



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

BIOCONCENTRACIÓN VEGETAL POR METALES PESADOS EN SUELOS
AFECTADOS POR LA UNIDAD MINERA CORICANCHA, SAN MATEO, 2023

Línea de investigación:
Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor

Rivera Unocc, Jean Marco

Asesor

Vasquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

Jurado

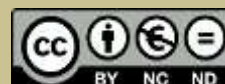
Naupay Vega, Marlitt Florinda

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Nizama Espinoza, Victor Raul

Lima - Perú

2025



BIOCONCENTRACIÓN VEGETAL POR METALES PESADOS EN SUELOS AFECTADOS POR LA UNIDAD MINERA CORICANCHA, SAN MATEO, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

29%

INDICE DE SIMILITUD

27%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

4%

2

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

3%

3

llamkasun.unat.edu.pe

Fuente de Internet

2%

4

www.scielo.org.pe

Fuente de Internet

2%

5

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

6

www.studocu.com

Fuente de Internet

2%

7

www.grafiati.com

Fuente de Internet

1%

8

Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola

Trabajo del estudiante

1%

9

www.researchgate.net

Fuente de Internet

1%

10

Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru

Trabajo del estudiante

1%

11

revistas.uncu.edu.ar

Fuente de Internet

1%



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

BIOCONCENTRACIÓN VEGETAL POR METALES PESADOS EN SUELOS AFECTADOS

POR LA UNIDAD MINERA CORICANCHA, SAN MATEO, 2023

Línea de investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Rivera Unocc, Jean Marco

Asesor:

Vasquez Aranda, Ahuber Omar

ORCID: 0000-0002-2873-6752

Jurado:

Naupay Vega, Marlitt Florinda

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Nizama Espinoza, Victor Raul

Lima - Perú

2025

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi investigación para obtener el grado de ingeniero, a mis padres Marcelino Rivera Lapa y Evarista Unocc Baquiyauri porque ellos estuvieron brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona y nunca rendirme, a mis hermanos Liliana Rivera Unocc, Roger Balboa Cárdenas y Elvis Rivera Unocc por sus palabras y consejos y a mi amor Jarumi Cartagena Melo y Ania Bendezú Cartagena, gracias por tu incondicional apoyo y tu paciencia en los momentos difíciles. Este logro también es de ustedes.

Se lo dedico a mi abuela que está en el cielo, Dios lo tenga en su gloria y un gracias al cielo para ella que con sus palabras pude seguir estudiando.

INDICE

RESUMEN	8
ABSTRACT.....	11
I. INTRODUCCION.....	12
1.1. Descripción y Formulación del Problema.....	14
1.1.1. Descripción del Problema	14
1.1.2. Formulación del Problema.....	16
1.1.2.1. Problema General.....	16
1.1.2.2. Problemas Específicos.	16
1.2. Antecedentes	16
1.2.1. Antecedentes Internacionales.....	16
1.2.2. Antecedentes Nacionales	19
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo General.....	22
1.3.2. Objetivo Específicos	22
1.4. Justificación	23
1.5. Hipótesis	24
1.5.1. Hipótesis General.....	24
1.5.2. Hipótesis Específicos	24
II. MARCO TEÓRICO.....	25
2.1. Teorías Relacionadas al Tema de Investigación	25

2.1.1.	Metales Pesados	25
2.1.2.	El Suelo	25
2.1.3.	Presencia de Metales Pesados en los Suelos	26
2.1.4.	Factores que afectan la acumulación de Metales en el Suelo	27
2.1.5.	Plantas en Zonas Contaminadas por Metales	30
2.1.6.	Absorción y Transporte de Metales en las Plantas	32
2.1.7.	Mecanismos de Respuesta de las plantas a la presencia de Metales Pesados	34
2.1.8.	Impactos de la Minería en los Suelos	36
2.1.9.	Tecnologías para recuperar Suelos Contaminados	36
2.1.10.	Fitocorrección de Suelos Contaminados	37
2.1.11.	Unidad Minera Coricancha	39
2.2.	Marco Conceptual	39
2.3.	Marco Legal Ambiental	40
III.	MÉTODO	44
3.1.	Tipo de Investigación	44
3.2.	Ámbito Temporal y Espacial	44
3.2.1.	3.2.1. Ámbito Temporal	44
3.2.2.	3.2.2. Ámbito Espacial	44
3.3.	Variables	45
3.3.1.	3.2.1. Variable Independiente	45
3.3.2.	3.2.1. Variable Dependiente	45

3.4.	Población y Muestra	48
3.4.1.	Población.....	48
3.4.2.	Muestra	48
3.5.	Instrumentos.....	48
3.5.1.	Técnicas	48
3.5.2.	Instrumentos.....	48
3.5.3.	Equipos	48
3.6.	Procedimientos.....	49
3.6.1.	Etapa de Gabinete	49
3.6.2.	Etapa de Campo	49
3.6.3.	Etapa de Laboratorio.....	51
3.6.4.	Etapa Final	52
3.7.	Análisis de Datos	53
3.8.	Análisis Territorial	53
IV.	RESULTADOS.....	57
4.1.	Tipo de Investigación.....	57
4.2.	Identificación de Especies Vegetales Fijadoras de Metales Pesados.....	58
4.3.	Bioconcentración de Metales Pesados en Vegetales	59
4.3.1	Bioconcentración y Comportamiento por cada Especie Vegetal Evaluada.....	64
V.	DISCUSION DE RESULTADOS	71
VI.	CONCLUSIONES	74

VII. RECOMENDACIONES.....	75
VIII. REFERENCIAS.....	76
IX. ANEXOS	83
Anexo A. Matriz de consistencia.	83
Anexo B. Resultados de ensayos del laboratorio de suelos	84
Anexo C. Panel fotográfico.....	90

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Clasificación de Taxones presentes en Suelos Contaminados</i>	31
Tabla 2 <i>Clasificación de las plantas según la concentración de elementos traza presentes en la parte aérea</i>	34
Tabla 3 <i>Mecanismos de Fitocorrección</i>	37
Tabla 4 <i>Normas Legales Ambiental en Suelos</i>	41
Tabla 5 <i>Operacionalización de las variables</i>	45
Tabla 6 <i>Concentración de metales pesados y fisicoquímicos en suelos</i>	57
Tabla 7 <i>Identificación de especies vegetales en la zona de estudio</i>	59
Tabla 8 <i>Peso inicial de las muestras frescas y secas para calcinación</i>	60
Tabla 9 <i>Peso inicial de las muestras frescas y secas para calcinación</i>	61
Tabla 10 <i>Peso final de muestras post calcinación</i>	62
Tabla 11 <i>Bioconcentración de metales pesados en especies vegetales</i>	63
Tabla 12 <i>Bioconcentración de metales pesados en Rumex crispus L.</i>	64
Tabla 13 <i>Bioconcentración de metales pesados en Rapistrum rugosum</i>	65
Tabla 14 <i>Bioconcentración de metales pesados en Jarava ichu</i>	67
Tabla 15 <i>Bioconcentración de metales pesados en Aldama helianthoides</i>	68
Tabla 16 <i>Bioconcentración de metales pesados en Senecio richii</i>	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Great Panther Coricancha S.A.C (Mina) Relieve</i>	54
Figura 2 <i>Carretera Centrar en dirección a Great Panther Coricancha</i>	54
Figura 3 <i>Great panther coricancha</i>	55
Figura 4 <i>Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Rumex crispus L.</i> ..65	
Figura 5 <i>Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Rapistrum rugosum</i>	66
Figura 6 <i>Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Jarava ichu</i>	67
Figura 7 <i>Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Aldama helianthoides</i>	68
Figura 8 <i>Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Senecio richii</i>	70
Figura 9 <i>Visita a la unidad minera Coricancha</i>	90
Figura 10 <i>Ubicación de zona de relaves mineros</i>	90
Figura 11 <i>Visita a la zona de relaves mineros</i>	91
Figura 12 <i>Toma de muestra de suelos</i>	92
Figura 13 <i>Muestreo de especies identificadas</i>	92
Figura 14 <i>Muestreo completo de la especie H1</i>	93
Figura 15 <i>Rotulado de la especie H1 para su identificación</i>	93
Figura 16 <i>Muestreo completo de la especie H2</i>	94
Figura 17 <i>Identificación de la especie H2</i>	95
Figura 18 <i>Ubicación de la especie H3</i>	95
Figura 19 <i>Muestreo completo de la especie H3</i>	96

Figura 20 <i>Muestreo completo de la especie H4</i>	96
Figura 21 <i>Rotulado de la especie H3 para su identificación</i>	97
Figura 22 <i>Identificación de la especie H4</i>	97
Figura 23 <i>Muestreo completo de la especie H5</i>	98
Figura 24 <i>Identificación de la especie H5</i>	98

RESUMEN

La presencia de mineras en el Perú que no siguen las regulaciones para la protección del ambiente ha motivado la ejecución de esta investigación donde se pretende mostrar la validez y efectividad de las plantas en su función de especies como Bioindicadores y Fitorremediadoras de metales pesados en suelos impactados por la minera Coricancha en San Mateo, Perú. El objetivo fue evaluar la bioconcentration de especies vegetales como indicadores de metales pesados en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo, el cual sugirió aplicar una metodología basado en el protocolo de monitoreo de suelos y vegetales. Los resultados de metales en suelos registraron para el As, Pb y Cd niveles de 395.7, 1496.27 y 26.79 mg/Kg respectivamente excediendo en todos los casos los Estándares de Calidad Ambiental, mientras que para el Cu, Fe y Zn se registraron niveles de 671.4, > 20000 y > 5000 mg/Kg respectivamente para quienes no hay Estándares de Calidad Ambiental. Se concluyó que la especie *Rapistrum rugosum* alcanzó la mayor bioconcentration de metales pesados (Pb, Cu y Zn) en la raíz de 998.38 mg/Kg, mientras que la especies *Rumex crispus* y *Senecio richii* alcanzaron la mayor bioconcentration de metales pesados (Plomo, Cobre, Cadmio y Zinc) en el tallo con 293.1 y 315.48 mg/Kg respectivamente; y finalmente las especies *Rapistrum rugosum* y *Senecio richii* alcanzaron la máxima concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) en la hoja con 820.29 y 987.73 mg/Kg respectivamente.

Palabras Clave: Bioconcentration vegetal, metales pesados, bioindicadores, fitorremediación.

ABSTRACT

The presence of mining companies in Peru that do not follow the regulations for the protection of the environment have motivated the execution of this research where it is intended to show the validity and effectiveness of the plants in their function as species as Bioindicators and Phytoremediators of heavy metals in soils impacted by the Coricancha mining company in San Mateo, Peru. The objective was to evaluate the bioconcentration of plant species as indicators of heavy metals in soils adjacent to the Coricancha mining unit in San Mateo, which suggested applying a methodology. The results of metals in soils recorded for As, Pb and Cd levels of 395.7, 1496.27 and 26.79 mg/Kg respectively, exceeding the Environmental Quality Standards in all cases, while for Cu, Fe and Zn, levels of 671.4, > 20000 and > 5000 mg/Kg respectively were recorded for which there are no Environmental Quality Standards. It was concluded that the species *Rapistrum rugosum* reached the highest bioconcentration of heavy metals (Pb, Cu and Zn) in the root of 998.38 mg/Kg, while the species *Rumex crispus* and *Senecio richii* reached the highest bioconcentration of heavy metals (Lead, Copper, Cadmium and Zinc) in the stem with 293.1 and 315.48 mg/Kg respectively; and finally, the species *Rapistrum rugosum* and *Senecio richii* reached the highest concentration of metals

Keywords: Plant bioconcentration, heavy metals, bioindicators, phytoremediation.

I. INTRODUCCION

Muchos suelos han venido siendo impactados negativamente por descargas de diferentes tipos de residuos provenientes de actividades de origen minero, si bien es cierto éstos generan importantes beneficios económicos también causan degradación del entorno visual, alteran las fuentes de recursos hídricos, contaminan los suelos y provocan pérdida de la producción agrícola (Dang et al. 2018). Uno de todos los problemas existentes que conllevan a una disminución de la calidad ambiental y alteración de la salud es la acumulación de metales traza en el suelo, aguas superficiales y subterráneas que se originan en la minería. Metales como Arsénico, Plomo, Mercurio y Cadmio, son liberados de los desechos mineros como el oro, caolín, arcilla, diatomita, bauxita, etc., y pueden tener impactos negativos sobre la calidad ambiental. Los residuos de origen minero se pueden clasificar en dos categorías principales: Los relaves mineros, generados durante procesamiento del mineral, y la roca estéril, obtenida al descubrir el yacimiento (Ali et al. 2017).

La toxicidad de los metales traza por causa de las actividades mineras afectan a los ecosistemas naturales a través de la cadena trófica o alimentaria y causa problemas de salud en personas y animales (El Khalil et al. 2008). El metal traza generalmente tienen una alta toxicidad a un umbral de concentración bajo, presentan un largo tiempo de residencia y una biodisponibilidad persistente (Jiang et al. 2017). Los elementos vitales para plantas, microorganismos o animales se necesitan en reducidas concentraciones y, por lo tanto, se conocen como traza, elementos o micronutrientes. Los metales y metaloides no esenciales son fitotóxicos y/o zootóxicos y son comunmente conocidos como “elementos tóxicos” (Verkleij y Prast 1990; Ashraf et al. 2010).

Los metales pesados son generalmente no biodegradables y por lo tanto tienden a acumularse en el ambiente y en los tejidos corporales de los organismos vivos

(Bioacumulación), su concentración puede aumentar a medida que superan los niveles tróficos inferiores a superiores, un fenómeno conocido como biomagnificación (Ali et al. 2013).

Si bien es cierto que los metales pesados pueden ser absorbidos por los hiperacumuladores, estas plantas no son adecuadas para todo tipo de sitios mineros. Los relaves mineros en lugares mineros no recuperados generalmente siguen sin poder sustentar la vida vegetal durante decenas a cientos de años, y los relaves en la superficie pueden extenderse a lo largo de decenas de hectáreas a través de la dispersión eólica y erosión hídrica, que puede suponer amenazas especiales para la salud de personas y plantas (Cobb et al. 2000; Gonzales y Gonzalez-Chavez 2006). Por lo tanto, la fitoextracción no es adecuada para dichos sitios, por el contrario, la fitoestabilización se centra principalmente sobre el secuestro de metales dentro de las raíces y la rizosfera (Mendez y Maier, 2008).

Una estrategia de remediación crea un límite vegetativo a largo plazo mediante la estabilización y contención de relaves. Las marquesinas de plantas sirven para reducir la dispersión eólica, mientras que las raíces de las plantas previenen la erosión hídrica, inmoviliza metales pesados por adsorción o acumulación y proporciona una rizosfera donde los metales precipitan y estabilizan (Boularbah et al. 2006; Santibañez et al 2008). En consecuencia, la fitoestabilización tiene una gran importancia práctica y flexibilidad en la restauración ecológica de relaves mineros y remediación de suelos contaminados por metales pesados.

No obstante, se tiene poca información acerca de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos de las plantas potenciales para la estabilización de metales y su tolerancia, por lo que se quiere en la presente investigación dar a conocer las especies vegetales capaces de crecer y desarrollarse en zonas impactadas por la minería y que tengan la capacidad de bioconcentrar metales que puedan ser utilizadas como bioindicadores o especies Fitorremediadoras.

1.1. Descripción y Formulación del Problema

1.1.1. Descripción del Problema

En los últimos años la problemática de la contaminación de suelos ha adquirido mayor relevancia. Esto se debe a que organizaciones como la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO] han realizado investigaciones que revelan cómo el aumento de la concentración de los contaminantes encontrados en el suelo está arriesgando la salud de la humanidad; puesto que estos influyen perjudicialmente en la cadena alimentaria (El Comercio, 2018). De acuerdo a la FAO (2018), la contaminación de los suelos produce una reacción en cadena. Esto se debe a que en un primer momento esta situación se refleja al modificar la biodiversidad del suelo (causa la disminución de materia orgánica e interrumpe su función de filtración), infecta el agua almacenada y el agua subterránea, lo cual termina causando un desequilibrio de sus nutrientes.

Dentro de este contexto se destacan como unos de los principales contaminantes encontrados en la superficie los metales pesados (Zn, Ni, Co, Cu, As, Cd, Pb, Cr y Hg) y los metaloides (Pb, Cd, Cu, Hg, Sn y Zn), estos se distinguen por su alto nivel de toxicidad, la persistencia y la complejidad que tienen para ser eliminados del ambiente (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019). A esto se le añade situaciones como la que señalan López y Morales (2022), quienes mencionan que actividades industriales (especialmente la actividad minera; ya que, ocasiona la destrucción de los suelos naturales y da origen a nuevos suelos defectuosos), domésticas y ganaderas influyen en este proceso de contaminación por dos motivos: disminuyen los servicios ecosistémicos propios del suelo e incrementan la concentración de contaminantes.

Es así como, por toda esta situación ha ocasionado que se busquen alternativas novedosas y adaptables al ambiente para poder así lograr evaluar la calidad del suelo, dentro de ellas se ha logrado establecer cómo las plantas; a través de su respuesta fisiológica a los

metales pesados, pueden ser una herramienta viable para este procedimiento (López y Morales, 2020). Las plantas que intervienen en este proceso son denominadas indicadoras o bioindicadores ambientales, y, han demostrado los siguientes hallazgos: establecen niveles de calidad el agua y suelo, demuestran resultados positivos para evidenciar y monitorear cambios en la biosfera, y permiten realizar un diagnóstico para conocer el valor ecológico de las especies y su valor en la indicación de las condiciones del medio (Huaranga et al., 2021).

Algunas consideraciones previas para emplear las plantas como indicadores ambientales son los siguientes: evaluar las tolerancias ecológicas, establecer los requisitos de las especies y su posición de adaptación para resistir contaminantes agudos y crónicos a la vez, llevar a cabo estudios que permitan saber los niveles que tolera una especie a una sustancia o a una mezcla de ellas (Díaz y Blanco, 2022). Además, las plantas posibilitan un proceso complementario que permite minimizar la presencia de estos contaminantes, la fitorremediación. Este método es definido como una técnica para rescatar suelos contaminantes mediante el uso de plantas y microorganismos para llevar a cabo procesos tales como filtrar, remover, degradar, volatizar y estabilizar los contaminantes encontrados en la superficie (Mendarte y Alarcón, 2021).

Es por todo la situación mencionada anteriormente sobre el incremento de la contaminación del suelo, la gran existencia de mineras en el Perú que no siguen las regulaciones para la protección del ambiente (sumado al impacto negativo y la falta de compromiso con las comunidades en las cuales se encuentran los principales centros mineros) y la necesidad de mantener un estado empírico actualizado sobre la problemática, que se encuentra relevante llevar a cabo la presente investigación sobre la validez y efectividad de las plantas en su función como bioindicadores de los contaminantes de suelos afectados por la minera Coricancha en San Mateo, Perú.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema General.

- ¿Cómo es la bioconcentración vegetal por metales pesados en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo, 2023?

1.1.2.2. Problemas Específicos.

- ¿Cuáles serán las concentraciones de metales pesados en los suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo?
- ¿Cuáles serán las especies vegetales con capacidad de bioconcentración de metales pesados y como indicadoras de contaminación en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo?
- ¿Cómo serán los niveles de bioconcentración de metales pesados en raíz, tallo y hojas en las especies vegetales indicadoras de contaminación en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Internacionales

Espinoza y Vallejo (2019), en su estudio plantearon determinar la absorción y bioacumulación de metales pesados de 3 especies vegetales alojadas en la Amazonía del Ecuador en relaves de mina. Dentro de la metodología se procedió a calcular los niveles de metales pesados existentes en mencionado relave, a través del Análisis de Absorción Atómica, donde se consideró 10 metales a estudiar; para luego ser tratado con las especies vegetales *Flemingia macrophylla*, *Pennisetum purpureum* y *Brachiara brizantha*, el crecimiento de las plantas se determinó en función al monitoreo de cada semana del desarrollo de morfología y fisiológica. Obteniendo como resultado que hay variaciones significativas entre los niveles de los 10 metales en los factores de bioconcentración en la raíz, bioconcentración en la parte aérea y factor de traslocación. Concluyéndose que dichos metales pesados que más se han acumulado

son el Cd en las raíces y el Pb en la zona aérea de la planta; mientras que el que se trasladó de la raíz a la parte aérea es el As, es así que la especie vegetal con mayor eficiencia fue la *Flemingia macrophylla* puesto que tuvo mejor concentración de metales bioacumulados en la parte vegetativa de las plantas.

Balali-Mood et al. (2017), en su artículo científico, plantearon como objetivo evaluar la contaminación por Hg, Fe y Cu en suelos agrícolas, y su influencia con las propiedades químicas del suelo a través de un análisis multivariado. Dentro de la metodología se tiene que la zona a estudiar fue un área de 1,4 ha situado a 5 km aguas abajo del vertido de la mina El Alacrán sobre la quebrada Valdéz, se recolectaron 25 muestras de suelo dispersadas en las zonas eriales y cultivadas, con una densidad de 17,8 muestras/ha. Obteniendo como resultados elevados niveles de Fe y Cu, y mínimas para el Hg, mostrando contaminación por Cu en los suelos agrícolas con de Cu que sobrepasan los niveles máximos permisibles de todas las normas internacionales; lo que difiere de la concentración de Hg que no manifestó polución. Concluyéndose que las propiedades químicas de pH, MO y CICE estabilizan la concentración de los metales Cu y Fe en el suelo, de todos los modos posibles como para las disponibles.

Lago (2018), en su investigación planteó como objetivo: Evaluar y comparar la capacidad de diferentes plantas para absorber diversos agentes metálicos. Dentro de la metodología se seleccionó 4 sitios contaminados de Galicia con distintos metales: una cantera de serpentinita sin actividad extractiva; una mina de Cu a tajo abierto, abandonada, otra mina abandonada de Pb/Zn y una galería y un campo de tiro deportivo situado en Lugo, la primera etapa trato del estudio de los suelos de la antigua cantera de serpentinita donde se presencia muchas zonas de escombreras y de materiales obtenidos de actividades de explotación y luego abandono, con el fin de conocer la biodisponibilidad de EPTs en el área y de evaluar el potencial de la vegetación espontánea para su fitorremediación y/o fitoestabilización. Obteniendo como resultados que los suelos estudiados presentaron un ph básico, con poca

presencia de materia orgánica y nitrógeno, saturados en bases y con proporciones Ca/Mg mínimas; así mismo todos los suelos poseen elevadas concentraciones de Co, Cr y Ni (> 70 , > 1300 y > 1300 mg/kg, respectivamente) los cuales sobrepasan los límites máximos establecidos para diferentes guías referenciales. Concluyéndose que en dichos suelos el método LMWOA es el que mejor muestra la presencia de Co, Cr y Ni, y que la especie *Festuca rubra*, L. es fitoestabilizadora de Co y Ni y acumuladora de Cr, y la especie *Juncus* sp. es ideal para la fitoestabilización de Co, Cr y Ni.

Guzmán (2015), en su estudio, planteó como objetivo: conocer la concentración de metales pesados y As en las especies *Nicotiana glauca* y *Opuntia lasiacantha*, a través de la relación del sistema jal-suelo; estas especies vegetales mostraron una afinidad resistente a los metales pesados provenientes de los depósitos de jales de minerales de mina La Negra. Se procedió a recolectar plántulas de estas especies para luego trasplantadas a macetas que presentaban jal cubierto de suelo; las plantas crecieron y se desarrollaron, en condiciones ambientales libres durante 21 meses. Luego se procedió a determinar el As, Cd, Co, Pb y Zn existentes en las partes aéreas de la *N. glauca* así como en la penca y raíz de *O. lasiacantha*. Obteniendo como resultado que la especie *Nicotiana glauca* acumulo As y Cd en mayor concentración en la hoja mientras que el Cu, Pb y Zn se depositaron en tallo y hoja comprobando así que la especie acumula As y metales pesados en su parte aérea considerándose así una especie de extracción; mientras que la *Opuntia lasiacantha* no retuvo As ni Cu en ningún sistema, a los 7 meses, presentó acumulación hasta los 21 meses, pero solo en la raíz. Por otro lado, el Cd, Pb y Zn se acumularon en penca y raíz, desde los primeros meses; por lo cual dicha especie es considerada como estabilizadora para ciertos elementos y según sea el tiempo de contacto. Concluyéndose que el Zn se encuentra en las 2 especies en niveles elevados como consecuencia de sus funciones como nutriente, mientras que el Pb en ambas especies posee acumulación en un lapso mayor a diferencia de otros metales.

Alcalá (2013), en su artículo, planteó calcular la concentración de metales pesados en *Prosopis laevigata*, *Acacia* spp. y *Schinus molle* bajo el efecto de usos suelo y temporalidad. Dentro de la metodología se procedió a tomar muestras de hojas de las 3 especies en las 4 estaciones del año, y se determinó la concentración de metales pesados mediante la técnica de ICP-MS. Los resultados de los análisis arrojaron niveles de $Al > Zn > Pb > Cu > Ti > V > As > Cr > Cd > Co$. Los elementos Al, As, Cd, Cr, Pb y Ti obtuvieron valores superiores al umbral normal en vegetación. El uso de suelo logró un efecto significativo con Al, Ti, Cd, As y Pb; los árboles situados en los usos de suelo minero, comercio y servicios lograron máximas concentraciones. La especie obtuvo efecto significativo con Al y Pb siendo *Acacia* spp. el que alcanzó la mejor capacidad de acumulación. Concluyéndose que la dinámica antropogénica de los diversos usos de suelo produce partículas y residuos con metales pesados alterando la disponibilidad y bioacumulación en las especies evaluadas.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Bao (2024), en su estudio evaluó la concentración de metales pesados en suelos agrícolas y en *L. meyenii* (maca) de Junín y Carhuamayo. Dentro de la metodología recolectó muestras de *L. meyenii* y suelo en 5 cultivos de cada distrito y las analizó para determinar la concentración con un espectrofotómetro de absorción atómica. Obteniendo para el suelo con cultivo valores de metales pesados en el siguiente orden $Fe > Zn > Pb > As > Cd$, estando todas las concentraciones inferiores a los estándares; mientras que, para la maca, el As, Fe y Zn no superaron los límites establecidos en normas internacionales; pero el Cd y Pb sí sobrepasaron tenuemente los estándares. El factor de bioconcentración (BCF) en ambas variedades de maca fue $Zn > Cd > Pb > As > Fe$, ambas menores a 1; es por ello por lo que no se comporta como una especie hiperacumuladora. Concluyéndose que el BCF para As y Cd poseen un grado de acumulación media ubicándose dentro de los niveles de 1 a 0.1mg/kg para las dos variedades y para Pb, Zn y Fe ($BCF < 0.1$) es escasa.

Castro y Soto (2023), en su investigación determinaron el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en plantas altoandinas para suelos de un Pasivo Ambiental Minero situado en Quiulacocha – Pasco. Dentro de la metodología se tiene una investigación básica de enfoque mixto y diseño es no experimental transversal descriptivo, dentro del cual se realizó la recolección de muestras en campo no probabilístico considerándose la técnica de hoyos para la recolección de las muestras cumpliendo con la Guía para Muestreo de Suelos del MINAM. Se tomó las muestras en 3 puntos 1 muestra por suelo rizosférico de la planta) luego se realizó el cuarteo y el muestreo de la planta fue a criterio de forma que cada planta se eligió al verla que no presente características de fitotoxicidad (clorosis) y parecidas alturas de la planta; las muestras de los tejidos vegetales se tomaron del PAM de Quiulacocha, teniéndose 6 muestras de la parte aérea y 6 muestras de la raíz de la planta *Stipa ichu*. Se llevaron las muestras a laboratorio para analizarlas, obteniéndose como resultados promedios para dicha planta: la parte aérea presenta 6.8 mg/kg de Arsénico, 0.6 mg/kg de Cadmio, 12.2 mg/kg de Cobre, 20.7 mg/kg de Plomo y 86.6 mg/kg de Zinc; la raíz presenta 83.9 mg/kg de Arsénico, 6.4 mg/kg de Cadmio, 278.6 mg/kg de Cobre, 219.2 mg/kg de Plomo y 748.9 mg/kg de Zinc; y en el suelo 749.99 mg/kg de Arsénico, 22.91 mg/kg de Cadmio, 256.61 mg/kg de Cobre, 1474.84 mg/kg de Plomo y 2076 mg/kg de Zinc. Concluyéndose que el factor de biococentración y de traslocación; clasifican el factor de traslocación como Fitoacumuladora para Cu en la parte de la raíz.

Huaranga et al. (2021), en su artículo menciona que la perturbación ecológica se da por las áreas terrestres contaminados por metales pesados producido en relaves mineros; para lo cual se necesita un inventario de especies de plantas vasculares que indican la contaminación y con capacidad fitorremediadora. Dentro de la metodología empelada se realizó la prospección de la flora lo cual se llevó a cabo mediante la antesis (floración) y fructificación en 2 zonas de disposición de relaves mineros del distrito de Samne, La Libertad; el muestreo de cada taxón

vegetal se realizó de modo no probabilística en cada depósito de relaves, mientras que el proceso de recolección y herborización se llevó a cabo mediante la metodología y técnicas convencionales; se tomó muestras de material de relave a una profundidad de 30 cm de los dos depósitos de relaves para determinar 26 elementos por ICP. Logrando como resultados identificar 52 especies de plantas, destaco la Clase Equisetopsida con 9 Órdenes y una mejor representación del orden Poales y Caryophyllales; así como de 11 Familias donde la Familia Poaceae es la que destaca. Mientras que, en el ambiente siguiente, se hizo el inventari de una sola Clase (Equisetopsida), 11 Órdenes con una mejor representación del orden Solanales; así como de 13 Familias donde las Familia Asteraceae y Solanaceae sobresalen. Concluyéndose que de 26 elementos químicos analizados del material de relave de quebrada Cushmun, 13 superan los límites permisibles para suelos según la normativa actual, sobresaliendo el Fe (54825 mg/kg), Al (3582 mg/kg), Pb (3416 mg/kg) y As (1874 mg/kg).

Guere et al. (2022), en su artículo científico evaluó los problemas ambientales de los niveles de Pb y Hg del sitio minero Coricancha, la metodología empleada se basó en evaluar 3 indicadores de la muestra para el suelo y 2 indicadores de la muestra para agua; todos los resultados fueron comparados con los ECA. Se empleó métodos analíticos EPA para determinar la identidad y concentración de un componente específico de las muestras. Obteniéndose como resultados para el suelo la presencia de Hg con niveles mínimos $< 0,02$ mg/Kg y para Pb valores entre 77,19-96.01 mg/Kg, mientras que los resultados para el agua indican presencia de Hg con niveles mínimos $< 0,001$ mg/L y para Pb niveles mínimos $< 0,006$ mg/L, estos niveles hallados están dentro de los límites permisibles establecidos por los parámetros de calidad de suelo para uso industrial. Concluyéndose que en la calidad de suelos las concentraciones de Hg no sobrepasan los ECAs para suelo de uso industrial y el valor máximo normado es 24 mg/kg estos niveles de Hg son menores $< 0,02$ mg/kg, mientras que

para el Plomo se tiene niveles de 78.02 mg/kg, 77.19 mg/Kg, 96.01 mg/kg, establece como nivel máximo para el Pb presente en los suelos 800 mg/kg.

Hurtado (2013), en su investigación planteó como objetivo determinar la presencia de metales nocivos como: Pb, As, Zn y Si, quienes están presentes en grandes concentraciones en ríos y suelos del distrito de Huachocolpa. La recolección de las muestras de suelos se dio en 4 puntos, y en distintas profundidades, en áreas aledañas al río Huachocolpa, se llevó a cabo por difracción de rayos X (DRX), donde se observó la existencia de fases típicas del suelo, como el cuarzo, albita, muscovita/illita. El análisis de fluorescencia de rayos X de energía dispersiva (FRX-ED) reveló que el Fe, Pb y AS están en niveles elevados. Así mismo se realizó la cuantificación por absorción atómica, donde los niveles en ppm están en 67.45 ppm para Pb, con un PH en la muestra del punto 4 en medio ácido. Por último, por Espectroscopia Mössbauer (EM), las muestras Pto1, Pto2 y Pto3 revelan 2 sextetos magnéticos asociados a sitios de Fe^{3+} , lo cual indica la existencia de hematita a RT, y de hematita más Goethita a LN, estos espectros indican dos dobletes paramagnéticos, tanto a RT y LN asociados a sitios de Fe^{2+} y Fe^{3+} , que demuestran la existencia de: Óxidos de Fe y minerales de arcilla. En el Pto4 a RT, se manifiesta un sexteto magnético asociado a Fe^{3+} , el cual revela existencia de hematita y tres dobletes paramagnéticos asociados a sitios de Fe^{2+} y Fe^{3+} que indican existencia de arcilla.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la bioconcentración de especies vegetales como indicadores de metales pesados en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo, 2023.

1.3.2. Objetivo Específicos

- Determinar las concentraciones de metales pesados en los suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.
- Identificar las especies vegetales con capacidad de bioconcentración de metales

pesados e indicadores de contaminación en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.

- Determinar los niveles de bioconcentración de metales pesados en raíz, tallo y hojas en las especies vegetales indicadoras de contaminación en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.

1.4. Justificación

Desde el punto de vista teórico, los indicadores de contaminación son utilizados en diferentes ambientes a fin de brindar información sobre un determinado elemento, sustancia o compuesto de interés. El uso de indicadores vegetales son ampliamente estudiados, ya que nos proporcionan información sobre la presencia de determinados elementos en el ambiente, los metales pesados son considerados tóxicos para muchos organismos y son de naturaleza bioacumulativa, sin embargo existen especies vegetales que son tolerantes a la presencia de metales y pueden acumular concentraciones en diferentes niveles por lo que su desarrollo y crecimiento en zonas cercanas a unidades mineras nos pueden servir como indicadores de contaminación.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación será desarrollada en base a un protocolo de monitoreo ya establecido por el sector competente (MINAM), el cual considera un procedimiento ordenado de toma de muestras de suelos, teniendo en cuenta el área a monitorear y los puntos de monitoreo. Terminada la fase de campo se continuará con la fase experimental de laboratorio donde también se considera un procedimiento o métodos estandarizados para análisis de muestras de suelos.

Socialmente la investigación se justifica en la protección de los pobladores ante la presencia de metales pesados en lugares cercanos a sus actividades diarias, que pueden estar siendo impactados por actividades de origen minero, en tal sentido los indicadores vegetales

permitirán dar a conocer posibles lugares que presenten metales pesados como consecuencia de algunas actividades de origen minero.

Desde el punto de vista ambiental los indicadores vegetales nos permitirán dar a conocer zonas de posible presencia de metales pesados que puedan causar problemas de toxicidad en los diferentes organismos tanto vegetales, animales, así como también al hombre mismo, a fin de tomar las mejores medidas de cuidado y protección.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

Las especies vegetales en estudio alcanzan niveles elevados de bioconcentración de metales pesados en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo, 2023.

1.5.2. Hipótesis Específicos

- Los niveles de metales pesados se encuentran elevados en los suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.
- Ciertas especies vegetales tienen la capacidad de alcanzar elevados niveles de bioconcentración en los suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.
- Los niveles de metales pesados se bioconcentran en raíz, tallo y hojas en las especies indicadoras de contaminación en suelos de la unidad minera Coricancha en San Mateo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Teorías Relacionadas al Tema de Investigación

2.1.1. Metales Pesados

Los metales pesados sustancias químicas que tienen una densidad igual o mayor a 5 g/cm³ si se encuentran en su forma elemental, o cuyo número atómico supera a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Algunos metales son necesarios para los organismos en cantidades mínimas, como el Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni o Mo, pero se convierten en tóxico cuando se encuentran en grandes concentraciones, mientras que otros no presentan alguna función biológica, siendo grandemente dañinos como el Cd, Hg o el Pb (Torres, 2018).

2.1.2. El Suelo

El suelo es una parte superficial de la corteza terrestre, no consolidada y biológicamente activa, formada por cambios físicos y químicos en la superficie de las rocas, como la meteorización y la acción biológica. El suelo es una entidad natural compuesta de minerales, materia orgánica, agua y gases, cuyas propiedades y origen son el resultado de la acción de factores activos como el clima, la biología, la topografía y el tiempo sobre un material pasivo: la roca madre. Sus funciones incluyen: sustentar la vegetación y muchas formas de vida, servir como base para la infraestructura humana, almacenar carbono en forma de materia orgánica, regular el clima y el ciclo de nutrientes, purificar el agua y reducir el contenido o la toxicidad de ciertos contaminantes del suelo mediante procesos de filtración, degradación, neutralización, inactivación y regulación de la concentración y almacenamiento del entorno hidrológico.

El suelo es un recurso no renovable, y su sobreexplotación y mal uso han provocado cambios graves, agravando la pérdida de suelo por erosión y contaminación. Desde la Revolución Industrial, la degradación de la tierra ha aumentado debido al aumento desproporcionado del uso y la explotación de la tierra debido a la concentración de la

población en grandes centros urbanos; Esto da lugar a la generación de grandes cantidades de residuos de toda variedad, que se almacenan en lugares inadecuados y sin ningún control. Después de la Segunda Guerra Mundial, estos problemas se vieron exacerbados por el continuo crecimiento demográfico, que condujo a la introducción de políticas agrícolas y a una mayor explotación de la tierra para la extracción de materias primas y la producción de biomasa (Lago, 2018).

2.1.3. Presencia de Metales Pesados en los Suelos

Los metales pesados existen en el suelo como elementos naturales o como productos de actividades antropogénicas, lo que resulta en mayores concentraciones de metales pesados a profundidades de 36 a 40 cm. La existencia de metales pesados en el suelo impide la actividad de enzimas y microorganismos, disminuye la diversidad de flora y fauna, conduce a suelos estériles y favorece el proceso de erosión. Los metales se concentran en la superficie del suelo, dañando las raíces de las plantas. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben más oligoelementos y sus concentraciones en los tejidos vegetales dependen de su abundancia en el suelo, especialmente en la solución humectable. Los contaminantes son solubles en los ríos y el aire, pero tienden a concentrarse en el suelo. Esto permite que el suelo absorba la mayoría de los contaminantes, incluidos los metales. Los niveles de metales en el suelo dependen de muchos factores, incluido el pH, la presencia de arcilla, la cantidad de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.

Los metales pesados presentes en los suelos se distribuyen paulatinamente en los constituyentes de la fase sólida del suelo, esta distribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, lo cual depende de las características del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo.

Cuando la contaminación penetra al suelo, se producen muchos procesos físicos, químicos o biológicos que dan lugar a una contaminación que afecta no sólo al

suelo sino también a otros componentes del medio ambiente, a la cadena alimentaria y se transmite a la planta. Cuando los metales ingresan al suelo, pueden seguir 4 vías distintas: quedan contenidos en el suelo disueltos en solución o se unen a través de procesos de adsorción, complicación y precipitación; absorbido por las plantas y así entró en la cadena alimentaria; Entran a la atmósfera por evaporación; o entrar en aguas superficiales o subterráneas (Corpus, 2018).

2.1.4. Factores que afectan la acumulación de Metales en el Suelo

Los principales factores del suelo que modifican a acumulación y disponibilidad de los metales son:

- **pH:** parámetro que determina la movilidad de los cationes. En general, los componentes iónicos más móviles aparecen en rangos de pH más bajos. Aunque la mayoría de los metales existen en ambientes ácidos, el aumento del pH aumenta la adsorción y retención de cationes, alcanzando un máximo cerca de condiciones neutras. Las excepciones son Mo, V, Cr (III) y metaloides como As y Se, que son poco móviles en medios ácidos porque en medios alcalinos pueden volver a la solución como complejos hidrofílicos. Sin embargo, según incrementa el pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados se reduce y las concentraciones de oligoelementos en solución en suelos neutros y alcalinos son menores que en suelos ligeramente ácidos. Así, en el caso del Cd, la solubilidad aumenta al reducir el pH a partir de pH 6,5. Para Pb y Hg, la disolución inicia a pH 4, pero en otros elementos como As, Cr, Ni y Cu comienzan a disolverse a valores de pH entre 4 y 6,5. Cuando la materia orgánica forma compuestos con metales, reduce el pH liberando H. La acidificación del suelo mueve los metales y provoca que algunos se disuelvan, lo que supone un problema de contaminación al incrementar su biodisponibilidad. La reducción del pH y la presencia de aniones como Cl⁻ provocan un aumento la presencia de metales disueltos en el suelo, incluido el Ni. (Corpus, 2018).

- **Condiciones redox:** El potencial redox es el estado que hace que un metal cambie a un estado oxidado o reducido, y también es un cambio directo en la valencia de algunos metales. En particular, las condiciones de oxidación-reducción cambian indirectamente la movilidad de los metales, haciéndolos más solubles en ambientes reductores (Corpus, 2018).
- **Textura y estructura:** La estructura y la textura presentan un papel importante en la entrada, adsorción y pérdida de metales pesados del suelo. La arcilla retiene los metales pesados en su lugar y evita que entren en las aguas subterráneas. Cada mineral tiene una superficie específica y un valor de conductividad eléctrica. Estas propiedades determinan la capacidad de adsorción de estos minerales y la capacidad de reducir sus pérdidas por lixiviación. Estas propiedades son muy importantes porque los cationes quedan disponibles para la planta durante este proceso de adsorción (Corpus, 2018).
- **Materia Orgánica:** Es importante en todos los métodos de adsorción del suelo. Actúa como ligando en un complejo de intercambio, transfiriendo electrones de algunas moléculas a cationes metálicos que aceptan estos electrones, creando un quelato que migra fácilmente a lo largo del contorno. La cantidad de metal asociada a la fracción orgánica del suelo depende de la naturaleza del elemento. Ciertos metales pesados, como Co, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn, tienen una alta afinidad por la materia orgánica y forman complejos solubles e insolubles. La complicación de la materia orgánica del suelo es un proceso que controla la solubilidad y la tasa de bioadsorción de los metales pesados. La estabilidad de los complejos formados con sustancias orgánicas aumenta a valores de pH más elevados debido a la mayor ionización de los grupos funcionales. La toxicología de metales pesados depende de su capacidad de generar complejos organometálicos, que facilitan su solubilidad, disponibilidad y dispensabilidad. El rol de los organismos del suelo también es relevante para la estabilidad o degradación de los complejos organometálicos (Corpus, 2018).

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** La CIC de un suelo depende de la superficie de adsorción, que está determinada por el nivel y tipo de arcillas, materia orgánica y óxidos de Fe, Al y Mn. A mayor presencia de arcilla, mayor será la CIC y, por lo cual incrementará la capacidad del suelo para retener metales sin volverse potencialmente peligroso, ya que la solubilidad y la movilidad de los metales intercambiables son limitadas. La capacidad de adsorción de varios metales pesados está en función a su valencia y del radio de los iones hidratados; cuanto mayor sea el tamaño, menor será la valencia y menor la fuerza de retención (Corpus, 2018).
- **Carbonatos:** La existencia de carbonatos proporciona un nivel de pH más alto, lo que precipita los metales pesados. El Cd y otros metales son fácilmente adsorbidos por los carbonatos (Corpus, 2018).
- **Salinidad:** La salinidad normalmente aumenta el pH del suelo y al incrementarse este puede promover la activación de metales pesados a través de dos mecanismos. En primer lugar, los cationes unidos a la sal (Na, K) pueden sustituir a los metales pesados en los sitios de adsorción y, en segundo lugar, los iones de cloruro pueden generar complejos solubles estables con metales pesados como Cd, Zn y Hg (Corpus, 2018).

Humedad de los suelos: La presencia de humedad del suelo es importante porque promueve la formación y movilidad de metales como resultado de reacciones redox. En condiciones reductoras se forman sulfuros metálicos que son extremadamente poco solubles y, por lo tanto, tienen menor movilidad y biodisponibilidad que lo esperado en condiciones oxidantes (Corpus, 2018).

- **Humedad de los suelos:** La salinidad normalmente aumenta el pH del suelo y al incrementarse este puede promover la activación de metales pesados a través de dos mecanismos. En primer lugar, los cationes unidos a la sal (Na, K) pueden sustituir a los metales pesados en los sitios

de adsorción y, en segundo lugar, los iones de cloruro pueden generar complejos solubles estables con metales pesados como Cd, Zn y Hg (Corpus, 2018).

2.1.5. Plantas en Zonas Contaminadas por Metales

El suelo contaminado con metales puede sustentar una colonización de plantas a gran escala durante varios años, y algunas áreas pueden incluso albergar comunidades de especies grandes y diversas que pueden o no ser fitogeográficamente distintas de la vegetación circundante en el suelo no contaminado.

No obstante, es importante saber si las especies son naturalmente resistentes a los metales, aún si no crecen en suelos contaminados, y por lo tanto tienen el potencial de colonizar zonas contaminadas.

Las consecuencias toxicológicas de los de los metales pesados en las plantas están en función a su disponibilidad para los organismos, y sus respuestas bioquímicas y fisiológicas pueden incluir el impedimento de la fotosíntesis y la respiración, alteración de las condiciones del agua, marchitamiento, bloqueo de enzimas o del transporte de nutrientes y reemplazo de biomoléculas básicas.

Los síntomas evidentes en plantas cultivadas en suelos con grandes concentraciones de metales incluyen crecimiento reducido y amarillamiento de las hojas (deficiencia de clorofila).

La toxicidad a menudo es causada por la semejanza de los metales con diversos elementos esenciales que los reemplazan funcionalmente. Interfieren con varias moléculas (especialmente proteínas, lípidos y nucleótidos) bloqueando sus grupos funcionales, cambiando su composición o simplemente variando su integridad. La retención de metales en el suelo determinará su disponibilidad relativa para las plantas. Con el tiempo, la disponibilidad de metales disminuye a medida que se fijan en sitios de adsorción más fuertes

Todas las plantas absorben metales del suelo en el que crecen, pero en distintos grados según sea la especie de planta, las características del suelo y la concentración de metales. Cuando se exponen a los metales de su entorno, las plantas pueden adoptar diferentes estrategias.

Algunas bacterias desarrollan resistencia a los metales al utilizar estrategias efectivas de exclusión de metales que limitan su transporte a partes aéreas.

Otros prefieren acumular metales en partes aéreas de un modo que no sea tóxico para las plantas. La exclusión fue característica de las especies sensibles y tolerantes a los metales, mientras que la acumulación fue más común en especies que se encontraban consistentemente en suelos contaminados o ricos en metales.

Así tenemos la siguiente clasificación de los taxones hallados en suelos contaminados como plantas metalófitas, pseudometalófitas y metalófitas accidentales:

Tabla 1

Clasificación de Taxones presentes en Suelos Contaminados

Nombre	Descripción
Plantas Metalofitas	Estas plantas han desarrollado mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos con un elevado nivel de metales. Se encuentran solo en suelos con altas concentraciones de metales pesados; por lo cual, son endémicas de zonas con afloramientos naturales de minerales metálicos. Tienen una distribución geográfica muy limitada y en algunos casos han sido recolectadas en pocas ocasiones.

Plantas Pseudometalofitas	Son plantas con un ámbito de distribución más extenso y que por la presión selectiva son capaces de sobrevivir en suelos metalíferos. Estas plantas pueden encontrarse en suelos contaminados y no contaminados en la misma región
Plantas Accidentales	Metalofitas Son plantas que presentan claros efectos de estrés causado por la presencia de metales pesados

2.1.6. Absorción y Transporte de Metales en las Plantas

Las plantas se encuentran expuestas a los metales generalmente mediante la fase acuosa del suelo y tienden a absorberlos, pero la eficiencia de absorción está en función a su biodisponibilidad. La fracción biodisponible de metal es la relación de metal en forma iónica presente en la solución del suelo y depende de factores físicos y químicos. así mismo las raíces de las plantas pueden cambiar el pH del suelo y exudar compuestos que ligan metales, denominados fitometalóforos que facilitan su solubilidad y absorción (Corpus, 2018).

Las plantas atrapan sustancias tóxicas de diferentes formas, esto se da con transportadores específicos que se encuentran en sus raíces con una gran capacidad de absorción de diferentes contaminantes. La absorción de los nutrientes para su incorporación al vegetal depende de la especie vegetal, la cual determina la superficie radical efectiva y la exploración mayor o menor del suelo, así como las diferencias metabólicas entre las especies (Corpus, 2018).

Los metales, el agua y otros nutrientes ingresan a la planta por las raíces, entran a las células vegetales y se distribuyen a varios compartimentos subcelulares mediante proteínas de transporte en la membrana de cada compartimento. No obstante, estos transportadores no son específicos para cada metal, lo que puede ocasionar 2 tipos de problemas: el primero es que

incorporan metales nocivos para la planta y, el segundo, que acumulen metales en exceso limitando el acceso de otros metales a la célula.

Cuando hay metales presentes en las raíces, la movilidad de los metales al interior de la planta y la ubicación de su deposición dependen del tipo de metal, la especie de planta y la edad de la planta en el momento de la exposición. Es decir, las raíces acumulan la máxima cantidad de metales, son muy móviles, lo que les permite trasladarse rápidamente a las partes aéreas de la planta. Zn y Cd son dos ejemplos de elementos móviles.

Los iones inorgánicos y el agua (savia bruta) son transportados de la raíz a las hojas a través de una serie de células tubulares que pertenecen a un tejido leñoso llamado xilema. La fuerza que mueve esta solución no proviene de las células del tejido xilemático, sino de la fuerza del proceso de ósmosis y en otra fuerza, poco común denominada como fuerza de succión (Corpus, 2018).

Todo se resume en las fases del proceso en el cual las plantas agregan y concentran metales pesados, las cuales son:

Fase I. consiste en el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, posteriormente, al interior de la célula;

Fase II. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos; y

Fase III. Implica la compartimentalización y detoxificación, procesos por los cuales, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola (Corpus, 2018).

Así se tiene la siguiente clasificación según la concentración de elemento traza que se encuentra en la parte aérea de las plantas:

Tabla 2

Clasificación de las plantas según la concentración de elementos traza presentes en la parte aérea

Nombre	Descripción
Plantas Exclutoras	Son aquellas que limitan la llegada del elemento en cuestión a la parte aérea, por lo que su concentración es baja. Cuando la concentración del tóxico en el medio es demasiado alta, la planta no puede excluirlo y se refleja una subida repentina de su concentración, lo que suele causar efectos drásticos sobre la planta
Plantas Indicadoras	Son aquellas donde la concentración del elemento en la parte aérea es proporcional a la que hay en el suelo
Plantas Acumuladoras	Son aquellas que indican una concentración elevada del elemento traza en la parte aérea, mayor que la del suelo en el que viven (Corpus, 2018).

2.1.7. Mecanismos de Respuesta de las plantas a la presencia de Metales Pesados

Gracias a la existencia de metales pesados, las plantas poseen incomparables mecanismos de respuesta, los más concurrentes son:

- Reducción
- Exclusión
- Solubilización
- Mineralización
- Acumulación
- Translocación
- Quelación.

Algunos se llaman activos porque requieren energía metabólica para seguir funcionando; Algunas son pasivas, como la absorción por repulsión. La translocación se refiere al hecho de que algunas plantas tienen la capacidad de translocar o transferir el exceso de metal a las hojas más viejas, mientras que otras restringen el transporte desde las raíces hasta los tallos (Espinoza y Vallejo, 2019).

La vacuola posee una labor importante en el almacenamiento de metales. Los iones metálicos se transportan de forma activa al interior del tonoplasto como iones libres o complejos metal molécula quelante.

La pared celular vincula la reducción de permeabilidad de la membrana celular, y en circunstancias activa la extrusión, a la absorción por orgánulos y vacuolas o complicación con agentes quelante como las proteínas, por ejemplo, metalotioneínas y fitoquelatinas (Espinoza y Vallejo, 2019).

Algunas especies vegetales poseen propiedades de "hiperacumulación", es decir, Su capacidad de almacenar elevadas cantidades de contaminantes en otros organismos, conocida como bioacumulación y/o captación, son procesos de desintoxicación.

Se considera que se presenta hiperacumulación en plantas cuando la concentración de metales acumulados en los tejidos vegetales oscila de 0,1 a 1% del peso seco de la planta, y este porcentaje está asociado a diferentes metales. Hasta la fecha, se han identificado más de 430 especies de plantas como hiperacumuladores de metales pesados, desde hierbas anuales hasta arbustos y árboles perennes.

Los hiperacumuladores son plantas que tienen mayores concentraciones de metales pesados en su biomasa que el suelo o el agua en el que crecen, mientras que las bacterias altamente tolerantes tienen mecanismos internos de desintoxicación que unen metales y metaloides en vacuolas (Espinoza y Vallejo, 2019).

Existen diversas estrategias para prevenir la concentración de metales pesados en las plantas. La parte extracelular incluye micorrizas, pared celular y exudados extracelulares. La tolerancia involucra tanto a la membrana plasmática como al citoplasma. Existen varios mecanismos potenciales en los protoplastos, como las proteínas de choque térmico o las metalotioneínas, que participan en la reparación del daño por estrés y en la quelación de metales con ácidos orgánicos, aminoácidos o péptidos, o en su descomposición durante los procesos metabólicos para su transporte a la vacuola (Espinoza y Vallejo, 2019).

2.1.8. Impactos de la Minería en los Suelos

Las actividades mineras tienen impactos ambientales significativos, incluida la pérdida de suelo natural y la creación de suelo nuevo con limitaciones químicas, físicas y biológicas.

Como consecuencias de estos procesos se presencian cambios en la estructura y textura del suelo, pérdida de capas superficiales biológicamente activas, acidificación vinculada a procesos oxidativos, disminución de la capacidad de intercambio y retención de agua, dificultades en el enraizamiento y deterioro del rebrote vegetativo (Espinoza y Vallejo, 2019).

La zona minera ubicada en Coricancha, San Mateo está impactada irreversiblemente por las actividades mineras, por lo cual se necesita contrarrestar la pérdida de la primera capa vegetal del suelo, la misma que se ha visto reflejada en la contaminación paisajística y socio económico de los moradores de la zona (Espinoza y Vallejo, 2019).

2.1.9. Tecnologías para recuperar Suelos Contaminados

Para la recuperación de suelos con presencia de contaminantes tóxicos se emplea métodos de ingeniería, generalmente tratamientos con presencia de fosfatos y que presenten un gran potencial de adsorción (zeolitas, amilicatos, etc.), adición de cal y agentes quelante (Espinoza y Vallejo, 2019).

El uso de plantas y microorganismos para remover contaminantes sin impacto ambiental se denominan tecnologías biológicas, estas tecnologías se emplean en el tratamiento de contaminantes del agua y suelo como: hidrocarburos, plaguicidas, radioactividad, y contaminantes orgánicos.

Hoy en día, las alternativas más importantes para los procesos de remediación son la bio y fitorremediación debido a varios factores como:

Económicos Capacidad de tolerancia absorción, acumulación, y degradación de contaminantes Son procesos naturales, por lo cual su impacto es mínimo (Espinoza y Vallejo, 2019).

2.1.10. Fitocorrección de Suelos Contaminados

Consiste en una gama de tecnologías basadas en emplear plantas y microorganismos para limpiar contaminantes.

Esto significa que las sustancias raras presentes en el suelo pueden estabilizarse y descomponerse en la rizosfera y acumularse o descomponerse o evaporarse en la planta. Los diversos mecanismos de fitocorrección se mencionan a continuación

Tabla 3

Mecanismos de Fitocorrección

Nombre	Descripción
Fitoextracción de Metales Pesados	Su aplicación está basada en emplear plantas que presentan una capacidad natural por encima de lo usual para absorber y concentrar en sus partes aéreas determinados metales pesados (As, Cd, Co, Ni, Se o Zn) sin desarrollar síntomas de toxicidad (Espinoza y Vallejo, 2019).

Fitoestabilización Metales Pesados	de	Las plantas ideales para utilizar en la Fitoestabilización son aquellas tolerantes a altas concentraciones de metales pero que no absorben ni movilizan los contaminantes, limitando la absorción por las raíces y/o evitando su translocación a la parte aérea ([raíz]: [suelo] < 1)
Fitovolatilización Metales Pesados	de	Proceso por el cual las plantas y la actividad microbiana asociada, mediante enzimas especializados, pueden transformar, degradar y finalmente volatilizar los contaminantes desde el suelo. La volatilización puede producirse tanto desde el sistema radicular como desde la parte superficial del suelo (Espinoza y Vallejo, 2019).
Fitoestimulación Rizodegradación Metales Pesados	o de	Proceso donde las raíces de las plantas, su microflora asociada y/o los productos excretados destruyen el contaminante en la zona radicular (Espinoza y Vallejo, 2019).
Fitodegradación Metales Pesados	de	Proceso en el cual las plantas toman el contaminante y lo metabolizan transformándolo en un material sin riesgos para el medio natural (Espinoza y Vallejo, 2019).
Rizofiltración Metales Pesados	de	Es donde algunas plantas acuáticas, de humedales, algas, bacterias y hongos, resultan ser buenos biosorbentes de metales mediante su absorción a partir de aguas contaminadas a través de sus raíces (Ej. Typha, Phragmites) (Espinoza y Vallejo, 2019).

A inicios del año 90, se conocieron perspectivas sobre el uso de plantas terrestres desarrolladas en cultivos hidropónicos, que permitía unos sistemas radiculares más extensos para “filtrar”, adsorber y absorber metales desde medios acuáticos (Espinoza y Vallejo, 2019).

2.1.11. Unidad Minera Coricancha

La Compañía Minera Leopard Coricancha está ubicada en los Andes centrales peruanos, en el distrito de San Mateo de la provincia de Huarochiri, provincia de Lima.

La fábrica y oficinas centrales están ubicadas en la carretera central, a 90 kilómetros al este de la ciudad de Lima, en el distrito de Tamboracas, junto al río Rímac y su confluencia con su afluente, el río Aruri. La instalación está situada a una altitud de 3.000 metros y la mina está situada entre 3.140 y 3.980 msnm. Las minas de Coricancha se encuentran a 90 km por la carretera principal. El depósito Coricancha de Panther Mining es un depósito polimetálico, hidrotermal, frágil y de bajo contenido de sulfuros ubicado en la andesita de la Formación Rímac. Estas vetas muestran un comportamiento de tipo presión-expansión, característico de los sistemas hidrotermales presentes en entornos estructurales compresivos y extensionales. El ancho de la veta supera los 2,0 m, el ancho medio es de 0,6 m. Se conoce que la veta se divide en dos o más ramas divididas por restos de roca (Chancasanampa, 2019).

2.2. Marco Conceptual

Acumuladora/Hiperacumuladora: La acumulación de metales en los tejidos de las plantas sobre el suelo era alta en comparación con el suelo y otras plantas que crecían cerca de ellos, con concentraciones hasta 100 veces superiores a las de otras especies (Corpus, 2018).

Factor de Bioconcentración: Expresa la eficiencia con la que una especie vegetal puede absorber un determinado elemento de los sedimentos y acumularlo en sus tejidos (Torres, 2018).

Metales pesados: Son elementos químicos con una densidad mayor a 5 g/cm³, una masa atómica mayor que la del sodio, 22,99 g/mol, y un número atómico mayor a 20 (Torres, 2018).

Planta concentradora: Es una instalación para la separación de diversos metales, cuya finalidad es procesarlos en varias etapas hasta obtener un concentrado metálico (Corpus, 2018).

Planta Fitorremediadora: Es un dispositivo utilizado para la remediación biológica de suelos contaminados, el tratamiento de aguas residuales o la purificación del aire en interiores (Corpus, 2018).**Suelo:** Es un cuerpo natural suelto conformado de sólidos (materiales minerales y orgánicos), líquidos y gases, caracterizado por horizontes o capas diferenciadas, resultado de ganancias, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia a través del tiempo, su espesor varía desde la superficie de la tierra hasta una profundidad de varios metros, y se considera un recurso natural frágil y barato por ser difícil restaurarlo o recuperar sus propiedades. Desempeña muchas funciones ambientales, económicas, sociales y culturales vitales (Torres,2018).

Suelo Contaminado: Se refiere al cambio adverso en las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo debido a factores químicos o físicos o sustancias sólidas, líquidas y gaseosas, ocasionados por la actividad natural o humana en concentraciones que representan un riesgo para la salud humana o el ambiente (Corpus, 2018).

2.3. Marco Legal Ambiental

Para el desarrollo de la investigación se tomó en cuenta las normas ambientales con relación al uso y calidad del suelo, en este sentido todas las actividades que se vayan a llevar a cabo sobre este recurso natural tienen que tener en cuenta el respeto y cuidado del Ambiente y los Recursos Naturales. Esta legislación es un conjunto normativo que tiene por objetivo el de regular la interacción del hombre con todos los componentes del ambiente natural, a fin de reducir los impactos de las diferentes actividades que el hombre lleva a cabo en el medio natural.

A continuación, en la **Tabla 4**, se muestran las principales normas ambientales relacionadas al recurso suelo:

Tabla 4

Normas Legales Ambiental en Suelos

Entidad	Norma	Detalle
Congreso de la Republica	Constitución del Perú – Título III, Capítulo II.	<i>Del Ambiente y los Recursos Naturales</i> , en su artículo 2º, inciso 22, dispone que “Toda persona presenta derecho a la paz, tranquilidad, a disfrutar del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente sano para el desarrollo de su vida”. En este mismo sentido, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º indican que los recursos naturales, renovables y no renovables son patrimonio de la Nación, siendo el Estado el promotor del uso sostenible de éstos.
Congreso de la Republica	La Ley General del Ambiente, Ley N.º 28611	El estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reúso considerando la obtención de la calidad necesaria de reúso sin alterar la salud de las personas, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan. Así mismo, regula los vertimientos autorizándolas, siempre y cuando el cuerpo receptor lo permita.
Ministerio del Ambiente	Estándar de Calidad	Indica el valor de concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos

Ambiental,	existentes en el aire, el agua o el suelo como receptores.
Art. 31	De manera que no ocasionen un riesgo para la salud o el ambiente. Según sea el parámetro se relaciona con la concentración, y puede expresarse como máximo, mínimo o rangos.
Ministerio del Ambiente	<p data-bbox="432 562 587 595">Resolución</p> <p data-bbox="432 636 627 741">Ministerial N° 085-2014-</p> <p data-bbox="432 781 627 965">MINAM Guía para muestreo de suelos</p> <p data-bbox="667 562 1393 1032">La guía para muestreo de suelos evalúa la presencia de contaminación en el suelo, la dimensión (Extensión horizontal y vertical) de la contaminación en el suelo, la concentración de nivel de fondo y por último evalúa si las actividades realizadas para la remediación de suelo lograron óptimos resultados de remoción de contaminantes.</p>
Ministerio del Ambiente	<p data-bbox="432 1077 539 1111">Decreto</p> <p data-bbox="432 1151 595 1335">Supremo N° 011-2017-MINAM</p> <p data-bbox="667 1077 1393 1473"><i>Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo Los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo</i> son aplicables a todo proyecto y actividad, cuyo desarrollo dentro del territorio nacional genere o pueda generar riesgos de contaminación del suelo en su emplazamiento y áreas de influencia.</p>
Ministerio del Ambiente	<p data-bbox="432 1518 539 1552">Decreto</p> <p data-bbox="432 1592 595 1776">Supremo N° 011-2017-MINAM,</p> <p data-bbox="432 1816 579 1850">Artículo 8°</p> <p data-bbox="667 1518 1393 1989">Cuando se evalué la presencia de un lugar contaminado como resultado de actividades extractivas, productivas o de servicios, el titular debe presentar el Plan de Descontaminación de Suelos (PDS), el cual se aprueba por la autoridad competente. El PDS determinará las acciones de remediación a desarrollar, tomando como base los estudios de caracterización de sitios</p>

contaminados, en función a las concentraciones de los parámetros regulados en el Anexo I. En caso el nivel de fondo de un sitio superará el ECA correspondiente para un parámetro específico, se usará este nivel como concentración objetivo de remediación. Para sitios alterados que superen los 10000 m², se tomará como base los niveles de remediación determinados en el estudio de evaluación de riesgos a la salud y al ambiente. (MINAM, 2013. p 2)

Ministerio del Ambiente	Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, <i>Artículo 11°</i>	El análisis de las muestras de suelo se debe llevar a cabo por laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI), para los métodos de ensayo señalados en el Anexo I de la presente norma. Si no se contara con laboratorios acreditados se considerarán laboratorios aceptados expresamente por las autoridades competentes (MINAM, 2013. p 2).
-------------------------	--	---

III. MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo descriptiva, ya que busca caracterizar el fenómeno en estudio (metales pesados), su comportamiento sobre los recursos naturales como el suelo y su posible grado de toxicidad sobre los diferentes organismos del entorno, asociado a las actividades de origen minero.

En cuanto al diseño metodológico es no experimental gracias a su nulo grado de manipulación de las variables, es decir la variable independiente (Metales pesados en suelos) y la variable dependiente (Bioconcentración vegetal).

3.2. *Ámbito Temporal y Espacial*

3.2.1. *Ámbito Temporal*

En cuanto al ámbito temporal el desarrollo de este proyecto tesis se inició con la búsqueda de las teorías y antecedentes en marzo del 2023, para ello se revisaron trabajos y estudios comprendidos entre el 2013 y 2022. La fase de pruebas experimentales se desarrolló entre mayo y junio del 2023; con la redacción final del trabajo de investigación para julio del 2023.

3.2.2. *Ámbito Espacial*

El desarrollo de la investigación se realizó en dos lugares en particular, el primero corresponde a la zona donde se recolectó la muestra tomada in situ de campo (Unidad Minera Coricancha en San Mateo), mientras que el segundo lugar fue en LAGEMA-FIGAE-UNFV ubicado en Lima Cercado.

3.3. Variables

3.3.1. *Variable Independiente*

- Metales pesados en Suelos.

3.3.2. *Variable Dependiente*

- Bioconcentración Vegetal

Tabla 5

Operacionalización de las variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
V.D Bioconcentración vegetal	Son aquellas donde la concentración del elemento en la parte aérea de las plantas es proporcional a la que hay en el suelo, indican una concentración elevada del elemento traza en la parte aérea, mayor que la del suelo en el que viven (Corpus, 2018).	Las concentraciones de metales pesados serán evaluadas en relación a cada especie vegetal encontrada en la zona de estudio. Las especies serán analizadas en relación a su peso total inicialmente, para luego ser clasificadas en relación a su raíz, tallo y hojas con la finalidad de determinar, sus niveles de Bioconcentración de metales pesados.	Especie vegetal	Bioconcentración Raíz	mg/Kg
				Bioconcentración Tallo	mg/Kg
				Bioconcentración Hojas	mg/Kg
			Parametro fisico	Peso seco	Gramos
V.I Metales	Las actividades mineras ocasionan impactos ambientales significativos como la pérdida de suelos naturales con nuevos	La caracterización de metales pesados en suelos afectados por la minería será evaluada en relación	Parámetros fisicoquimicos	Solidos Totales Disueltos Conductividad Eléctrica Potencial de hidrógenos	mg/l uS/cm Unidad de pH

pesados en
Suelos

suelos, que muestran restricciones químicas, físicas y biológicas. Dentro de las consecuencias de estos procesos tenemos el cambio de la estructura y textura del suelo, pérdida de los horizontes superficiales biológicamente activos, acidificación asociada a los procesos de oxidación, disminución de la capacidad de cambio y de la retención de agua, dificultad de enraizamiento y obstaculiza la reincorporación vegetal (Espinoza y Vallejo, 2019).

a sus parámetros fisicoquímicos como Sólidos Totales Disueltos, Conductividad Eléctrica, pH y Metales Pesados, a fin de conocer los niveles en que se encuentran. Su determinación será mediante análisis electroquímico y por absorción atómica.

Metales pesados

Plomo
Cobre
Cadmio
Zinc

mg/kg
g

3.4. Población y Muestra

3.4.1. Población

La población del presente trabajo de investigación corresponde al área de influencia de la unidad minera Coricancha del distrito de San Mateo, provincia de Huarochirí.

3.4.2. Muestra

La muestra para considerar en el presente trabajo de investigación contará con 20 Kilos de muestra de suelos y 5 especies vegetales indicadoras de presencia de metales pesados.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Técnicas

- Protocolo para el monitoreo de calidad del suelo.
- Protocolo de bioseguridad para laboratorios.
- Métodos Estandarizados para el análisis de suelos.

3.5.2. Instrumentos

- Cadena de Custodia para el muestreo.
- Ficha de observación de campo.
- Fichas para el registro de datos.

3.5.3. Equipos

- Espectrofotómetro de Absorción Atómica, marca THERMO SCIENTIFIC
- Balanza Analítica Digital, marca SARTORIUS.
- Mufla Eléctrica, marca YAMATO.
- Medidor de Conductividad Eléctrica de mesa, marca HANNA.
- Potenciómetro de mesa, marca HANNA.
- Estufa Eléctrica de secado, marca OHAUS

3.6. Procedimientos

El procedimiento de la presente investigación fue desarrollado teniendo en cuenta cuatro etapas secuenciales: Etapa de gabinete, etapa de campo, etapa de laboratorio y análisis final que incluye la redacción final del informe de investigación. seguidamente, se describen las etapas antes mencionadas:

3.6.1. Etapa de Gabinete

- En la etapa de gabinete se tuvo en cuenta la selección del área de estudio, para dicha selección se consideró tener en cuenta una zona que se encuentre impactada por actividades mineras donde la existencia de metales pesados pueda estar afectando el suelo, y las plantas que crecen dentro del área de influencia nos puedan servir de indicadores como especies tolerantes y bioconcentradoras.
- En esta etapa se evaluó los parámetros fisicoquímicos a tomar en cuenta para analizar el suelo, los cuales estarán definidos por el pH, la Conductividad Eléctrica y los sólidos Totales Disueltos. En relación a los metales pesados se consideró trabajar con el Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc, por ser considerados tóxicos.
- Así mismo, se definió trabajar con las partes estructurales de las especies vegetales como la raíz, tallo y hojas de manera separada, a fin de conocer las concentraciones de metales pesados por componente vegetal y especie.
- Finalmente se procedió a planificar el viaje a la unidad minera Coricancha, ubicado en el distrito de San Mateo, en la provincia de Huarochirí.

3.6.2. Etapa de Campo

- Terminada la etapa de gabinete, se procedió a viajar a la zona de estudio a fin de realizar el monitoreo respectivo para las tomas de muestras de suelos y vegetales.

- Para la toma de muestras de suelos se tomó en consideración desarrollarlo en relación al protocolo de monitoreo establecido en la Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM.
- Primeramente, se ubicó el área de estudio para el desarrollo del monitoreo y muestreo de suelos y plantas, teniendo en consideración su cercanía con la unidad minera Coricancha.
- En segundo lugar, se determinó el patrón de muestreo a considerar, en ese sentido como no se tiene mucha información sobre la distribución de los metales pesados se optó por un patrón de muestreo basado en una rejilla regular y juicio de experto.
- En tercer lugar, se realizó la georreferenciación de las estaciones de monitoreo considerados en el patrón de muestreo.
- El investigador hizo uso de los Equipos de Protección Personal (EPP) antes de realizar el muestreo correspondiente, para lo cual contó con los guantes de nitrilo, chaleco con distintivo, casco protector, zapatos y lentes de seguridad.
- Los empaques para la toma de muestras de suelos y plantas se consideró las bolsas ziploc con sus etiquetas y rótulos respectivos, donde se consignó datos como el lugar, fecha, código de estación, parámetros a determinar, coordenadas geográficas y preservación en caso aplique.
- La recolección de muestra de suelo se tomó a una profundidad de 30 cm, y llevada a los empaques correspondientes con su etiquetado correspondiente y según lo indicado en el ítem antecedente.
- Los empaques que contenían las muestras de suelos fueron colocados en un cooler para posteriormente ser trasladados al laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV.
- Para el monitoreo de vegetales, se tomó en consideración la guía de evaluación de la flora silvestre establecido por el MINAM.

3.6.3. Etapa de Laboratorio

- La fase experimental fue desarrollada en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV, para lo cual se consideró los siguientes pasos:
- Inicialmente, las muestras de suelos (aproximadamente 100 g), fueron secadas en la estufa eléctrica a una temperatura de 70° C, por un tiempo de 24 horas.
- Terminada la etapa de secado se procedió a triturar la muestra en un mortero con su respectivo pilón hasta obtener un grano fino.
- Seguidamente, se procedió a tamizar la muestra de suelo con la malla N° 80, y trabajar con la parte más fina.
- A continuación, se pesó 10 g de muestra de suelo tamizado en la balanza analítica y se llevó a un vaso de precipitado de 250 ml y añadiéndose finalmente 25 ml de agua destilada.
- Se colocó el vaso de precipitado sobre el agitador magnético y se procedió a agitar la muestra a 200 revoluciones por minuto en un tiempo de 30 minutos.
- Terminado el procedimiento anterior se dejó reposar la muestra por 30 minutos hasta alcanzar una sedimentación total, para luego proceder a realizar la medición en el sobrenadante ya clarificado.
- Para iniciar la medición con el Potenciómetro se realizó previamente la calibración del equipo, para lo cual se utilizó una solución Buffer de 4, 7 y 10 de pH, en medio ácido, neutro y alcalino.
- Terminada la calibración se colocó el sensor de medición sobre la muestra líquida sobrenadante y se anotó el valor correspondiente una vez estabilizada la lectura en la pantalla.
- Para iniciar la medición con el Conductímetro se realizó previamente la calibración del equipo, para lo cual se utilizó una solución salina de Cloruro de Potasio a 0.01 N.

- Por último, se realizó la lectura de la Conductividad Eléctrica de la muestra en el sobrenadante antes descrito, esperando que la lectura logre estabilizarse para su registro.
- Para el caso de las muestras vegetales se procedió primeramente a clasificarlas según su División, Clase, Subclase, Orden, Familia, Genero y Especie, para lo cual las plantas fueron llevadas al Museo de la Universidad Nacional de San Marcos para su identificación respectiva.
- Terminada la identificación de las muestras vegetales, se procedió a trabajarlas en el laboratorio LAGEMA de la FIGAE e iniciar el proceso de separación de acuerdo a su tallo, la raíz y las hojas.
- Después de haber sido lavadas las especies vegetales con agua potable y agua destilada se procedió a secarlas en la estufa por 24 horas a una temperatura de 70°C.
- Terminado el procedimiento anterior se procedió a pesar las raíces, tallos, hojas y los crisoles en la balanza analítica.
- Luego se colocaron en los crisoles 2 g de cada parte de la especie y se llevaron a los crisoles previamente rotulados para su identificación respectiva.
- Los crisoles y las muestras fueron llevadas a calcinación a la estufa a una temperatura de 500 °C por un tiempo de 4-8 horas, luego se procedió a enfriar y añadir 2 ml de agua destilada.
- Seguidamente, se añadió 10 ml de HCL al 20% y calentadas en la plancha hasta ebullición, para luego ser filtradas ($\leq 3.0 \mu\text{m}$).
- Finalmente, el filtrado fue enrasado con agua destilada en una fiola de 100 ml y determinada por espectroscopia de absorción atómica.

3.6.4. Etapa Final

La etapa final incluyó la redacción de los resultados obtenidos de las concentraciones de metales pesados por especie estudiada y por cada una de las partes consideradas en la

investigación (raíz, tallo y hojas). De los resultados también se procedió a clasificar e identificar aquellas que tengan mayor capacidad de bioconcentración de metales para finalmente redactar las conclusiones de la investigación.

3.7. Análisis de Datos

Para analizar los datos se realizó a través de un análisis y descripción de cada una de las variables del estudio a partir de sus indicadores principales como los metales pesados, relacionados con las bioconcentración en cada especie en particular a utilizar en la presente investigación, el mismo que será corrido mediante el programa Excel. Se consideró una estadística plasmada en tablas y figuras, para la distribución de la data y desarrollo de información cuantitativa asociado las variables e indicadores del estudio. El análisis de datos nos ha permitido conocer cuáles fueron las especies que estadísticamente presentan mayores capacidades de bioconcentración de metales pesados y poder ser utilizadas como bioindicadores, y por último lograr contrastarla hipótesis de investigación.

3.8. Análisis Territorial

Para el desarrollo de esta investigación se ha escogido la Unidad Minera Coricancha-San Mateo para obtener muestras y plantear un estudio realista.

- Ubicación : Departamento de Lima-Provincia de Huarochirí
- Dirección : Ctra. Central 90.5, San Mateo 02002
- Distrito: San Mateo
- Provincia: Huarochirí
- Departamento: Lima

Figura 1

Great Panther Coricancha S.A.C (Mina) Relieve



Nota. Tomado de Google Earth

Figura 2

Carretera Centrar en dirección a Great Panther Coricancha



Nota. Tomado de Google Earth

Figura 3

Great panther coricancha



Nota. Tomado de Google Earth

Nota: Ingreso Principal – Fuente: Página principal de great Panther Coricancha

IV. RESULTADOS

Con relación a cada uno de los objetivos propuestos, mostramos los resultados de metales pesados encontrados en suelos, identificación de especies vegetales en la zona de estudio y bioconcentración de metales en raíz, tallo y hojas de las especies vegetales.

4.1. Tipo de Investigación

En la Tabla 6, se presentan los resultados registrados en suelos de la zona de estudio:

Tabla 6

Concentración de metales pesados y fisicoquímicos en suelos

ITEM	METALES	LDM	UNIDADES	CONCENTRACIÓN	ECA
1	Plata (Ag)	0.07	mg/Kg	25.3	-
2	Aluminio (Al)	1.4	mg/Kg	5295.1	-
3	Arsénico (As)	0.1	mg/Kg	395.7	140
4	Boro (B)	0.2	mg/Kg	<0.2	-
5	Bario (Ba)	0.2	mg/Kg	63.1	2000
6	Berilio (Be)	0.03	mg/Kg	0.46	-
7	Calcio (Ca)	4.7	mg/Kg	35824.5	-
8	Cadmio (Cd)	0.04	mg/Kg	26.79	22
9	Cerio (Ce)	0.2	mg/Kg	29.5	-
10	Cobalto (Co)	0.05	mg/Kg	11.39	-
11	Cromo (Cr)	0.04	mg/Kg	4.81	1000
12	Cobre (Cu)	0.1	mg/Kg	671.4	-
13	Hierro (Fe)	0.2	mg/Kg	>20000	-

14	Potasio (K)	4.3	mg/Kg	613.9	-
15	Magnesio (Mg)	4.4	mg/Kg	3503.3	-
16	Manganeso (Mn)	0.05	mg/Kg	>2000	-
17	Sodio (Na)	2.3	mg/Kg	78.5	-
18	Niquel (Ni)	0.06	mg/Kg	8.07	-
19	Fosforo (P)	0.3	mg/Kg	709	-
20	Plomo (Pb)	0.06	mg/Kg	1496.27	800
21	Antimonio (Sb)	0.2	mg/Kg	85.2	-
22	Selenio (Se)	0.3	mg/Kg	<0.3	-
23	Zinc (Zn)	0.2	mg/Kg	>5000	-
24	Mercurio (Hg)	0.01	mg/Kg	1.17	24

ITEM	FISICOQUIMICOS	LDM	UNIDADES	CONCENTRACIÓN	ECA
	Potencial de		Unidad de		-
1	Hidrógenos	-	pH	6.12	
2	SDT	-	mg/l	2185	-
	Conductividad				-
3	Eléctrica	-	uS/cm	4523	

Concentración de metales Pesados y Fisicoquímicos en Suelos

De los resultados podemos apreciar que los metales como el As, Cd y Pb exceden los ECAs, mientras que el Ba, Cr y Hg se encuentran dentro de los ECAs, así mismo se indica que el Cobre y Zinc que formaron parte del estudio no cuentan con Estándares de Calidad para suelos.

4.2. Identificación de Especies Vegetales Fijadoras de Metales Pesados

Para el desarrollo de esta investigación se realizó una identificación de las principales especies reconocidas en la zona de estudio, quienes podrían tener la capacidad de bioconcentrar metales pesados, ya que están dentro de la zona de influencia de la Unidad Minera Coricancha.

Tabla 7

Identificación de especies vegetales en la zona de estudio

Nomenclatura					
	H1	H2	H3	H4	H5
División	magnoliophyt		magnoliophy		magnoliophy
n	a	magnoliophyta	ta	magnoliophyta	ta
Clase	magnoliopsid				magnoliopsi
	a	magnoliopsida	liliopsida	magnoliopsida	da
Subclase	caryophyllida		commelinida		
e	e	dilleniidae	e	asteridae	asteridae
Orden	polygonales	capparales	cyperales	asterales	asterales
Familia	polygonaceae	brassicaceae	poaceae	asteraceae	asteraceae
Genero	<i>rumex</i>	<i>rapistrum</i>	<i>jarava</i>	<i>aldama</i>	<i>senecio</i>
Especie	<i>rumex crispus</i>	<i>rapistrum</i>		<i>aldama</i>	<i>senecio</i>
	<i>l.</i>	<i>rugosum</i>	<i>jarava ichu</i>	<i>helianthoides</i>	<i>richii</i>

Nota. Información proporcionada por el Herbario San Marcos (USM) del Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. FIGAE-UNFV

De la Tabla 7, se puede apreciar las cinco (5) especies identificadas cuyas nomenclaturas corresponden a **H1**: *Rumex crispus* L., **H2**: *Rapistrum rugosum*, **H3**: *Jarava ichu*, **H4**: *Aldama helianthoides* y **H5**: *Senecio richii*.

4.3. Bioconcentración de Metales Pesados en Vegetales

A continuación, tenemos la acumulación general de metales pesados bioconcentrados en las cinco (5) especies identificadas en la zona de estudio, así mismo, mostramos la bioconcentración del Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc en la raíz, tallo y hoja de las especies

vegetales *Rumex crispus L.*, *Rapistrum rugosum*, *Jarava ichu*, *Aldama helianthoides* y *Senecio richii*.

El cálculo de las concentraciones de metales pesados absorbidas en las especies vegetales se realizó de acuerdo con el procedimiento detallado en el método de la investigación. En la Tabla 8, se muestran los pesos iniciales de los crisoles donde serán colocadas cada una de las especies para su calcinación, asimismo en la Tabla 5, se muestran los pesos iniciales de las especies vegetales frescas y secas, y finalmente en la Tabla 6, se indican los pesos finales de las muestras secas después del proceso de calcinación.

Tabla 8

Peso inicial de las muestras frescas y secas para calcinación

Peso de crisoles (g)		
H1	HOJA	40.9116
H1	TALLO	39.5462
H1	RAIZ	34.6856
H2	HOJA	40.5292
H2	TALLO	40.077
H2	RAIZ	41.3222
H3	HOJA	39.8657
H3	RAIZ	34.5718
H4	HOJA	38.6356
H4	TALLO	38.8595
H4	RAIZ	36.7006

H5	HOJA	37.3698
H5	TALLO	46.9235
H5	RAIZ	37.8785

Tabla 9

Peso inicial de las muestras frescas y secas para calcinación

Peso de las muestras			
Peso muestras frescas (g)		Peso muestras secas (g)	
H1	5.000	HOJA	0.5235
H1	5.1557	TALLO	0.2371
H1	4.2402	RAIZ	0.4000
H2	3.982	HOJA	0.8798
H2	5.0223	TALLO	1.2137
H2	1.0726	RAIZ	0.418
H3	5.002	HOJA	3.1155
H3	5.0049	RAIZ	2.8444
H4	5.0004	HOJA	1.6191
H4	5.0038	TALLO	2.2618
H4	5.0084	RAIZ	3.2656

H5	4.4064	HOJA	0.9233
H5	5.0035	TALLO	1.9114
H5	5.001	RAIZ	2.4501

Tabla 10*Peso final de muestras post calcinación*

Peso de cenizas con crisoles (g)		
H1	HOJA	40.9866
H1	TALLO	39.5967
H1	RAIZ	34.7609
H2	HOJA	40.7414
H2	TALLO	40.1881
H2	RAIZ	41.3646
H3	HOJA	40.0937
H3	RAIZ	34.8156
H4	HOJA	38.8712
H4	TALLO	39.014
H4	RAIZ	36.885

H5	HOJA	37.4966
H5	TALLO	46.9818
H5	RAIZ	38.0039

Tabla 11*Bioconcentración de metales pesados en especies vegetales*

Cd (mg/Kg)					
	H1	H2	H3	H4	H5
RAIZ	0	0	0.2516	0	0.0695
TALLO	0	0	–	0	0.4734
HOJA	0	0	0	1.4744	0
Cu (mg/Kg)					
	H1	H2	H3	H4	H5
RAIZ	72.7872	21.8571	52.1724	15.7673	28.5275
TALLO	107.4950	18.0480	–	21.2700	10.1370
HOJA	66.1387	36.6455	7.2924	32.3624	44.9484
Pb (mg/Kg)					
	H1	H2	H3	H4	H5
RAIZ	9.0206	304.5061	0.8787	3.9191	10.6775
TALLO	33.1133	10.5155	–	17.7287	28.0374
HOJA	24.7025	20.5367	5.7199	8.0583	30.9320
Zn (mg/Kg)					
	H1	H2	H3	H4	H5
RAIZ	120.1879	672.0054	259.7436	126.7484	401.3809

TALLO	152.6977	201.0641	–	194.0657	276.8310
HOJA	173.9953	763.1032	38.6439	410.2227	911.8488

En la Tabla 11, tenemos la concentración alcanzada por cada una de las especies vegetales identificadas en la zona de estudio. Las nomenclaturas de H1, H2, H3, H4 y H5 corresponden a cada una de las especies evaluadas como bioconcentradoras de Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc.

4.3.1 Bioconcentración y Comportamiento por cada Especie Vegetal Evaluada

En cada una de las tablas y graficas siguientes se muestran en forma más detallada las bioconcentración de metales pesados como Cd, Cu, Pb y Zn, en raíz, tallo y hojas.

- *Rumex crispus* L.

Tabla 12

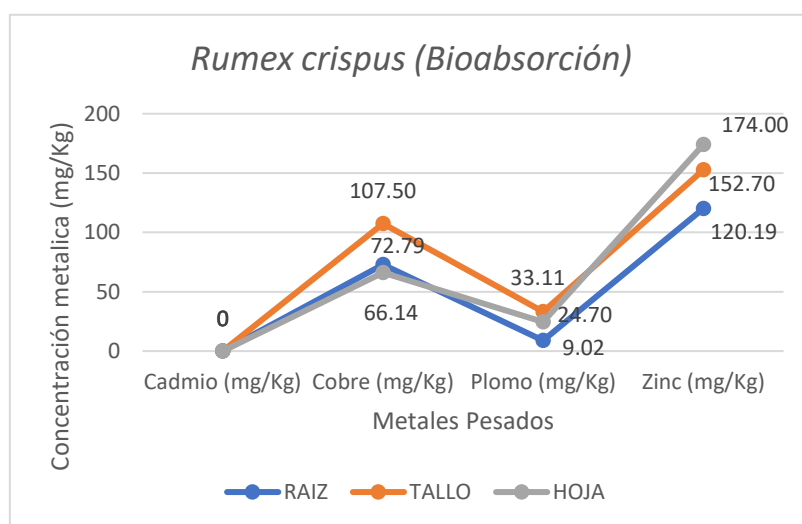
Bioconcentración de metales pesados en Rumex crispus L.

<i>Rumex crispus L.</i>					
	Cadmio		Plomo		
	(mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	(mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)	TOTAL
RAIZ	0	72.79	9.02	120.19	202.00
TALLO	0	107.50	33.11	152.70	293.31
HOJA	0	66.14	24.70	174.00	264.84
TOTAL	0	246.42	66.84	446.88	

De la Tabla 12, podemos apreciar que la bioconcentración de metales por la especie *Rumex crispus* fue mayor en el tallo con **293.31 mg/Kg** y el metal que alcanzó la máxima concentración fue el Zn con **446.68 mg/Kg**. Para esta especie se tiene que el único metal que no fue fijado fue el Cadmio, la raíz y la hoja también alcanzaron bioconcentración importantes de Cu, Pb y Zn.

Figura 4

Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Rumex crispus L



De la Figura 1, se tiene que el Cadmio, no se bioconcentra en ninguna de sus partes como la raíz, tallo y hojas, el Cu se bioconcentra más en el Tallo con **107.5 mg/Kg**, el Pb alcanza su máxima bioconcentración también en el tallo con **33.11 mg/Kg** y el Zn se bioconcentra más en la hoja con **174 mg/Kg**.

- *Raspistrum rugosum*.

Tabla 13

Bioconcentración de metales pesados en Raspistrum rugosum

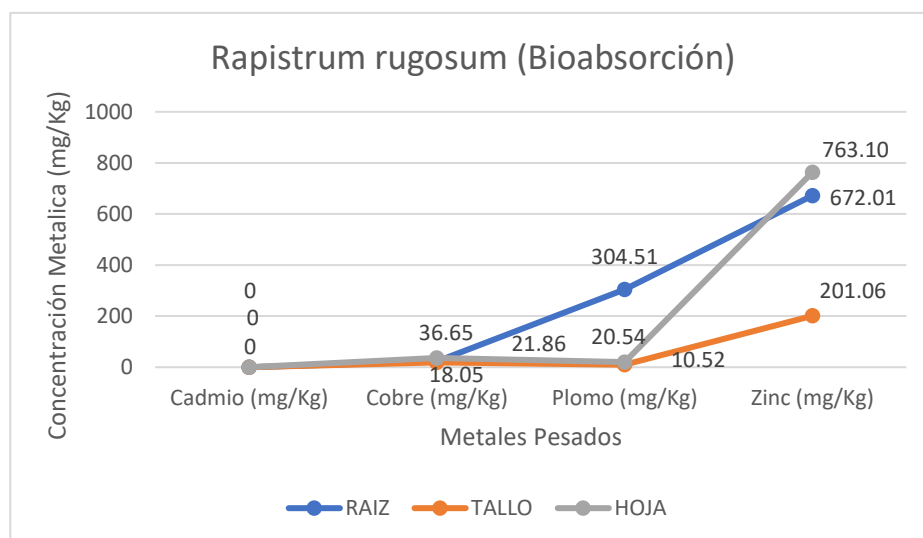
Raspistrum rugosum

	Cadmio (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)	
RAIZ	0	21.86	304.51	672.01	998.37
TALLO	0	18.05	10.52	201.06	229.63
HOJA	0	36.65	20.54	763.10	820.29
TOTAL	0	76.55	335.56	1636.17	

De la Tabla 13, podemos apreciar que la bioconcentración de metales por la especie *Rapistrum rugosum* fue mayor en la raíz con **998.37** mg/Kg y el metal que alcanzó la máxima concentración fue el Zn con **1636.17** mg/Kg. Para esta especie se tiene que el único metal que no fue fijado fue el Cadmio, el tallo y la hoja también alcanzaron bioconcentración importantes de Cu, Pb y Zn.

Figura 5

Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Rapistrum rugosum



De la Figura 2, se tiene que el Cadmio, no se bioconcentra en ninguna de sus partes como la raíz, tallo y hojas, el Cu se bioconcentra más en la hoja con **36.65** mg/Kg, el Pb alcanza

su máxima bioconcentración también en la raíz con **304.51 mg/Kg** y el Zn se bioconcentra más en la hoja con **763.10 mg/Kg**.

- **Jarava ichu**

Tabla 14

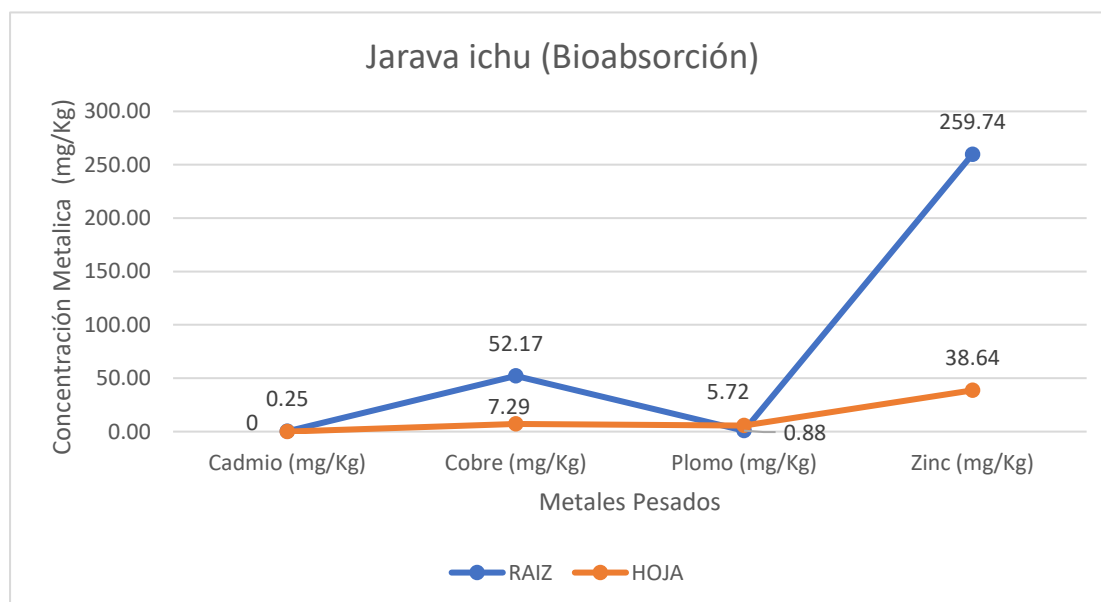
Bioconcentración de metales pesados en Jarava ichu

<i>Jarava ichu</i>					
	Cadmio	Cobre (mg/Kg)	Plomo	Zinc	
	(mg/Kg)		(mg/Kg)	(mg/Kg)	
RAIZ	0.25	52.17	0.88	259.74	313.05
HOJA	0	7.29	5.72	38.64	51.66
TOTAL	0.25	59.46	6.60	298.39	

De la Tabla 14, podemos apreciar que la bioconcentración de metales por la especie *Jarava ichu* fue mayor en la raíz con **313.05 mg/Kg** y el metal que alcanzó la máxima concentración fue el Zn con **298.39 mg/Kg**. Para esta especie la hoja también alcanzó bioconcentraciones importantes de Cu y Pb. Es preciso indicar que la especie *Jarava ichu*, no presenta tallo por lo que no fue considerado para el análisis.

Figura 6

Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Jarava ichu



De la Figura 3, se tiene que el Cadmio, se bioconcentra en la raíz con **0.25 mg/Kg**, el Cu se bioconcentra más en la raíz con **52.17 mg/Kg**, el Pb alcanza su máxima bioconcentración en la hoja con **5.72 mg/Kg** y el Zn se bioconcentra más en la raíz con **259.74 mg/Kg**.

Aldama helianthoides

Tabla 15

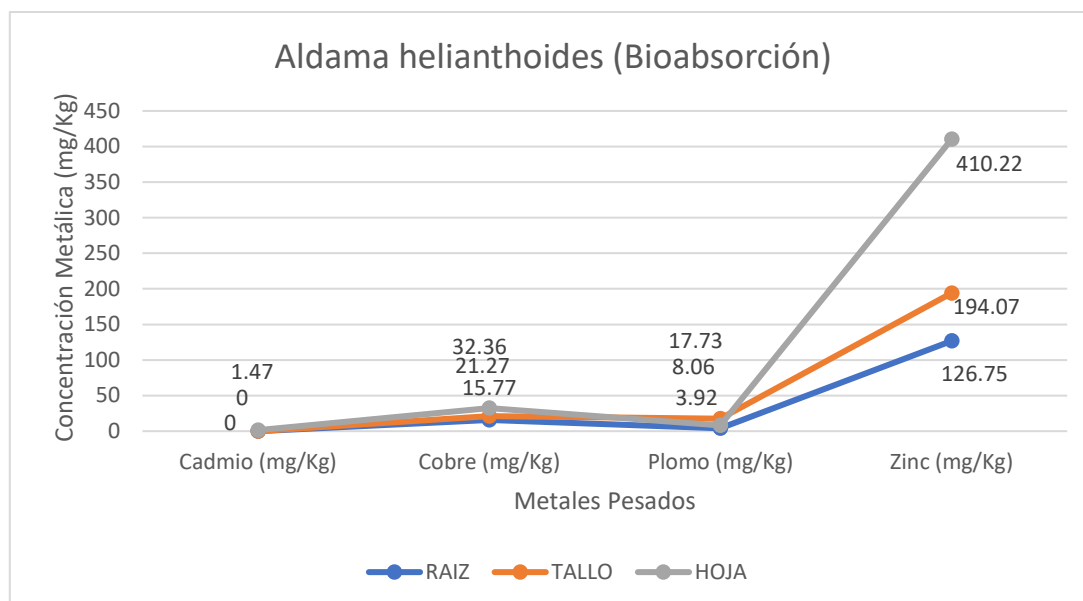
Bioconcentración de metales pesados en Aldama helianthoides

<i>Aldama helianthoides</i>					
	Cadmio	Cobre (mg/Kg)	Plomo	Zinc	
	(mg/Kg)		(mg/Kg)	(mg/Kg)	
RAIZ	0	15.77	3.92	126.75	146.43
TALLO	0	21.27	17.73	194.07	233.06
HOJA	1.47	32.36	8.06	410.22	452.12
TOTAL	1.47	69.40	29.71	731.04	

De la Tabla 15, podemos apreciar que la bioconcentración de metales por la especie *Aldama helianthoides* fue mayor en la hoja con **452.12 mg/Kg** y el metal que alcanzó la máxima concentración fue el Zn con **731.04 mg/Kg**. Para esta especie la raíz y tallo también alcanzaron bioconcentraciones importantes de Cu y Pb.

Figura 7

Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Aldama helianthoides



De la Figura 4, se tiene que el Cadmio, se bioconcentra en la hoja con **1.47 mg/Kg**, el Cu también se bioconcentra más en la hoja con **32.36 mg/Kg**, el Pb alcanza su máxima bioconcentración en el tallo con **17.73 mg/Kg** y el Zn se bioconcentra más en la hoja con **410.22 mg/Kg**.

Senecio richii

Tabla 16

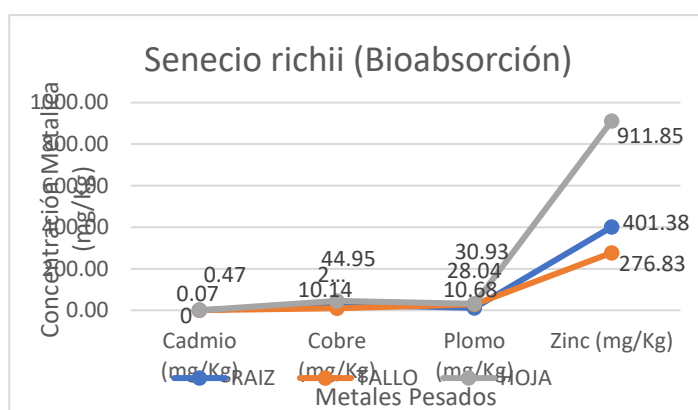
Bioconcentración de metales pesados en Senecio richii

<i>Senecio richii</i>					
	Cadmio (mg/Kg)	Cobre (mg/Kg)	Plomo (mg/Kg)	Zinc (mg/Kg)	
RAIZ	0.07	28.53	10.68	401.38	440.66
TALLO	0.47	10.14	28.04	276.83	315.48
HOJA	0	44.95	30.93	911.85	987.73
TOTAL	0.54	83.61	69.65	1590.06	

De la Tabla 16, podemos apreciar que la bioconcentración de metales por la especie *Senecio richii* fue mayor en la hoja con **987.73** mg/Kg y el metal que alcanzó la máxima concentración fue el Zn con **1590.06** mg/Kg. Para esta especie la raíz y tallo también alcanzaron bioconcentraciones importantes de Cu y Pb.

Figura 8

Comportamiento de la bioconcentración de metales pesados en Senecio richii



De la Figura 8, se tiene que el Cadmio, se bioconcentra más en el tallo con **0.47** mg/Kg, mientras el Cu, Pb y Zn se bioconcentra más en la hoja con **44.95**, **30.93** y **401.38** mg/Kg respectivamente.

V. DISCUSION DE RESULTADOS

Guere et al. (2022), en su investigación evaluó los riesgos ambientales por las concentraciones de Pb y Hg dentro del área minera Coricancha, la metodología empleada se basó en evaluar 3 indicadores de la muestra para el suelo y 2 indicadores de la muestra para agua; los resultados fueron comparados con los ECA, obteniéndose como resultados para el suelo la presencia de Hg con niveles menores $< 0,02$ mg/Kg y para Pb valores que varían de 77,19 - 96.01 mg/Kg, mientras que los resultados del agua indican presencia de Hg con valores menores $< 0,001$ mg/L y para Pb niveles menores $< 0,006$ mg/L, dichos niveles hallados se encuentran dentro de los valores permisibles determinados por los parámetros de calidad de suelo para uso industrial. Concluyéndose que en la calidad de suelos los valores de concentración de Hg no sobrepasan los ECAs para suelo de uso industrial y el valor máximo que establece es 24 mg/kg dichos niveles de Hg varían $< 0,02$ mg/kg, mientras que para el Pb se tiene valores de 78,02 mg/kg, 77,19 mg/Kg, 96.01 mg/kg, sabiendo que el valor máximo para el Pb en el suelo es 800 mg/kg. En cuanto a nuestra investigación las concentraciones de metales pesados en suelos registraron 1.17 mg Hg/Kg no excediendo el Estándar de Calidad Ambiental normado en 24 mg/Kg, así mismo, se obtuvo 395.7 mg As/Kg, 1496.27 mg Pb/Kg y 27.79 mg Cd/Kg excediendo en estos casos los Estándares de Calidad Ambiental; mientras que el Fe, Cu y Zn registraron $> 20\ 000$, 671.4 y > 5000 mg/Kg respectivamente, estas últimas concentraciones metálicas no cuentan con ECAs definidos de comparación.

Espinoza y Vallejo (2019), en su estudio determinó la absorción y bioacumulación de metales pesados de 3 especies vegetales introducidas en la Amazonía ecuatoriana en relaves mineros. Dentro de la metodología se calculó los niveles de metales pesados existentes en el relave minero empleando el Análisis de Absorción Atómica, donde se seleccionó 10 metales

de estudio; para luego ser tratados con las especies vegetales *Flemingia macrophylla*, *Pennisetum purpureum* y *Brachiara brizantha*, el crecimiento de las plantas se calculó en función al monitoreo semanal del desarrollo morfológico y fisiológico, obteniendo como resultado que hay diferencias entre las concentraciones de los 10 metales en los factores de bioconcentración en raíces, bioconcentración en la parte aérea y factor de traslocación. Concluyéndose que los metales pesados que más se han acumulado son el Cd en las raíces y el Pb en la zona aérea de la planta; mientras que el metal que se trasladó de la raíz a la parte aérea es el As, siendo la especie vegetal más eficiente la *Flemingia macrophylla* puesto que logró una mejor concentración de metales bioacumulados en la parte vegetativa de las plantas. En contraste con nuestra investigación, se evaluaron 5 especies que se desarrollan o crecen en la sierra del Perú dentro del área de influencia de la Unidad Minera Coricancha, de las cuales la especie *Rapistrum rugosum* llegó a alcanzar una bioconcentración máxima de Plomo en la raíz con 304.51 mg/Kg, mientras que la especie *rumex crispus* llegó a alcanzar una concentración máxima de Plomo en el tallo con 33.11 mg/Kg, y por último, la especie *Senecio richii* llegó a alcanzar una concentración máxima de Plomo en la hoja con 30.93 mg/Kg. Así mismo, la especie *Jarava ichu* alcanzó una bioconcentración máxima de Cadmio en la raíz de 0.25 mg/Kg, mientras que la especie *Senecio richii* llegó a alcanzar una concentración máxima de Cadmio en el tallo con 0.47 mg/Kg, y por último, la especie *Aldama helianthoides* llegó a alcanzar una concentración máxima de Cadmio en la hoja con 1.47 mg/Kg

Huaranga et al. (2021), en su investigación manifestó que la perturbación ecológica se da por los sitios contaminados por metales pesados como consecuencia de la presencia de relaves mineros; para lo cual se requiere un inventario de especies de plantas vasculares que indiquen la presencia de contaminación y que presenten características fitorremediadora. El muestreo de cada taxón vegetal lo llevó a cabo mediante de manera no probabilística en cada depósito de relaves, mientras que el método de colección y herborización fue siguiéndose la

metodología y técnicas convencionales. Se identificó 52 especies de plantas, destacó entre ellas la Clase Equisetopsida con 9 órdenes con mejor representación del orden Poales y Caryophyllales; así como de 11 Familias donde la Familia Poaceae son las que prevalecen. Mientras que, en el segundo ambiente, se inventarió una sola Clase (Equisetopsida), 11 Órdenes con mejor representación del orden Solanales; así como de 13 Familias donde las Familia Asteraceae y Solanaceae prevalecen. Concluyéndose que de los 26 elementos químicos estudiados en la zona del relave de la quebrada Cushmun, 13 superan los niveles de los límites permisibles para suelos según la normativa vigente, sobresaliendo el Fe (54825 mg/kg), Al (3582 mg/kg), Pb (3416 mg/kg) y As (1874 mg/kg). En semejanza con nuestra investigación se identificaron 5 especies principales las cuales crecen y se desarrollan dentro del área de influencia de la Unidad Minera Coricancha y se encuentran afectadas por lo relaves mineros. Se lograron identificar 02 plantas del orden ASTERALES, 01 del orden POLYGONALES, 01 del orden CAPPARALES y 01 del orden CYPERALES, de las cuales 04 de ellas pertenecen a la clase MAGNOLIOPSIDA y 01 a la clase LILIOPSIDA. De los vegetales estudiados, 02 pertenecen a la familia ASTERACEAE, 01 a la familia POLYGONACEAE, 01 a la familia BRASSICACEAE y 01 a la familia POACEAE; y dentro de la clasificación de especies tenemos al *Rumex crispus* L., *Rapistrum rugosum*, *Jarava ichu*, *Aldama helianthoides* y *Senecio richii*. En cuanto a las concentraciones de metales pesados en suelos en la zona de estudio registraron 395.7 mg As/Kg, 1496.27 mg Pb/Kg y 27.79 mg Cd/Kg excediendo en todos los casos los Estándares de Calidad Ambiental para suelos; mientras que el Fe, Cu y Zn registraron > 20 000, 671.4 y > 5000 mg/Kg respectivamente, cuyas concentraciones metálicas no cuentan con ECAs definidos de comparación.

VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo con nuestro primer objetivo específico se concluye que las concentraciones de los metales pesados en suelos registraron para el Arsénico, Plomo y Cadmio niveles de 395.7, 1496.27 y 26.79 mg/Kg respectivamente excediendo en todos los casos los Estándares de Calidad Ambiental, mientras que para el Cobre, Hierro y Zinc se registraron niveles de 671.4, > 20000 y > 5000 mg/Kg respectivamente de los cuales no se cuenta con Estándares de Calidad Ambiental.
- De acuerdo al segundo objetivo específico planteado se identificaron cinco (05) plantas principales en la zona de estudio, 02 del orden ASTERALES, 01 del orden POLYGONALES, 01 del orden CAPPARALES y 01 del orden CYPERALES, de las cuales 04 de ellas pertenecen a la clase MAGNOLIOPSIDA y 01 a la clase LILIOPSIDA, de ese mismo grupo 02 pertenecen a la familia ASTERACEAE, 01 a la familia POLYGONACEAE, 01 a la familia BRASSICACEAE y 01 a la familia POACEAE; y finalmente, dentro de la clasificación de especies se identificaron al *Rumex crispus* L., *Rapistrum rugosum*, *Jarava ichu*, *Aldama helianthoides* y *Senecio richii*
- Del tercer objetivo específico se concluye que la especie *Rapistrum rugosum* alcanzó la mayor bioconcentración de metales pesados (Plomo, Cobre y Zinc) en la raíz de 998.38 mg/Kg, mientras que la especies *Rumex crispus* y *Senecio richii* alcanzaron la mayor bioconcentración de metales pesados (Plomo, Cobre, Cadmio y Zinc) en el tallo con 293.1 y 315.48 mg/Kg respectivamente; y finalmente las especies *Rapistrum rugosum* y *Senecio richii* alcanzaron la mayor concentración de metales pesados (Plomo, Cobre y Zinc) en la hoja con 820.29 y 987.73 mg/Kg respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear la metodología de la presente investigación para identificar las especies vegetales bioconcentradoras de metales pesados que crecen y se desarrollan en suelos cercanos a zonas de extracción o actividad minera, a fin de que puedan servir como bioindicadores por su capacidad de bioacumulación de elementos metálicos.
- Se recomienda utilizar las especies *Rapistrum rugosum*, *Rumex crispus* y *Senecio richii* para biorremediar suelos contaminados con metales pesados como Pb, Cd, Cu y Zn ya que se ha demostrado su capacidad potencial bioconcentradoras para estos cuatro elementos en raíz, tallo y hoja.
- Se recomienda realizar un estudio integral por parte de las autoridades competentes en minería y medio ambiente sobre las especies vegetales que crecen y se desarrollan en diferentes pisos altitudinales de las regiones del país y que se encuentren en zonas de influencia minera, a fin de que puedan ser utilizadas como indicadores de polución o fitorremediasoras de metales pesados.
- Se recomienda probar la capacidad de bioconcentración de las especies *Rapistrum rugosum*, *Rumex crispus* y *Senecio richii* para otros metales diferentes a los utilizados en la presente investigación.

VIII. REFERENCIAS

- Alcalá (2013). *Vegetación bioindicadora de metales pesados en un sistema semiárido*.
<https://www.flacsoandes.edu.ec/buscador/Record/uncu-4962?sid=118627694>
- Ali H, Khan E, & Sajad MA (2013) Phytoremediation of heavy metals - concepts and applications. *Chemosphere*, 91,869–881. <https://doi.org/10.1016/j>
- Ali, M., A. Elhagwa, J. Elfaki, & M. Sulieman (2017). Influence of the artisanal gold mining on soil contamination with heavy metals: A case study from Dar-Mali locality, North of Atbara, River Nile State, Sudan. *Eura. J. Soil Sci*, 6 (1):28–28.
- Ashraf M, Ozturk M, & Ahmad MSA (2010) Toxins and their phytoremediation. En: Ashraf M, Ozturk M, Ahmad MSA (eds) *Plant adaptation and phytoremediation*. Springer, New York.
- Bao, D. (2024). *Concentración de metales pesados en suelos agrícolas y *Lepidium meyenii* Walpers – Junín y Carhuamayo*. [Tesis para optar el Título de Ingeniera Forestal y Ambiental]. Universidad Nacional del Centro del Perú. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/12036/T010_72010564_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Abouddrar, W., Ouhammou, A., & Morel, J. L. (2006). Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *Chemosphere*, 63 (5), 811-817.
- Castro, M. y Soto, E. (2023). *Determinación del factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en la planta *Stipa Ichu* en el PAM Quiulacocha – Pasco*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad San Ignacio de Loyola]. Repositorio de la Universidad San Ignacio de Loyola.

<https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4e91ef1f-8e0d-4c82-9609-dec665b93247/content>

- Cobb, G. P., Sands, K., Waters, M., Wixson, B. G., & Dorward-King, E. (2000). Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 19 (3), 600-607.
- Corpus, M. (2018). *Eficiencia de especies altoandinas como plantas Fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales santa rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016*. [Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3339>
- Dang, V. M., S., Joseph, H. T., Van, T. T. A., Thi Lan Anh Mai, T. M. H., Duong, S., Weldon, P., Munroe, D., Mitchell, S., & Taherymoosavi. (2018). Immobilization of heavy metals in contaminated soil after mining activity by using biochar and other industrial by-products: The significant role of minerals on the biochar surfaces. *Environ. Tech*, 40 (24).
- Díaz, Y. y Blanco, Y. (2022). Las arvenses como indicador microbiológico del suelo. *Cultivos Tropicales*, 43 (1), 1-19.
<https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/download/1648/pdf>
- El Khalil, H., O. El Hamiani, G. Bitton, N. Ouazzani, and A. Boularbah. 2008. Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: Monitoring metal content and toxicity of soil runoff and groundwater. *Environ. Monitor. Assess*, 136 (1-3), 147-60.
- Espinoza, A. y Vallejo, R. (2019). *Absorción y bioacumulación de metales pesados de tres especies vegetales introducidas en la amazonia ecuatoriana en relaves mineros*. [Tesis de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de la Escuela

Superior Politécnica de Chimborazo. <https://dspace.esPOCH.edu.ec/items/2e016867-9432-4ed7-90e0-63ce6887e8b1>

Espinoza, A. y Vallejo, R. (2019). *Absorción y bioacumulación de metales pesados de tres especies vegetales introducidas en la Amazonía Ecuatoriana en Relaves Mineros*. [Tesis para optar el grado académico de Ingeniero en Biotecnología Ambiental. Universidad Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio de la Universidad Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10578/1/236T0422.pdf>

Fernández, M. y Chirinos, G. (2022). *Comparación de especies vegetales con capacidad fitoremediadora para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/32712/Chirinos%20Chumbimu%2c%20Gloria%20Rosa%20-%20Fernandez%20Romero%2c%20Merilyn%20Yolanda%20-%20Parcial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Gambini, L. (2020). *Métodos de remediación de suelos contaminados por actividades mineras*. [Tesis para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur]. Repositorio de la Universidad Científica del Sur. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1478/TB-Gambini%20L.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

González, R. C., & González-Chávez, M. C. A. (2006). Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. *Environmental Pollution*, 144 (1), 84-92.

Güere, F., Valencia, Z., y Paucar, W. (2022). Environmental risk assessment for lead and mercury concentration in the Coricancha mining area of influence Chosica district.

Revista de Investigación científica Llamkasun. 3 (1).

<https://doi.org/10.47797/llamkasun.v3i1.93>

Guzmán, S. (2015). *Evaluación del proceso de movilidad de arsénico y metales pesados en un sistema jal-suelo y su acumulación en las especies Nicotiana glauca y opuntia Lasiacantha*. [Tesis para optar el Título de Ingeniera de Minas y Metalurgista. Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/10287/1/Tesis%20Soledad%20Viridiana%20Guzm%c3%a1n%20Herrera.pdf>

Huaranga, F., Rodríguez, E., Méndez, E. & Bernuí, F. (2021). Bioindicator species of contamination by mining tailings in the Samne Sector, La Libertad-Peru, 2021. *Arnaldoa*, 28 (3). <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.283.28310>

Hurtado, C. (2013). *Caracterización mineralógica de suelos contaminados por relaves mineros del distrito de Huachocolpa, provincia de Huancavelica*. [Tesis para optar el Título Profesional de Licenciado en Física. Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/14078/Hurtado_pc-Resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Jiang H.H., Cai LM., Wen HH., Hu GC., Chen GC., & Luo. J. (2020). An integrated approach to quantifying ecological and human health risks from different sources of soil heavy metals. *Sci. Total Environ*, 701. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969719344572>

Labra, S. (2018). *Fitoextracción con Helianthus annuus L. (girasol) para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio 2018*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniera Ambiental. Universidad César Vallejo]. Repositorio de la

Universidad

César

Vallejo.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/24613/Labra%2c%20HS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Lago, M. (2018). *Bioavailability of heavy metals in contaminated soils*. [Tesis para obtener el grado de Doctor. Universidad de Vigo]. Repositorio de la Universidad de Vigo. http://www.preinvestigo.biblioteca.uvigo.es/xmlui/bitstream/handle/11093/1123/Tesis%20Manoel%20Lago%20Vila_sin%20proteccion.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- León, V. (2017). *Capacidad Fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera lincuna sac, en condiciones de invernadero, 2015-2016*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1900/T033_72513051_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- López, M. y Morales, O. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: una revisión. *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, 12 (2), 15-28. <https://doi.org/10.5377/elhigo.v12i2.15197>
- Macedo, H. (2022). *Fitorremediación de suelos contaminados por relaves mineros en zonas áridas mediante Melocactus peruvianus Y Haageocereus acranthus*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Científica del Sur]. Repositorio de la Universidad Científica del Sur. <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/2227/TL-Macedo%20H.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Balali-Mood, M, Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, MR., & Sadeghi, M. (2017). Mecanismos tóxicos de cinco metales pesados: mercurio, plomo, cromo, cadmio y arsénico- Farmaco Frontal. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8078867/#:~:text=Several%20acute%20and%20chronic%20toxic,of%20heavy%20metals%20toxic%20effects>
- Medina, K. y Montano, Y. (2014). *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el Juncus Arcticus willd. y Cortaderia Rudiuscula stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013.* [Tesis para optar el título de Ingeniera Ambiental. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/1775>
- Mendarte, C. y Alarcón, A. (2021). Fitorremediación: alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT: Una revisión. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 24, 1-15. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v24/1405-888X-tip-24-e326.pdf>
- Ministerio del Ambiente (2014). *Límites Máximos Permisibles para Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero-Metalúrgicas.* Ministerio del Ambiente.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [FAO]. (02 de mayo de 2018). *La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro.* Website de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>
- Puga, S., Sosa, M. Lebgue, T. & Quintana, C. (2006). Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. *Ecología Aplicada*, 5, 1-2. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-22162006000100020&script=sci_arttext

- Razo, I. y Mejía, José. (2013). *Evaluación de la Fitotoxicidad en suelos contaminados por Metales Pesados en Pasivos ambientales Minero Metalúrgicos*. [Tesis para optar el grado de Maestría en Ciencias Ambientales. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí]. Repositorio de la universidad Autónoma de San Luis de Potosí. <https://repositorioinstitucional.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/4164/MCA1SGR201301.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Redacción EC. (2018). Contaminación de suelos es una de las mayores amenazas a la salud, dice la FAO. *El Comercio*. <https://elcomercio.pe/tecnologia/ciencias/contaminacion-suelos-mayores-amenazas-salud-dice-fao-noticia-584726-noticia/>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta*. Website de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/3/i9183es/i9183es.pdf>
- Santibáñez, C., Verdugo, C., & Ginocchio, R. (2008). Phytostabilization of copper mine tailings with biosolids: implications for metal uptake and productivity of *Lolium perenne*. *Science of the Total Environment*, 395 (1), 1-10.
- Vásquez, C. y Jara, M. (2021). *Remediación de suelos ácidos que desprenden metales en el agua de la ex unidad minera cleopatra – Hualgayoc 2020*. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. Repositorio de la universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/2048>
- Verkleij JAC, Prast JE (1990) Cadmium tolerance and co-tolerance in *Silene vulgaris*. *New Phytol*, 111 (4), 637–645. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1469-8137.1989.tb02358.x>

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala			
<p>Problema general ¿Cómo es la bioconcentración vegetal por metales pesados en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo, 2023?</p> <p>Problemas Específicos 1. ¿Cuáles serán las concentraciones de metales pesados en los suelos de la unidad minera Coricancha en San Mateo?</p> <p>2. ¿Cuáles serán las especies vegetales con capacidad de bioconcentración de metales pesados y como indicadoras de contaminación en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo?</p> <p>3. ¿Cómo serán los niveles de bioconcentración de metales pesados en raíz, tallo y hojas en las especies vegetales indicadoras de contaminación en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo?</p>	<p>Objetivo general Evaluar la bioconcentración de especies vegetales como indicadores de metales pesados en suelos de la unidad minera Coricancha en San Mateo, 2023.</p> <p>Objetivos Específicos 1. Determinar las concentraciones de metales pesados en los suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.</p> <p>2. Identificar las especies vegetales con capacidad de bioconcentración de metales pesados e indicadoras de contaminación en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.</p>	<p>Hipótesis general Las especies vegetales en estudio alcanzan niveles elevados de bioconcentración de metales pesados en suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo, 2023.</p> <p>Hipótesis Específicas 1. Los niveles de metales pesados se encuentran elevados en los suelos adyacentes a la unidad minera Coricancha en San Mateo.</p> <p>2. Ciertas especies vegetales tienen la capacidad de alcanzar elevados niveles de bioconcentración en las especies indicadoras de contaminación en suelos de la unidad minera Coricancha en San Mateo.</p>	<p>Variable Independiente</p>	<p>Son aquellas donde la concentración del elemento en la parte aérea de las plantas es proporcional a la que hay en el suelo, indican una concentración elevada del elemento traza en la parte aérea, mayor que la del suelo en el que viven (Corpus, 2018).</p>	<p>Las concentraciones de metales pesados serán evaluadas en relación a cada especie vegetal encontrada en la zona de estudio. Las especies serán analizadas en relación a su peso total inicialmente, para luego ser clasificadas en relación a su raíz, tallo y hojas con la finalidad de determinar, sus niveles de Bioconcentración de metales pesados.</p>	ESPECIE VEGETAL	Bioconcentración Raíz	mg/Kg			
			Bioindicadores de metales pesados				Bioconcentración Tallo	mg/Kg			
							Bioconcentración Hojas	mg/Kg			
						PARÁMETRO FÍSICO	Peso seco	Gramos			
			Variable Dependiente:			Suelos afectados por minería	Las actividades mineras ocasionan impactos ambientales significativos como la pérdida de suelos naturales con nuevos suelos, que muestran restricciones químicas, físicas y biológicas. Dentro de las consecuencias de estos procesos tenemos el cambio de la estructura y textura del suelo, pérdida de los horizontes superficiales biológicamente activos,	La caracterización de los suelos afectados por la minería será evaluada en relación a sus parámetros fisicoquímicos como Sólidos Totales Disueltos, Conductividad Eléctrica, pH y Metales Pesados, a fin de conocer los niveles en que se encuentran. Su determinación será mediante análisis electroquímico y por absorción atómica.	PARÁMETROS FISICOSQUÍMICOS	Sólidos Totales Disueltos	mg/l
										Conductividad Eléctrica	uS/cm
Potencial de Hidrógenos	Unidad de Ph										
METALES PESADOS	Plomo Cobre Cadmio Zinc	mg/kg									

Anexo B. Resultados de ensayos del laboratorio de suelos



SAG

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047



Reporte #13-00

**INFORME DE ENSAYO N° 124135- 2018
CON VALOR OFICIAL**

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo		
Matriz analizada	Suelo		
Fecha de muestreo	2018-07-25		
Hora de inicio de muestreo (h)	17:17		
Condiciones de la muestra	Conservada		
Código del Cliente	SUF-01		
Código del Laboratorio	1807456		
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0.07	mg/kg	25.30
Aluminio (Al)	1.4	mg/kg	5295.1
Arsénico (As)	0.1	mg/kg	395.7
Boro (B)	0.2	mg/kg	<0.2
Bario (Ba)	0.2	mg/kg	63.1
Berilio (Be)	0.03	mg/kg	0.46
Calcio (Ca)	4.7	mg/kg	35824.5
Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	26.79
Cerio (Ce)	0.2	mg/kg	29.5
Cobalto (Co)	0.05	mg/kg	11.39
Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	4.81
Cobre (Cu)	0.1	mg/kg	671.4
Hierro (Fe)	0.2	mg/kg	>20000
Potasio (K)	4.3	mg/kg	613.9
Litio (Li)	0.3	mg/kg	9.2
Magnesio (Mg)	4.4	mg/kg	3503.3
Manganeso (Mn)	0.05	mg/kg	>2000
Moibdeno (Mo)	0.2	mg/kg	1.9
Sodio (Na)	2.3	mg/kg	78.5
Niquel (Ni)	0.06	mg/kg	8.07
Fósforo (P)	0.3	mg/kg	709.0
Plomo (Pb)	0.06	mg/kg	1496.27
Antimonio (Sb)	0.2	mg/kg	85.2
Selenio (Se)	0.3	mg/kg	<0.3
Estaño (Sn)	0.1	mg/kg	2.5
Estroncio (Sr)	0.1	mg/kg	66.4
Titanio (Ti)	0.03	mg/kg	44.50
Talio (Tl)	0.3	mg/kg	2.5
Vanadio (V)	0.04	mg/kg	16.30
Zinc (Zn)	0.2	mg/kg	>5000
Mercurio (Hg)	0.01	mg/kg	1.17

L.D.M.: Límite de detección del método.
Resultado de Suelo reportado en base seca.

Quim. Belbeth Y. Fajardo León
C.Q.P. N° 648
Asesor Técnico Químico

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Cod. FI 00/Revisión: 08/FE 03/2018

* El Método indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPN: Environmental Protection Agency, ASTM: American Society for Testing and Materials, NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos caso las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas.

• Para comprobar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables quedan en procesos de acuerdo a ley.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Riza Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turme N° 2079 - Lima
• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 4 de 5



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CONSTANCIA N° 322-USM-2018

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (planta fértil) recibida de **Jean Marco RIVERA UNOCC**, estudiante de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Ambiental; sido estudiada y clasificada como: **Senecio richii** A. Gray ; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

DIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: MAGNOLIOPSIDA

SUB CLASE: ASTERIDAE

ORDEN: ASTERALES

FAMILIA: ASTERACEAE

GENERO: Senecio

ESPECIE: Senecio richii A. Gray

Código: "H5"

Determinado por: Mag. Hamilton Wilmer Beltrán Santiago

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 11 de Setiembre de 2018



Mag. **ASUNCIÓN A. CANO ECHEVARRIA**
JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE/ddb



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CONSTANCIA N° 321-USM-2018

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (ramas floridas) recibida de **Jean Marco RIVERA UNOCC**, estudiante de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Ambiental; sido estudiada y clasificada como: ***Aldama helianthoides*** (Rich) E.E. Schill. & Panero.; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

DIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: MAGNOLIOPSIDA

SUB CLASE: ASTERIDAE

ORDEN: ASTERALES

FAMILIA: ASTERACEAE

GENERO: *Aldama*

ESPECIE: *Aldama helianthoides* (Rich) E.E. Schill. & Panero

Código: "H4"

Determinado por Mag. Hamilton Beltrán Santiago

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 11 de setiembre de 2018



Mag. **ASUNCIÓN A. CANO ECHEVARRIA**
 JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE/ddb



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
 MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CONSTANCIA N° 320-USM-2018

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (planta fértil) recibida de **Jean Marco RIVERA UNOCC**, estudiante de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Ambiental; ha sido estudiada y clasificada como: **Jarava ichu** Ruiz & Pav.; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

DIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: LILIOPSIDA

SUB CLASE: COMMELINIDAE

ORDEN: CYPERALES

FAMILIA: POACEAE

GENERO: Jarava

ESPECIE: Jarava ichu Ruiz & Pav.;

Código : H3 (ichu)

Determinado por: Mg. María Isabel La Torre Acuy

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que considere conveniente.

Lima, 11 de setiembre de 2018



Asunción Cano Echevarría
 Mag. ASUNCIÓN CANO ECHEVARRIA
 JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE/ddb



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
 Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA
 VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CONSTANCIA N° 319-USM-2018

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (planta fértil) recibida de **Jean Marco RIVERA UNOCC**, estudiante de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Ambiental; ha sido estudiada y clasificada como: ***Rapistrum rugosum* (L.) All.**; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

nnDIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: MAGNOLIOPSIDA

SUB CLASE: DILLENIIDAE

ORDEN: CAPPARALES

FAMILIA: BRASSICACEAE

GENERO: *Rapistrum*

ESPECIE: *Rapistrum rugosum* (L.) All.

Código : H2

Determinado por: Mg. Asunción A. Cano Echevarría.

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que considere conveniente.

Lima, 11 de setiembre de 2018



Asunción A. Cano Echevarría
Mag. ASUNCION CANO ECHEVARRIA
 JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE/ddb



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

MUSEO DE HISTORIA NATURAL



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

CONSTANCIA N° 318-USM-2018

EL JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM) DEL MUSEO DE HISTORIA NATURAL, DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, DEJA CONSTANCIA QUE:

La muestra vegetal (ramas floridas) recibida de **Jean Marco RIVERA UNOC**, estudiante de la Universidad Nacional Federico Villarreal, Facultad de Ingeniería Ambiental; sido estudiada y clasificada como: ***Rumex crispus* L.**; y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988).

DIVISION: MAGNOLIOPHYTA

CLASE: MAGNOLIOPSIDA

SUBCLASE: CARYOPHYLLIDAE

ORDEN: POLYGONALES

FAMILIA: POLYGONACEAE

GENERO: *Rumex*

ESPECIE: *Rumex crispus* L.

Código: "H1"

Determinado por Mag. Asunción A. Cano Echevarría

Se extiende la presente constancia a solicitud de la parte interesada, para los fines que estime conveniente.

Lima, 04 de setiembre de 2018



Mag. ASUNCIÓN A. CÁNO ECHEVARRÍA
JEFE DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

ACE:adb

Anexo C. Panel fotográfico

Figura 9

Visita a la unidad minera Coricancha



Figura 10

Ubicación de zona de relaves mineros



Figura 11

Visita a la zona de relaves mineros



Figura 12

Toma de muestra de suelos

**Figura 13**

Muestreo de especies identificadas



Figura 14

Muestreo completo de la especie H1



Figura 15

Rotulado de la especie H1 para su identificación



Figura 16

Muestreo completo de la especie H2



Figura 17

Identificación de la especie H2

**Figura 18**

Ubicación de la especie H3



Figura 19

Muestreo completo de la especie H3

**Figura 20**

Muestreo completo de la especie H4



Figura 21

Rotulado de la especie H3 para su identificación

**Figura 22**

Identificación de la especie H4



Figura 23

Muestreo completo de la especie H5

**Figura 24**

Identificación de la especie H5

