11.10	28.20	6.85	2570	65.00	1849.00
3	S2024-0021-3	RC - M3	12.44	28.20	6.80	2310	54.00	2884.00
4	S2024-0021-4	RC - M4	10.19	28.20	6.76	2840	48.00	3423.00
5	S2024-0021-5	RC - M5	22.22	28.20	6.79	1587	32.00	1948.00
6	S2024-0021-6	UD - M1	18.62	28.20	6.80	1389	20.00	527.00
7	S2024-0021-7	UD - M2	10.57	28.20	6.87	1447	21.00	564.60
8	S2024-0021-8	UD - M3	15.95	28.20	6.88	2130	15.00	903.00
9	S2024-0021-9	UD - M4	12.63	28.20	6.82	1680	36.00	868.00
10	S2024-0021-10	UD - M5	18.34	28.20	6.77	1521	32.00	544.10

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.
Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Dr. HUGO ALFREDO MAMANI YUPANQUI

Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

Ing° GILMER MILTON NEIRA TRUJILLO

Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

ANEXO 6

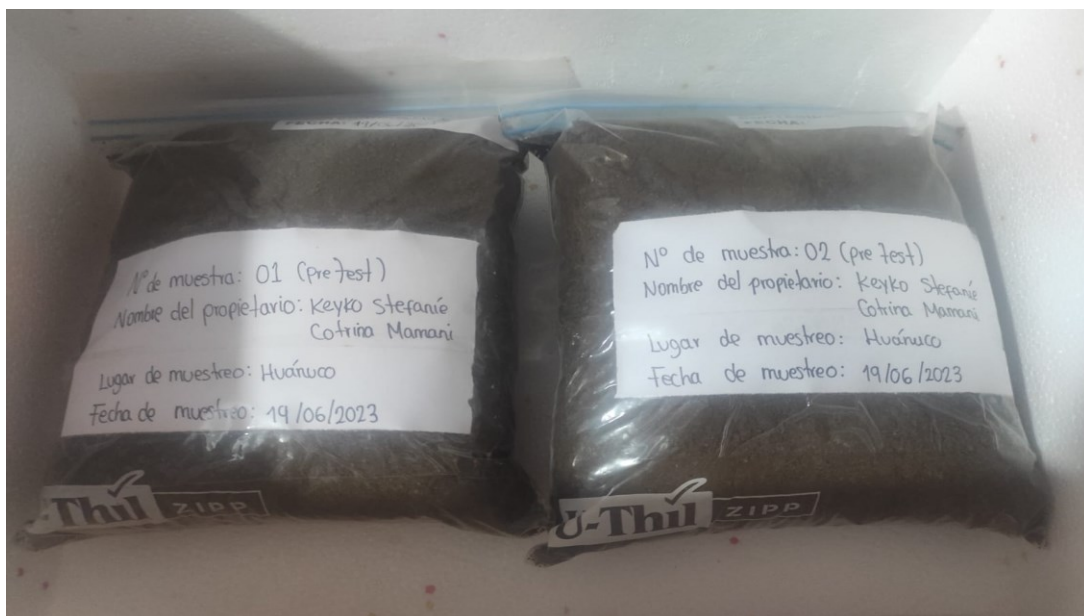
PANEL FOTOGRÁFICO



Reconocimiento del lugar e identificación de los puntos de muestreo de suelo.



Método de partición para la obtención de muestra de suelo.



Rotulación de muestras pre test, y traslado



Tamizado de muestra de suelo para separar restos de residuos sólidos.



Muestras de la ortiga mayor (*Urtica dioica*) en ex situ.



Muestras de la higuera (*Ricinus Communis L.*) en ex situ.



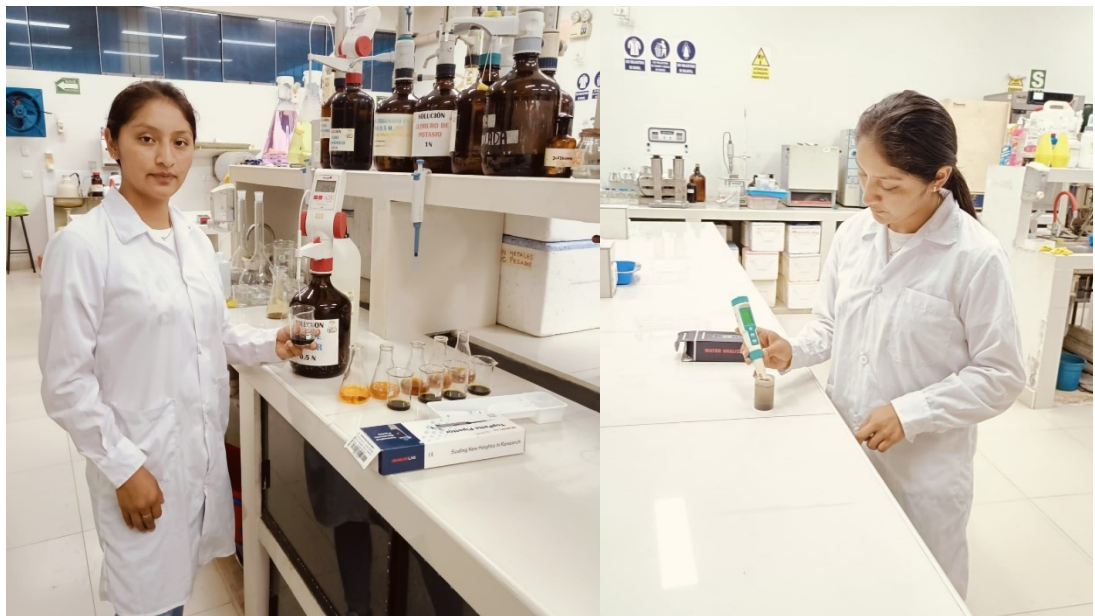
Rotulación y refrigeración de muestras finales para traslado al laboratorio.



Entrega de muestras de suelo para su respectivo análisis.



Análisis de metales pesados con el espectrofotómetro de absorción atómica



Análisis de los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo post fitorremediación.