



# **Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**

**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental**

**Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la Mina Llipa, Ocros, Ancash – 2024**

## **Tesis**

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

## **Autores**

Lucero Stefanny Baldera Morante  
Daniel Alexander Vilcapoma Rivera

## **Asesor**

Dr. Segundo Rolando Alvites Vigo

**Huacho – Perú**

**2026**

  
.....  
SEGUNDO ROLANDO ALVITES VIGO  
INGENIERO AGRÓNOMO  
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 15850



**Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**LICENCIADA**

*(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)*

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA, INDUSTRIAS ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**INFORMACIÓN**

<b>DATOS DEL AUTOR (ES):</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>FECHA DE SUSTENTACIÓN</b>
Daniel Alexander Vilcapoma Rivera	72868119	16/03/2026
Lucero Stefanny Baldera Morante	70847848	16/03/2026
<b>DATOS DEL ASESOR:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CÓDIGO ORCID</b>
Dr. Segundo Rolando Alvites Vigo	26620605	<a href="https://orcid.org/0000-0002-6243-079X">https://orcid.org/0000-0002-6243-079X</a>
<b>DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:</b>		
<b>NOMBRES Y APELLIDOS</b>	<b>DNI</b>	<b>CÓDIGO ORCID</b>
Mg. Maria del Rosario Grados Olivera	15736587	<a href="https://orcid.org/0000-0002-3004-0252">https://orcid.org/0000-0002-3004-0252</a>
Mg. Tania Ivette Mendez Izquierdo	46925087	<a href="https://orcid.org/0000-0002-2473-4610">https://orcid.org/0000-0002-2473-4610</a>
Mg. Hellen Yahaira Huertas Pomasoncco	46741141	<a href="https://orcid.org/0000-0002-4204-7320">https://orcid.org/0000-0002-4204-7320</a>

# 2026-013955 BALDERA MORANTE LUCERO STEFAN...

## Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocros, Ancash ...

US-FAJAYA PREGRADO 2026  
Unidad de Investigación FAJAYA-2026  
Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

### Detalles del documento

Identificador de la entrega  
trnoid:1:3491060911

Fecha de entrega  
25 feb 2026, 11:02 a.m. GMT-5

Fecha de descarga  
25 feb 2026, 11:09 a.m. GMT-5

Nombre del archivo  
BORRADOR\_DE\_TESIS\_LUCERO\_y\_DANIEL-Tt.pdf

Tamaño del archivo  
9.6 MB

82 páginas

17.539 palabras

100.931 caracteres

## 18% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

### Fuentes principales

- 17% Fuentes de Internet
- 8% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitan distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por ser el pilar de amor, fuerza y constancia que me enseñó a nunca rendirme.

A mi familia, por su apoyo incondicional y por creer siempre en mis sueños, aun en los momentos más difíciles.

A la memoria de mi querido Mazumi, mi gato inseparable durante la etapa universitaria, cuyo cariño y compañía iluminaban mis días hasta su partida.

A Boritam, mi leal compañero de cuatro patas, por sus momentos de alegría y ternura que me acompañaron en el camino.

A mí misma, por la perseverancia, la disciplina y la valentía para afrontar cada desafío hasta ver realizado este proyecto.

Y a mi compañero de tesis, por su colaboración constante, su amistad sincera y su entusiasmo compartido en cada paso de este trabajo.

*Lucero Stefanny Baldera Morante*

## **DEDICATORIA**

A mis madres, quienes, con su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante me han guiado en cada paso de mi camino, inspirándome a ser una persona íntegra y a perseguir mis sueños con determinación.

A la memoria de mi padre, cuyo legado y enseñanzas perduran en mi corazón. Su recuerdo es la luz que ilumina mis pasos y el impulso que me lleva a seguir creciendo y superándome.

A mis seis hermanos, mis compañeros de vida. Cada uno de ustedes ha sido un sostén único en mi vida, aportando su propia fortaleza, consejos y amor. Juntos hemos compartido risas, lágrimas, desafíos y triunfos, construyendo un vínculo que va más allá de la sangre.

A mi compañera de tesis, con quien compartí no solo el trabajo académico sino también las dificultades, los desafíos y las victorias de este proceso.

*Daniel Alexander Vilcapoma Rivera*

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos sinceramente el apoyo y la confianza recibidos a lo largo de todo este proceso: a quienes nos brindaron su guía, compartieron su tiempo y ofrecieron sus conocimientos; a nuestras familias y amigos, a nuestro asesor, por su aliento constante; y, por supuesto, al esfuerzo y la dedicación conjunta que nos permitió superar cada reto y hacer realidad este proyecto.

*Lucero y Daniel*

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>5</b>
<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>5</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	15
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	16
1.2.1 Problema general .....	16
1.2.1 Problemas específicos.....	16
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.3.1 Objetivo general .....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	17
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.5 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO.....	18
1.5.1 Delimitación espacial .....	18
1.5.2 Delimitación temporal .....	18
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>19</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	19
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	19
2.1.2 Antecedentes nacionales.....	20
2.2 BASES TEÓRICAS .....	21
2.2.1 Base legal.....	21
2.2.2 Minería en el Perú.....	22
2.2.3 Unidad Minera Llipa .....	23
2.2.4 Distrito de Llipa.....	23
2.2.5 Metales pesados.....	24
2.2.6 Dinámica de metales pesados en el suelo.....	26
2.2.7 Drenaje Acido de Mina.....	26
2.2.8 Acumulación de metales pesados en plantas.....	27

2.2.9 Plantas Nativas .....	28
2.2.10 Metodología de ensayo de laboratorio .....	29
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	29
2.4 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	31
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>32</b>
3.1 DISEÑO METODOLÓGICO .....	32
3.1.1 Tipo de investigación.....	32
3.1.2 Nivel de investigación .....	32
3.1.3 Diseño de investigación.....	32
3.1.4 Enfoque de investigación.....	32
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	32
3.2.1 Población .....	32
3.2.2 Muestra .....	32
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
3.3.1 Procedimiento para el muestreo de tejido vegetal .....	33
3.3.2 Procedimiento para el muestreo de suelos.....	34
3.4 TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	35
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....</b>	<b>36</b>
4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	36
4.1.1 Resultados de niveles de bioacumulación de las tres plantas nativas.....	36
4.1.2 Resultados de ensayo de laboratorio .....	37
4.1.3 Resultados de identificación de Plantas Nativas .....	40
4.1.4 Resultados del cálculo de los factores bioconcentración, bioacumulación y translocación.....	42
4.1.5 Resultados de comparación de los metales bioacumulados con los estándares GB 2762-2012.....	44
<b>CAPÍTULO V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>50</b>
5.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	50
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>52</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	52
6.2 RECOMENDACIONES.....	53
<b>CAPÍTULO VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>54</b>
7.1 REFERENCIAS .....	54
<b>ANEXOS.....</b>	<b>58</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la planta nativa 1 .....	28
Tabla 2 Clasificación taxonómica de la planta nativa 2 .....	28
Tabla 3 Clasificación taxonómica de la planta nativa 3 .....	29
Tabla 4 Cuadro de operacionalización de variables .....	31
Tabla 5 Escala de niveles de bioacumulación de metales pesados .....	35
Tabla 6 Fórmulas para el cálculo de bioconcentración, bioacumulación y translocación.....	35
Tabla 7 Metales pesados hallados en las tres plantas nativas de la relavera de la mina Ilipa .....	36
Tabla 8 Niveles de bioacumulación de metales pesados en las tres plantas nativas.....	37
Tabla 9 Resultados de concentración metales pesados en suelos .....	37
Tabla 10 Resultados de concentración de metales pesados en tejido vetal (Raices).....	38
Tabla 11 Resultados de concentración de metales pesados en tejido vetal (tallos, hojas y flores)	39
Tabla 12 Resultados de identificación de plantas Nativas de la realavera .....	41
Tabla 13 Resultados de calculo del factor de bioconcentración .....	42
Tabla 14 Resultados de calculo del factor de bioacumulación .....	42
Tabla 15 Resultados de calculo del factor de traslocación .....	43
Tabla 16 Comparación de la concentración metales bioacumulados con la norma GB 2762-2012 .....	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación del distrito de Llipa.....	24
Figura 2 Vías de exposición de los metales pesados en plantas .....	27
Figura 3 Comparativo de la concentración de Arsénico con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.....	46
Figura 4 Comparativo de la concentración de Cadmio con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.....	46
Figura 5 Comparativo de la concentración de Cobre con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012 .....	47
Figura 6 Comparativo de la concentración de Cromo con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.....	47
Figura 7 Comparativo de la concentración de Mercurio con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.....	48
Figura 8 Comparativo de la concentración de Plomo con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012 .....	48
Figura 9 Comparativo de la concentración de Zinc con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012 .....	49
Figura 10 <i>Ophryosporus peruvianus</i> (Secklla) .....	70
Figura 11 <i>Calceolaria thyrsoflora</i> (Globito) .....	70
Figura 12 <i>Senecio vulgaris</i> (Rackish).....	70
Figura 13 <i>Baccharis rupicola</i> Kunth (Cunya).....	70
Figura 14 <i>Lomanthus yauyensis</i> (Gloria Jacha).....	70
Figura 15 <i>Lupinus aff. Brachypremnon</i> (Chancor).....	70
Figura 16 <i>Clinopodium speciosum</i> (Jirca Muña).....	71
Figura 17 <i>Austrocylindropuntia subulata</i> (Huallanca).....	71
Figura 18 <i>hesperomeles cuneata</i> (Muchqui).....	71
Figura 19 <i>Dasyphyllum ferox</i> (Quincha).....	71
Figura 20 Medición del perímetro del transecto .....	72
Figura 21 Delimitación del Perímetro del transecto Transecto .....	72
Figura 22 Excavación de la calicata.....	72
Figura 23 Recolección de las muestras puntuales de suelo .....	72
Figura 24 Homogenización de las muestras puntuales de suelo.....	72
Figura 25 Primer cuarteo de las muestras homogenizadas .....	72
Figura 26 Extracción de los lados opuestos del segundo cuarteo .....	73

Figura 27 Muestra de suelo compuesta.....	73
Figura 28 Identificación de especies vegetales.....	73
Figura 29 Selección de muestras de tejido vegetal.....	73
Figura 30 Envasado de muestras de tejido vegetal.....	73
Figura 31 Lavado muestras de tejido vegetal (raiz).....	73

## RESUMEN

**Objetivo:** Determinar los niveles de bioacumulación de metales pesados en tres especies de plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocros, Áncash – 2024. **Metodología:** El área donde se realizó el proyecto está ubicada políticamente en el distrito de Llipa, Provincia de Ocros, Región Áncash, donde se encuentra la relavera de la Mina Llipa, pasivo ambiental minero de donde se extrajeron las muestras de suelos y tejido vegetal de tres plantas nativas (*Ophryosporus peruvianus*, *Calceolaria thyrsiflora* y *Senecio vulgaris*) para los ensayos de laboratorio, donde se determinaron las concentraciones de los metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn), luego los resultados de laboratorio fueron procesados mediante gráficos y tablas comparativas con los límites máximos de contaminantes en alimentos de la Norma China GB-2762-2012. **Resultados:** Las tres plantas nativas de la relavera de la mina Llipa presentaron concentraciones de 6 metales para la primera planta, 5 metales para la segunda planta y 7 metales para la última planta. **Conclusiones:** Se concluye que los niveles de bioacumulación de metales pesados en las tres especies de plantas nativas fueron altas, debido a que en las tres especies se hallaron concentraciones de más de 4 metales pesados en el tejido vegetal (hojas, tallos y flores).

**Palabras clave:** Bioacumulación, metales pesados, suelos, plantas nativas, pasivos ambientales mineros, relave.

## ABSTRACT

**Objective:** To determine the levels of bioaccumulation of heavy metals in three species of native plants in the Llipa mine tailings dam, Ocros, Ancash - 2024. **Methodology:** The area where the project was carried out is politically located in the district of Llipa, Province of Ocros, Ancash Region, where the Llipa Mine tailings dam is located, a mining environmental liability from which soil and plant tissue samples of three native plants (*Ophryosporus peruvianus*, *Calceolaria thyrsoflora* and *Senecio vulgaris*) were extracted for laboratory testing, where the concentrations of heavy metals (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn) were determined, then the laboratory results were processed using graphs and comparative tables with the maximum limits of contaminants in food of the Chinese Standard GB-2762-2012. **Results:** The three native plants from the Llipa mine tailings dam presented concentrations of 6 metals for the first plant, 5 metals for the second plant and 7 metals for the last plant. **Conclusions:** It is concluded that the levels of bioaccumulation of heavy metals in the three species of native plants were high, because in all three species concentrations of more than 4 heavy metals were found in plant tissue (leaves, stems and flowers).

**Keywords:** Bioaccumulation, heavy metals, soils, native plants, mining environmental liabilities, tailings.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación ha sido elaborado con el fin de tener perspectiva técnica sobre el impacto que puede generar la disposición inadecuada de los relaves mineros y cómo estos, al estar compuestos por una serie de elementos metálicos pueden bioacumularse en las estructuras vegetales y convertirse en la ruta de entrada a la red trófica a través de las capacidades naturales que poseen las plantas nativas para absorber nutrientes para su metabolismo. En ese sentido, se han desarrollado seis capítulos donde se aborda el tema detalladamente.

**Capítulo I:** Se proyecta la realidad problemática en función de un análisis situacional actual de la relavera de la mina Llipa, basado en el inventario nacional de pasivos ambientales mineros, asimismo se estipulan los objetivos alcanzables y se establece el alcance y delimitación del estudio.

**Capítulo II:** Se presenta sustento teórico comprobado científicamente de estudios similares realizados a nivel nacional e internacional, así como el fundamento técnico sobre bioacumulación, metales pesados, pasivos ambientales mineros y su implicancia en el ambiente.

**Capítulo III:** Se establece la forma en cómo se desarrollan los procesos de búsqueda de información, toma de muestras e interpretación de los resultados de laboratorio.

**Capítulo IV:** En esta sección se presentan los resultados de concentración de metales pesados en suelos, tejidos vegetales y se realiza la interpretación mediante tablas y figuras.

**Capítulo V:** Se comparan los resultados obtenidos con los reportados por los autores citados en los antecedentes para ver si existe similitud o alguna diferencia.

**Capítulo VI:** Finalmente se presentan las conclusiones en base al análisis de los resultados y se dan recomendaciones para optimizar la utilización de las plantas nativas en tecnologías de extracción de metales pesados en suelos contaminados.

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

La minería constituye una de las actividades económicas más antiguas desarrolladas por la humanidad y, como resultado de su permanencia histórica, se ha consolidado como una de las principales fuentes de ingreso para el desarrollo económico de numerosas sociedades, llegando incluso a representar el eje central de la economía en algunos países, sin embargo, al igual que toda actividad de transformación, sus procesos productivos generan efluentes, emisiones atmosféricas y residuos sólidos. Entre estos últimos destacan los relaves mineros, considerados los residuos de mayor preocupación debido a que concentran metales pesados y otros compuestos de elevada toxicidad, los cuales se han asociado globalmente con procesos de bioacumulación en distintos ecosistemas. A pesar de estas implicancias ambientales, la minería continúa siendo un sector estratégico para la economía de múltiples naciones, en especial para aquellas en vías de desarrollo, como es el caso del Perú, donde la expansión sostenida de esta actividad durante las últimas décadas se ha manifestado a lo largo de su territorio, principalmente en las zonas altas y medias de las cuencas hidrográficas, aunque dicho crecimiento ha estado acompañado de conflictos sociales y de impactos ambientales. Prueba de ello es que el país registra 6128 pasivos ambientales mineros, de acuerdo con la última actualización del inventario nacional; de este total, 1109 se localizan en la región Áncash, posicionando esta región como una de las regiones donde más minería se lleva a cabo (MINEM, 2023).

Prueba de ello es el elevado número de pasivos ambientales mineros registrados en esta región, entre los cuales los depósitos de relaves constituyen el componente de mayor relevancia debido a que contienen como contaminantes predominantes a los metales pesados, cuya disposición sin sistemas adecuados de contención favorece su incorporación a la cadena trófica, ya que existe una interacción directa entre estos contaminantes y la vegetación nativa, así como con la fauna autóctona que habita en el entorno.

En el caso particular de las plantas, durante su proceso natural de obtención de nutrientes, pueden absorber no solo elementos esenciales, sino también ciertos metales pesados presentes en el suelo. Aunque no todos los metales pesados resultan tóxicos ni todas las especies vegetales poseen la misma capacidad de absorción, existen plantas que han desarrollado mecanismos fisiológicos que favorecen su incorporación, a razón de ello, la presencia de relaves depositados sin barreras de aislamiento reúne las condiciones necesarias para que la vegetación nativa incorpore estos elementos y se inicien procesos de bioacumulación y biomagnificación.

Procesos que han sido objeto de estudio a nivel nacional donde se han realizado estudios en diversos pasivos ambientales que evidencian la acumulación de metales pesados en los tejidos de ciertas especies vegetales, sin embargo, es importante señalar que cada pasivo se desarrolla en un entorno geográfico particular, con características topográficas, climáticas y ecológicas propias, lo que determina diferencias en la composición florística evaluada.

En este contexto, la presente investigación se orienta a evaluar la capacidad de absorción de metales pesados en tres especies vegetales nativas que resultaron ser las más representativas en términos de abundancia dentro de la relavera de la mina Llipa. Unidad minera, abandonada aproximadamente desde 1987, que forma parte de los numerosos pasivos ambientales inventariados en la región Áncash y se caracteriza por la inadecuada disposición de sus componentes principales y auxiliares, entre los que se incluyen socavones, depósitos de desmonte, campamentos y la relavera; este último componente carece de cualquier sistema de contención y se encuentra expuesto a una interacción directa con el entorno, lo que constituye un riesgo latente considerando que la zona es utilizada para actividades de pastoreo de ganado bovino y ovino, además de albergar fauna silvestre. Asimismo, el área colinda con cuerpos de agua superficiales y subterráneos, lo que incrementa la posibilidad de la alteración ambiental por bioacumulación de metales pesados.

En consecuencia, la investigación se centró en determinar la capacidad de bioacumulación de metales pesados presentes en el relave de la Mina Llipa, para lo cual se obtuvieron muestras de tejido vegetal de las especies seleccionadas y se analizaron en laboratorio.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

- ✓ ¿Cuáles son los niveles de bioacumulación de metales pesados en tres especies de plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocros, Áncash – 2024?

### **1.2.1 Problemas específicos**

- ✓ ¿Cuáles son las especies de plantas nativas más representativas en la relavera de la mina Llipa para determinar la bioacumulación de metales pesados?
- ✓ ¿Cuáles son los factores de bioconcentración de los metales pesados en las plantas nativas en la relavera de la mina Llipa?

- ✓ ¿Las concentraciones de metales pesados bioacumulados en las plantas nativas de la relavera de la mina Llipa cumplen con la norma GB 2762-2012?

### **1.3 Objetivos de la Investigación**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- ✓ Determinar los niveles de bioacumulación de metales pesados en tres especies de plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocros, Áncash – 2024.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- ✓ Identificar tres especies de plantas nativas más representativas en la relavera de la mina Llipa para determinar la bioacumulación de metales pesados
- ✓ Calcular los factores de concentración de los metales pesados en las plantas nativas de la relavera de la mina Llipa.
- ✓ Comparar las concentraciones de metales pesados bioacumulados en las plantas nativas de la relavera de la mina Llipa, con la norma GB 2762-2012.

### **1.4 Justificación de la investigación**

Las relaveras son componentes mineros resultantes de los procesos de beneficio que se caracterizan por su peligrosidad toxica, ya que están constituidos por minerales residuales de las operaciones unitarias de chancado, molienda y demás. Por lo tanto, su composición es mayoritariamente de metales que no fueron aprovechados en las operaciones unitarias a las cuales fueron sometidas. Este residuo minero al estar dispuesto en el ambiente posibilita la interacción con los seres bióticos de su entorno, generándose una puerta de entrada a la cadena trófica; es el caso de la relavera de la mina Llipa, que es un componente minero en estado de abandono y no cuenta con ninguna medida de aislamiento o contención con respecto al entorno.

En ciertas regiones del Perú y otros países del mundo se han realizado investigaciones sobre las consecuencias producidas por la disposición inadecuada de los relaves mineros, tal como se estudió en este trabajo de investigación, sin embargo, en la relavera de la mina Llipa no se ha realizado ninguna investigación hasta la fecha. Motivo por el cual la investigación realizada es una colaboración significativa de información sobre la situación de este componente minero abandonado y su interacción con el medioambiente.

En ese sentido se realizó un estudio de la bioacumulación de metales pesados en tres especies de plantas nativas existentes en la relavera de la mina Llipa, para determinar cuantitativamente si los metales pesados existentes en la relavera están ingresando en la cadena trófica, adentrándose en

los tejidos vegetales de dichas plantas nativas, que dicho sea de paso, fueron seleccionadas en función a su tasa poblacional y grado de exposición al material de relave.

El presente estudio proveerá información fehaciente y comprobada científicamente a las poblaciones adyacentes a la unidad minera, así también a la comunidad académica que busque realizar investigaciones parecidas en otros lugares o con un enfoque diferente en la misma unidad de estudio, ya que esta información servirá de base para la utilización de la especies estudiadas para su aplicación en las técnicas de fitorremediación o para estudios de determinación de riesgos a la salud y al medio ambiente.

Por otro lado, servirá como base para estudios ambientales futuros que podrían desarrollarse por parte de instituciones ambientalistas o del Estado.

## **1.5 Delimitación del estudio**

### ***1.5.1 Delimitación espacial***

El proyecto se desarrolló en la Región Áncash, Provincia de Ocros y Distrito de Llipa (ver Anexo 1). El área específica se encuentra ubicada en el margen izquierdo de la quebrada Chinchas (Afluente del Río Pativilca), las coordenadas UTM (WGS 84) referenciales son 255662 E y 8853590 N 18L, debido a que en este espacio se encuentran ubicados los pasivos ambientales mineros de la mina Llipa, principalmente la relavera que es el componente prioritario que se evaluó en el presente proyecto.

### ***1.5.2 Delimitación temporal***

La investigación se desarrolló en un plazo de 120 días aproximadamente, de los cuales durante 40 días se revisó información de los antecedentes históricos y la elaboración del plan de muestreo, 5 días para el reconocimiento del área y toma de muestras y finalmente 70 días para el análisis de muestras en un laboratorio acreditado, la interpretación de los resultados con herramientas estadísticas y el análisis comparativo con las normativas ambientales internacionales correspondientes.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Brković et al. (2021) realizaron su investigación en la planta de flotación y vertedero de relave de “Rutnik” en la República de Serbia, donde evaluaron la capacidad de 4 especies vegetales (*Populus nigra L.*, *Fraxinus ornus L.*, *Salix alba L.*, *Salix caprea L.*) para bioacumular, traslocar y biorremediar metales (Mn, Ni, Ca, Mg, Fe, Zn, Cr, Pb, Cd, Cu) para cual tomaron 5 muestras de cada especie y analizaron en laboratorio, cuyos resultados muestran que la especie *Salix alba L* es un buen acumulador de Mn, Fe, Cr, Pb, Zn y Ca, mientras que la especie *Salix caprea L* tiene el mismo comportamiento con los metales Fe, Cu, Cr, Mg y Pb, y P, finalmente la especie *Populus nigra L* es buen acumulador de Mn y Cd. Finalmente concluyen que la bioacumulación y la traslocación de los metales estudiados está en función a las plantas y órganos.

Vergara Allende (2019) en su investigación de maestría, realizado en relaves mineros, en Huautla, Morelos, Mexico; evaluó la bioacumulación de metales pesados y el daño genotóxico en cultivos de *Zea mays l*, en suelos expuestos a relaves mineros, motivo por el cual determinó microparcels para toma de muestras del cultivo en relación a la distancia de exposición a los relaves mineros, las microparcels fueron de 200, 400, 600, 800, 1000 y 1200 metros, las microparcels de 200 y 400 metros evidenciaron concentraciones mas altas de metales pesados con respecto a las microparcels mas alejadas. Finalmente concluye que las plantas de *Zea mays l*, bioacumulan Cd, Pb, y Zn pero no acumulan As y Cu que fueron el total de los metales determinados en los suelos.

Petelka et al. (2019) desarrollaron su investigación en Ghana, donde determinaron el nivel contaminación de los suelos y el potencial de remediación de 25 especies de plantas nativas en una mina abandonada de oro, para ello analizaron la concentración de los metales pesados (As, Hg, Pb y Cu) en los tejidos vegetales. Donde obtuvieron que ninguna de las especies evaluadas presentó niveles de concentración para categorizarse como hiperacumuladoras, pero hallaron que 12 especies presentan bioconcentración selectiva para el Cu, por lo que podía categorizarse como acumuladoras de Cu dado el potencial de extracción de dicho metal.

Bohan et al. (2021) en su estudio realizado en una minera abandonada al suroeste de China, evaluaron el potencial de remediación de plantas nativas y la concentración de los metales pesados

en el suelo, para el cual categorizaron tres zonas de muestreo a diferentes distancias de la realavera: 0.5, 1 y 1.5 km, donde determinaron las poblaciones dominantes de la especies nativas, mediante cuadrantes de 2 x2 m, de los que recolectaron 5 muestras de cada especie identificada y una muestra compuesta de suelo, al analizar las muestras de suelo identificaron valores de concentración de los metales pesados (Cr, Cd, Cu, Ni y Znc), así mismo de las 73 especies encontradas en el área de estudio, fueron evaluadas 29 y todas estas superaron los niveles de concentración normal, establecido por el estándar chino. Finalmente concluyen que todas las especies analizadas, en función a su factor de bioconcentración y traslocación, solo 7 especies pueden ser utilizadas para remediación debido a su capacidad de Fito estabilización de Cd, Cr, Cu, Ni y Zn.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Rivera y Alarcon (2024) en su investigación realizada en la desmontera “Rumillana” del distrito de Yanacancha en la región Pasco, determinaron la bioacumulación de metales pesados en tejidos vegetales de tres especies nativas, para el cual tomaron muestras de tejido vegetal (hojas tallo y raíz) de las tres especies y analizaron los metales: Cd, Pb y As. Donde obtuvieron que la especie *Epilobium traragonum* presentó mayor concentración de metales pesados, seguido de la especie *Euphorbia cyparissias* y finalmente la especie *Bacharis tricuneata* (Taya), finalmente concluyen que las tres especies pueden ser utilizadas para fitoinmovilizar, fitovolatilizar y fitoextraer metales pesados.

Cahuana y Aduvire (2019) en su investigación desarrollado en los pasivos ambientales mineros del distrito de Hualgayoc, región Cajamarca, evaluaron la biacumulación de metales pesados en plantas macrofitas y plantas terrestres, para el cual tomaron muestras de 500 gramos por cada especie evaluada, donde obtuvieron resultados de acumulación en las especies terrestres (*Stipa mucronata*, *Festuca dolichophylla* y *Cortaderia sp*) los metales pesados: As, Cd, Cr, Mn, Pb y Zn por encima de los límites de detección, mientras que para los metales: Hg, Se y Sn no se detectó presencia, salvo en dos estaciones que se registró mínima concentración de mercurio y estaño. Posteriormente compararon las concentraciones obtenidas en los tejidos vegetales con la normativa de la “*Association of American Feed Control Officials (AAFCO, 1996)*” y el Real Decreto 747/2001 de 29 de junio de la unión europea, de donde obtuvieron que las concentraciones de Cd, Cu, Hg y Zn , se encontraban por debajo de la concentración máxima permitida por la AAFCO , mientras que en el caso del Pb se encontraba por encima del nivel máximo establecido por la noma de la unión europea y AAFCO. Así también los niveles de As eran menores a los establecidos por el AAFCO, pero superiores a los niveles establecidos por la Unión Europea. Finalmente concluyen

que las concentraciones en los tejidos vegetales guardan relación con la concentración de metales en el suelo.

Cruzado-Tafur et al. (2021) en su investigación, realizada en el distrito de Hualgayoc, región Cajamarca, evaluaron la capacidad de acumulación de los metales (As, Ag, Cd, Cu, Pb y Zn) en 21 especies nativas cultivados en suelos contaminados por pasivos mineros, para el cual correlacionaron el contenido de los metales en los tejidos de las especies vegetales y su relación con el contenido de los metales en suelos, así mismo, calcularon la traslocación; donde obtuvieron que algunas especies son eficientes estabilizando Zn y Cd, si embargo, ninguna especie es idónea para estabilizar Pb, Cu, As y Ag. Por lo que concluyen que las especies pueden ser una alternativa para remediar suelos contaminados con Zn y Cd, pero no precisamente para los demás metales como: Pb, Cu, As y Ag.

Romero y Bravo (2021) en su investigación de pregrado, realizado en Hualgayoc, Cajamarca, analizaron la capacidad de dos plantas nativas (*Stipa Ichu* y *Cortaderia nítida*) para absorber metales pesados y poder usarlos para la fitorremediación de suelos, para el cual acondicionaron celdas con suelo de los pasivos ambientales mineros y sembraron las plantas nativas, luego 8 meses tomaron muestras de tejidos vegetales (raíz y parte aérea) de ambas plantas nativas y encontraron que la planta nativa *Stipa Ichu* tiene mayor eficiencia recuperando Fe, Cu, Cd y Pb, Mientras que la planta nativa *Cortaderia nítida* muestra mayor eficiencia para recuperar Zn, Cd y Cr. De esta manera concluyen que las plantas estudiadas se pueden aplicar en la fitorremediación.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Base legal**

En el presente ítem se hace mención a las normas ambientales nacionales que tienen carácter significativo vinculante a la presente investigación, dando un respaldo técnico y legal al objetivo del mismo.

#### **2.2.1.1 Normas Nacionales**

➤ Ley General del Ambiente

Que, establece como deber fundamental la preservación de la diversidad biológica, donde las actividades económicas sean amigables con el entorno de tal modo que se propicie un ambiente armonioso para el beneficio de los recursos y la conservación del ecosistema (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2005).

➤ Ley que regula el cierre de minas

Que, establece los protocolos que deben seguir los titulares de las actividades de exploración y explotación de las unidades mineras, siendo uno de los principales mecanismos, el plan de cierre de minas, que es un instrumento técnico que contempla los mecanismos aplicables en el proceso de cierre de actividades, a fin de garantizar las condiciones ambientales similares previas al desarrollo de actividades del titular. Dentro de este instrumento se resaltan los mecanismos de rehabilitación de los componentes impactados, ya que estos deberían mantener una estabilidad física y química como resultado de la aplicación de los mecanismos antes mencionados (Ministerio de Energía y Minas [MINEM], 2003).

➤ Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera

Que, garantiza la identificación de los pasivos ambientales mineros, y los recursos necesarios para la rehabilitación de los espacios impactados y a través de estos mecanismos reducir los posibles daños a la salud y medio ambiente (Ley 28271, 2004).

➤ Resolución Ministerial N° 510-2023-MINEM/DM

Que, aprueba la actualización del inventario de Pasivos Ambientales Mineros dentro del territorio nacional (MINEM, 2023).

### **2.2.1.2 Norma internacional**

➤ Norma Nacional de la República Popular de China GB 2762—2012

Que, establece los límites máximos de metales pesados y otras moléculas en alimentos, que tienen el potencial perjudicial a la salud humana tras el consumo de la parte comestible de los alimentos y/o subproductos. (Ministerio de Salud de la Republica Popular China, 2012)

## **2.2.2 Minería en el Perú**

La actividad minera es un sector muy influyente dentro de la economía de un país, sin embargo, también representa una actividad de alto riesgo ambiental y ocupacional. En el Perú la actividad minera representa uno de los ingresos económicos más importantes del país, de tal modo que en los últimos treinta años ha tenido un incremento sustancial posicionándose dentro de las principales actividades económicas que impulsan el desarrollo nacional (Corzo Remigio, 2015).

De acuerdo a lo mencionado por la Sociedad del Comercio Exterior del Perú COMEXPERÚ (2024) para el año 2023 la actividad minera ha representado el 61.6% del total de las exportaciones nacionales, posicionado al Perú como segundo productor de cobre del mundo y más de doscientos

mil puestos de trabajo directo, con una inversión de casi ocho mil millones en impuestos al Estado peruano (Corzo Remigio, 2015).

Sin embargo, como es natural de toda actividad económica, tiene sus puntos desfavorables, que en el caso de la minería son los impactos negativos al ambiente y la sociedad, dadas principalmente por la disposición incorrecta de los residuos de proceso, como los relaves, las aguas residuales, desmontes, etc. Que pueden causar daños al ecosistema.

Estos impactos negativos se pueden generar durante el desarrollo de la actividad minera, así como también en unidades mineras abandonadas que no siguieron el proceso de cierre de minas, proceso en el que se deberían mitigar todos los posibles impactos al ambiente y reestructurar el paisaje lo más similar posible al escenario previo al desarrollo de la actividad minera (Corzo Remigio, 2015).

Es de esta manera que al no ser ejecutado un adecuado cierre de minas se generan los llamados pasivos ambientales mineros que según MINEM (2023) existen 6128 pasivos ambientales en el territorio nacional.

### **2.2.3 Unidad Minera Llipa**

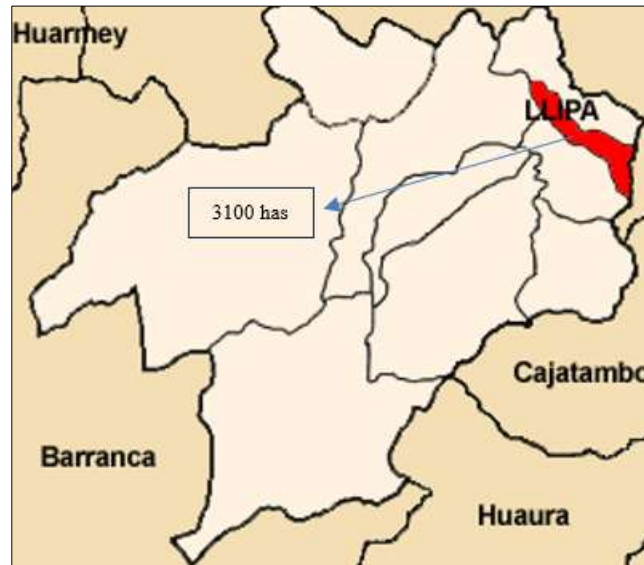
La unidad minera Llipa operó durante 40 años aproximadamente, perteneció a la familia Zacarías, la denominación antigua de la unidad minera fue “Mina Quinches” siendo una minera polimetálica donde sus principales concentrados explotados fueron cobre, plomo, zinc y otros minerales en menor porcentaje. En la actualidad la unidad minera se encuentra en estado de abandono, de los cuales se registran seis pasivos ambientales mineros que comprenden: dos infraestructuras (campamentos, oficinas y talleres), un residuo minero (relavera), una planta de procesamiento, bocamina y una infraestructura no determinada. La principal fuente de contaminación son los depósitos de desmonte y la relavera que tiene un volumen de 300,000 m<sup>3</sup> (MINEM, 1998) y (MINEM, 2023).

### **2.2.4 Distrito de Llipa.**

Llipa es uno de los diez distritos pertenecientes a la provincia de Ocros, Región Áncash, con una población de 279 habitantes según el censo del año 2017, posee una extensión territorial de 3100 hectáreas; su principal actividad económica es la agricultura, resaltando la producción frutícola de durazno con fines comerciales, además realizan cultivos de autoconsumo de productos como: maíz, papa, zapallo, entre otros (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2022).

## Figura 1

### Ubicación del distrito de Llipa



*Nota.* Extensión territorial del distrito de Llipa, Fuente: Adaptado de INEI (2022)

#### 2.2.5 Metales pesados

Galán y Romero (2008) indican que dentro de la gama de elementos identificados por la ciencia, cuya información es de conocimiento universal a través de la tabla periódica, 59 elementos se pueden caracterizar como metales pesados, la principal distinción para considerarse como metal pesado es que su densidad sea igual o mayor  $5 \text{ g/cm}^3$ , sin embargo, esta clasificación podría ser muy ambigua, por ello resulta más acertado hablar de elementos traza, de los cuales un grupo reducido de diez elementos (Ag, As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, Sn y Tl) presentan características tóxicas debido a su movilidad en las actividades humanas.

Es así que algunos de estos elementos traza o metales pesados son significativamente tóxicos para la salud humana y el equilibrio ecosistémico, los metales pesados mayormente estudiados por estas características son: arsénico, bario, cadmio, cromo, cobre, mercurio, plata, plomo, y zinc, (Galán y Romero, 2008).

Rivera y Alarcón (2024) mencionan que los metales pesados se encuentran dentro de la composición natural de la corteza terrestre, en formas orgánicas o inorgánicas, pero es sabido que son difícilmente degradados biológicamente o por las condiciones propias del ambiente, es por ello que suelen bioacumularse en las estructuras bióticas y pueden representar una amenaza para la subsistencia de estos organismos.

### 2.2.5.1 Toxicidad de los metales pesados

En el presente ítem se describen las características tóxicas de los metales pesados materia de la presente investigación.

**Arsénico:** Elemento altamente tóxico para los seres humanos y la fauna, tanto en su forma orgánica como inorgánica, esta última es más nociva en su forma As (III); las vías de exposición pueden ser por inhalación o ingestión, lo que podría producir serios problemas gastrointestinales, calambres, colapso circulatorio, daños a la piel, lesiones a la médula ósea, daños al sistema nervioso, cánceres, entre otros (Polo y Sulca, 2018).

**Cromo:** Es un elemento esencial para ciertos procesos metabólicos, y su deficiencia en como cofactor, puede afectar el funcionamiento normal del sistema, como elevar la glucosa, los triglicéridos, entre otros. Por otro lado, en su forma de Cr III y Cr IV, puede ser cancerígeno o mutagénico (Molina et al., 2010).

**Plomo:** Es fuertemente tóxico para la salud humana y para los animales, de tal modo que se categoriza como la segunda molécula más tóxica para el organismo humano, debido a que podría propiciar daños neurológicos, cáncer, afecciones al sistema nervioso, anemia y problemas de desarrollo en niños (Polo y Sulca, 2018).

**Mercurio:** Es altamente tóxico para los seres vivos en su forma de metilmercurio, que es capaz de generar afecciones neurológicas y daños al sistema respiratorio (Polo y Sulca, 2018).

**Cadmio:** Es un elemento tóxico para el organismo humano y los animales, sus efectos son visibles de manera inmediata y a niveles crónicos, principalmente afecta los órganos como el riñón, el hígado, la corteza cerebral, afecciones neurológicas, cancerígeno, entre otros problemas serios a la salud (Londoño et al., 2016).

**Cobre:** Es un elemento imprescindible para ciertos procesos biológicos del ser humano, sin embargo en altas concentraciones es tóxico debido a que tiene la capacidad de bioacumularse en los órganos de las plantas y los animales. Sus efectos adversos debido a esta acumulación podrían ser afecciones gastrointestinales, problemas hepáticos, daño renal, entre otros (Polo y Sulca, 2018).

**Zinc:** Es un elemento necesario para los procesos metabólicos humanos, además es un nutriente esencial para las plantas, pero a concentraciones elevadas puede causar problemas funcionales (Vera (como se citó en Polo y Sulca, 2018)).

### ***2.2.6 Dinámica de metales pesados en el suelo***

Galán y Romero (2008) mencionan que los metales pesados presentes en el suelo proceden geogénica o antropogénicamente, en el primer caso, los elementos se hacen geodisponibles desde la roca madre gracias a procesos de naturaleza química, física o biológica; por lo tanto, las características geológicas y climáticas de cada lugar hacen una diferencia en la velocidad y el tipo de meteorización que se puede desarrollar para insertar los elementos pesados en el suelo, sin embargo, la geodisponibilidad antropogénica es más significativa con respecto a aportes de metales pesados al suelo. Es por ello que las concentraciones más altas de metales pesados en el suelo provienen principalmente de actividades de explotación de unidades mineras metálicas, que aportan dichos elementos en formas de sulfuros y óxidos. Si bien las actividades mineras son las mayores aportantes de metales pesados en el suelo, existen otras actividades económicas que también son aportantes de metales pesados, estas son: las actividades agrícolas, las plantas de generación eléctrica, las actividades industriales y los residuos domésticos.

La dinámica de los metales pesados está en función de varios factores que condicionan su movilidad en los suelos, estos factores son: pH, temperatura, textura, composición química del metal, entre otros factores. Es por esta razón que los metales pesados tienden a quedarse atrapados en la capa más superficial del suelo, sin embargo, pequeñas cantidades logran infiltrarse a capas internas (Galán y Romero, 2008).

Navarro et al. (2007) plantea que los metales pesados se movilizan a través de cuatro rutas de movilización, estas serían: volatilización, infiltración, absorción y adsorción.

### ***2.2.7 Drenaje Acido de Mina***

Corzo Remigio (2015) plantea que la generación del drenaje ácido de mina es uno de los factores más críticos resultantes de una actividad minera en operación o abandonada, debido a que propicia la generación de un compuesto con altas concentraciones de sulfatos ferrosos y no ferrosos que podría afectar la estabilidad del medio y generar daños a la salud de los organismos vivos. El drenaje ácido de mina se forma por la reacción de oxidación de minerales sulfurados que, dicho sea de paso, son compuestos que abundan en las minerías polimetálicas, y como producto de la oxidación de los minerales sulfurados se genera el ácido sulfúrico quien es el encargado de

desprender los metales y metaloides que posteriormente forman parte de los suelos y son capaces de persistir por muchos años y acumularse en la red trófica.

### **2.2.8 Acumulación de metales pesados en plantas**

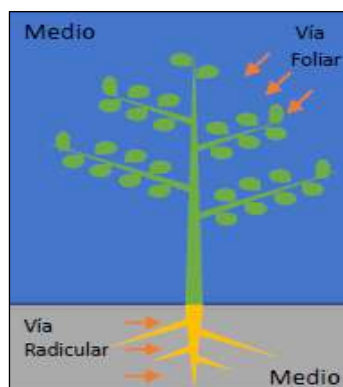
De acuerdo a lo descrito por Vergara Allende (2019) los metales pesados se acumulan en la estructura de los organismos vivos siempre y cuando estos se encuentren en formas asimilables, además que conlleva una serie de procesos que están condicionados por factores propios del metal y del organismo. No obstante, al ingresar dentro de la estructura del organismo vivo se inicia el ciclo de biomagnificación a través de la red trófica.

Rivera y Alarcón (2024) menciona que las plantas poseen características para bioacumular metales pesados en su estructura celular. Adaptándose a las condiciones naturales del suelo o a aquellos que han sido modificados por acción del hombre, generalmente las especies que tienen mayor capacidad de adaptación para subsistir en suelos con presencia de metales pesados poseen poca biomasa, pero han desarrollado su capacidad de absorción y traslocación de los elementos que, aun no siendo necesarios para la actividad metabólica vegetal, estos son distribuidos y almacenados en sus tejidos.

Sin embargo, no todos los metales pesados presentes en el suelo, son absorbibles por las especies vegetales, sino, solo aquellos que químicamente son biodisponibles para ser absorbidos por las raíces de las plantas; la introducción de estos metales se puede dar por vía foliar o radical, siendo esta última la mayor vía de acumulación (Rivera y Alarcón, 2024).

### **Figura 2**

*Vías de exposición de los metales pesados en plantas*



*Nota.* Rutas de ingreso de metales pesados a los órganos vegetales, Fuente: Carriquiriborde (2021).

### 2.2.9 Plantas Nativas

A razón de los antecedentes revisados previos a la ejecución del presente estudio, se seleccionaron tres especies de plantas nativas de la relavera de la mina Llipa, las cuales son propiamente autóctonas del lugar y se han adaptado eficientemente en el entorno de la relavera, destacando su número poblacional y características morfológicas. A continuación, se describen las características de las tres plantas nativas que fueron muestreadas para su análisis de laboratorio.

**Tabla 1**

*Clasificación taxonómica de la planta nativa 1*

<b><i>Ophryosporus peruvianus</i> (Secklla)</b>	
Reino	<i>Plantae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Género	<i>Ophryosporus</i>
Especie	<i>Ophryosporus peruvianus</i>

*Nota.* En la tabla se detalla la clasificación taxonómica de la *Ophryosporus peruvianus*, adaptado de Mattos y Collantes (2020)

**Tabla 2**

*Clasificación taxonómica de la planta nativa 2*

<b><i>Calceolaria sp.</i> (Globito)</b>	
Reino	<i>Plantae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Lamiales</i>
Familia	<i>Calceolariaceae</i>
Género	<i>Calceolaria L.</i>
Especie	<i>Calceolaria sp</i>

*Nota.* En la tabla se muestra la clasificación taxonómica de la planta *Calceolaria sp*; Adaptado de Gamarra Gómez (2012).

**Tabla 3***Clasificación taxonómica de la planta nativa 3*

<b><i>Senecio vulgaris</i> (Rakish)</b>	
Reino	<i>Plantae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Asterales</i>
Familia	<i>Asteraceae</i>
Género	<i>Senecio</i>
Especie	<i>S. vulgaris</i>

*Nota. En la tabla se muestra la clasificación taxonómica de la planta Senecio vulgaris;*

Adaptado de Hamilton Beltrán (2001).

### **2.2.10 Metodología de ensayo de laboratorio**

**EPA Method 3051-2007:** La Agencia de Protección Ambiental de EE. UU (EPA, 2007) menciona que es una metodología basada en la extracción del analito con el uso de ácido nítrico o en su defecto ácido nítrico más ácido clorhídrico, posteriormente el concentrado es llevado a microondas y se utiliza para determinar la concentración de la mayoría de los metales y metaloides en las matrices de suelo, sedimentos y algunos aceites. La solución producida es analizable por espectrofotometría de absorción atómica de llama (FLAA), espectrofotometría de absorción atómica en horno de grafito (GFAA) y espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).

## **2.3 Definición de términos básicos**

### **Relaves**

Según el Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 1995) “se definen como el desecho mineral sólido de tamaño entre arena y limo provenientes del proceso de concentración que son producidos, transportados o depositados en forma de lodo” (p. 9).

### **Metales pesados**

IUPAC (como se citó en Medina y Montano ,2013) menciona que “son aquellos elementos químicos que presentan una densidad superior a 5 g/cm<sup>3</sup>, una masa atómica mayor a la del sodio de 22,99 g/mol y número atómico superior a 20” (p. 24).

## **Pasivos Ambientales Mineros (PAM)**

Según la Ley 28271 (2004):

Son consideradas pasivos ambientales aquellas instalaciones, efluentes, emisiones, restos o depósitos de residuos producidos por operaciones mineras, en la actualidad abandonadas o inactivas y que constituyen un riesgo permanente y potencial para la salud de la población, el ecosistema circundante y la propiedad. (p. 1)

### **Bioacumulación**

Se considera al proceso de acumulación de un contaminante dentro de la estructura de un organismo, esto puede desarrollarse por diferentes fuentes de exposición y son el resultado de los procesos de absorción, distribución, biotransformación y depuración (Carriquiriborde, 2021).

### **Factor de bioconcentración**

Se refiere al cociente de concentración del contaminante acumulado en los tejidos inferiores de la planta (raíz), asociado a la fuente de exposición: agua, suelo, aire y alimento, si el  $FBC > 10$  son Hiperacumuladoras, si  $FBC > 1$  son Acumuladoras y si  $FBC < 1$  son Excluseras. (Carriquiriborde, 2021).

### **Factor de bioacumulación**

Es el cociente de la concentración de metales en los órganos aéreos (tallos, hojas y flores) de las plantas sobre las concentraciones de los metales presentes en la fuente de exposición (Carriquiriborde, 2021).

### **Factor de traslocación**

Es el coeficiente resultante del cociente de la concentración del contaminante acumulado en las estructuras superiores: hojas, tallos, flores y frutos, con respecto a la concentración del contaminante acumulado en las estructuras inferiores : raíz (Romero y Bravo, 2021).

### **Plantas nativas**

Son aquellos individuos aborígenes de una zona geográfica que se adaptaron al escenario climático, del tipo de suelos, etc (Cané et al. 2024)

## 2.4 Operacionalización de las variables

**Tabla 4**

*Cuadro de operacionalización de variables*

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidades	Técnicas de análisis de datos
<b>Variable 1</b> Niveles de bioacumulación de metales pesados en plantas nativas de la relavera de la mina Llipa	Se define como la cantidad de metales pesados hallados en los tejidos vegetales de las plantas nativas de la relavera de la mina Llipa	Alto	>4 MP	#metales pesados bioacumulados /Planta nativa	<b>Técnicas:</b> -Muestreo y cuantificación por transectos <b>Instrumentos:</b> - Escala de niveles de bioacumulación - Cuaderno de campo - Plan de muestreo de tejidos vegetales
		Medio	$2 \leq MP \leq 4$		
		Bajo	>2MP		
<b>Variable 2</b> Concentración de metales pesados bioacumulados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn)	Es la cuantificación de metales pesados presentes en los tejidos vegetales (tallos, hojas y raíz) de las plantas nativas de la relavera de la mina Llipa, Romero y Bravo (2021)	Metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn)	Concentración de: As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn	mg/Kg	<b>Técnicas:</b> - Muestreo y análisis en laboratorio <b>Instrumentos:</b> - Informes de ensayo del laboratorio acreditado. - Tabla comparativa. -Norma internacional

## **CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

### **3.1 Diseño metodológico**

#### ***3.1.1 Tipo de investigación***

La investigación es de tipo descriptivo observacional, ya que no manipula las variables de la investigación, si no, solo analiza su estado actual para tomar como base en futuras investigaciones.

#### ***3.1.2 Nivel de investigación***

El nivel es descriptivo, debido a que evalúa cuantitativamente los niveles de bioacumulación que tiene la variable 1 (Niveles de bioacumulación de metales pesados en plantas nativas de la relavera de la mina Llipa) sobre la variable 2 (concentración de metales pesados bioacumulados; As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Zn)

#### ***3.1.3 Diseño de investigación***

Es no experimental transversal, ya que se analizan las concentraciones de la variable 2 en un tiempo y cantidad determinados, sin manipular las variables.

#### ***3.1.4 Enfoque de investigación***

El presente trabajo fue diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, debido a que se utiliza la recolección y análisis de datos numéricos, como lo es la concentración de metales bioacumulados y la cantidad de especies de plantas nativas identificadas en el entorno de la relavera.

### **3.2 Población y muestra**

#### ***3.2.1 Población***

La Población está comprendida por la totalidad de especies de plantas nativas existentes en la relavera de la mina Llipa, es preciso mencionar que el área total del estudio está delimitada en el Anexo 3.

#### ***3.2.2 Muestra***

La muestra está comprendida por 3 especies de plantas nativas existentes en la relavera de la mina Llipa, de las que se colectaron 12 muestras de tejido vegetal: 6 muestras de tallos, hojas y flores, y 6 muestras de raíces. De cada de planta nativa se tomaron 2 muestras de tejido radicular y 2 muestras de tejido aéreo, y además se tomaron 2 muestras de suelos.

### 3.3 Técnicas de recolección de datos

La metodología empleada para el muestreo de tejido vegetal de las tres especies nativas se desarrolló a partir de una adaptación de los criterios establecidos en la “Guía de Inventario de Flora y Vegetación”, dado que la normativa nacional no contempla un procedimiento específico para el monitoreo de tejidos vegetales. En paralelo, el muestreo de suelos se ejecutó conforme a los lineamientos establecidos en la “Guía para el Muestreo de Suelos” (MINAM, 2014, 2015).

#### 3.3.1 Procedimiento para el muestreo de tejido vegetal

- a. Para la toma de muestras de tejido vegetal se demarcaron ocho transectos de dimensiones 5m x 5m al interior del área total del estudio (relavera de la mina Llipa), la demarcación del transecto fue realizado con cuatro estacas de madera y delimitado por cuerdas (*Figura 21*); se delimitaron un total de 8 transectos que se distribuyeron estratégicamente de tal forma que se abarque toda el área de estudio y se codificaron en orden alfabético desde la A hasta la H. Para de esta manera tener una mejor representatividad de las muestras, con el fin de evaluar posibles diferencias en las concentraciones de los metales pesados dentro de los tejidos vegetales, que pudieran estar influenciadas por las condiciones topográficas que tendrían incidencia en el grado de exposición de las plantas a los analitos, se diferenciaron dos zonas de muestreo (ver *Anexo 3*).

*Zona alta*, cuya área está constituida por la parte superior de una línea horizontal proyectada que cruza por el medio de la relavera, donde los factores principales de aporte de material de relave a las plantas son: arrastre antrópico, arrastres por acción del viento y arrastre por acción de animales.

*Zona Baja*, cuya área está conformada por la parte inferior de la línea horizontal proyectada, donde los factores de aporte de material de relave a las plantas nativas serían los mismos que los de la zona alta, sumado al arrastre pluvial durante los meses de invierno, que, dicho sea de paso, es el factor más influyente dada la pendiente favorable y las altas tasas de precipitación de la zona.

- b. Luego de demarcar el área del transecto, se procedió a la identificación y cuantificación de las especies de plantas nativas dentro del polígono demarcado, para lo cual se utilizó una ficha de campo donde se anotaron datos de las especies existentes dentro de los transectos. De esta manera, al finalizar la cuantificación de las especies en los ocho transectos, se identificó a tres especies de plantas nativas (*Ophryosporus peruvianus*, *Calceolaria thyrsiflora* y *Senecio vulgaris*) con mayor representatividad poblacional, las cuales fueron

elegidas para la toma de muestras de tejido vegetal.

- c. Luego de identificadas las tres especies de plantas nativas, se tomaron las muestras de tejido vegetal, para lo cual se utilizaron tijeras bien desinfectadas para cortar 500 gramos de muestra que se empaquetaron en sobres de papel y se conservaron en un cooler para su posterior envío al laboratorio SGS; es preciso mencionar que durante toda la labor de muestreo se utilizaron los EPPs adecuados para la recolección de las muestras, adicional a ello, cabe mencionar que la cantidad de muestra y los materiales para la conservación obedecen a las indicaciones del laboratorio. De esta manera se garantiza la trazabilidad de los resultados del análisis. Por otro lado, como herramientas utilizadas para la toma de muestras de tejido radicular, se utilizaron pico y palas para descubrir las raíces del suelo y poder obtener el material radicular necesario. Cabe precisar que todas las muestras de tejido vegetal fueron muestras compuestas, produciendo una muestra compuesta por especie de ambas zonas de muestreo (ver **Anexo 5** y **Anexo 7**).
- d. Finalmente, se rotularon todas las muestras con los datos de ubicación, código de muestra, entre otros datos necesarios.

### **3.3.2 Procedimiento para el muestreo de suelos**

La toma de muestras de los suelos fue realizado conforme lo establece la Guía nacional para el muestreo de suelos (MINAM, 2014).

- a. Dentro del área de cada transecto se excavaron cinco calicatas de 20 cm x 20 cm x 30 cm, de dónde se extrajeron cinco muestras puntuales. La profundidad de muestreo fue adoptada de acuerdo a la guía de muestreo de suelos, además de que se pudo apreciar que las raíces de las plantas muestreadas alcanzaban ese rango de altura.
- b. Luego de haber obtenido todas las muestras puntuales de cada transecto, se mezclaron todas las muestras puntuales de la zona alta y la zona baja, y se realizó la técnica del cuarteo de muestras que consiste en la homogenización de las muestras puntuales, luego dividir en cuatro partes y tomar los dos extremos opuestos y descartar los otros dos extremos restantes; en el **Anexo 6** se presentan las fotografías del procedimiento de cuarteo aplicado a las muestras de suelos de la relavera de la mina Llipa.
- c. Luego de realizar el cuarteo dos veces, se obtuvo una muestra final compuesta que se envasó en una bolsa ziploc de 500g, debidamente rotulada con los datos habituales como: tipo de muestra, coordenadas, zona de muestreo, hora y fecha. Posteriormente se conservaron en un cooler para su envío a laboratorio, de este modo de tomaron dos muestras de suelo, una muestra de la zona alta y una de la zona baja.

### 3.4 Técnicas para el procesamiento de la información

Para la definición de los niveles de bioacumulación se estableció una escala cualitativa sustentada en la revisión bibliográfica de estudios sobre bioacumulación y dinámica de metales pesados en tejidos vegetales, donde se reconoce que la capacidad de una planta para incorporar múltiples metales es un indicador robusto de su eficiencia bioacumuladora, dado que la absorción simultánea de varios elementos sugiere la presencia de mecanismos fisiológicos especializados, como transportadores inespecíficos de los metales pesados.

En ese sentido, la clasificación empleada considera la cantidad de metales pesados incorporados por cada especie como un criterio funcionalmente relevante, ya que permite discriminar entre plantas con capacidad limitada, moderada o altamente desarrollada para captar estos elementos en sus tejidos estructurales desde suelos contaminados como los relaves, lo cual constituye un descriptor adecuado del comportamiento bioacumulativo en ecosistemas alterados.

Con base en ello, se definieron tres niveles de bioacumulación, expresados en función del número de metales pesados detectados en los tejidos:.

**Tabla 5**

*Escala de niveles de bioacumulación de metales pesados*

Niveles	# de metales bioacumulados
Alto	>4 MP
Medio	2= $\leq$ MP $\leq$ 4
Bajo	<2MP

*Nota.* Los niveles establecidos son de elaboración propia.

MP= Metales pesados.

En la Tabla 6, se detallan las fórmulas utilizadas para el cálculo de los factores de concentración como parte del procesamiento de la información.

**Tabla 6**

*Fórmulas para el cálculo de bioconcentración, bioacumulación y translocación*

Formulas	
Factor de Bioconcentración	$FBC = C_{\text{tejido de raíz}} / C_{\text{suelo}}$
Factor de Bioacumulación	$FBA = C_{\text{aéreas}} / C_{\text{suelo}}$
Factor de Translocación	$FT = C_{\text{aéreas}} / C_{\text{raíces}}$

*Nota.* Datos adaptados de “Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros”, Romero y Bravo (2021)

C= Concentración del metal pesado

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS

### 4.1 Análisis de resultados

Con los valores encontrados se elaboró las siguientes tablas donde se detallan en primer lugar los niveles de bioacumulación de los metales pesados en las tres plantas nativas, los cuales se aprecian en las tablas 7 y 8; la interpretación de los niveles de bioacumulación se realizó en función a los resultados de laboratorio, los que se muestran en las tablas 9, 10 y 11 sucesivamente. Asimismo se presenta en la tabla 12 los resultados del proceso de identificación de plantas nativas donde se puede apreciar la totalidad de las especies halladas, incluidas las tres plantas usadas para el muestreo de tejido vegetal. Con todos los datos antes mencionados se presentan los cálculos de los factores de bioconcentración en las tablas 13,14 y 15. Finalmente en la tabla 16 se muestra la comparación de las concentraciones de los metales en las tres plantas nativas con respecto a la “norma internacional China GB 2762-2012”.

#### 4.1.1 Resultados de niveles de bioacumulación de las tres plantas nativas

**Tabla 7**

*Metales pesados hallados en las tres plantas nativas de la relavera de la mina Llipa.*

Parámetros (mg/kg)	<i>Ophryosporus peruvianus</i>		<i>Calceolaria thyrsiflora</i>		<i>Senecio vulgaris</i>	
	PN1- AH-01	PN1- BH-01	PN2AH- 01	PN2BH- 01	PN3AH- 01	PN3BH- 01
Arsénico	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cadmio	Si	Si	No	No	Si	Si
Cobre	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Cromo	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Mercurio	No	No	No	No	Si	Si
Plomo	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Zinc	Si	Si	Si	Si	Si	Si

*Nota.* En la tabla anterior se muestran los niveles de bioacumulación de las tres plantas nativas evaluadas de la relavera de la mina Llipa, en donde se puede apreciar que las tres especies, en ambas zonas (Alta y Baja) presentaron concentraciones de más de 4 metales en los tejidos aéreos (tallos, hojas y flores).

En función a la escala de niveles de bioacumulación establecidos en la Tabla 5 y Tabla 7, y de acuerdo de a la cantidad de metales hallados en cada planta nativa analizada, a continuación, se presentan los niveles de bioacumulación registrados en el estudio.

**Tabla 8**

*Niveles de bioacumulación de metales pesados en las tres plantas nativas*

<b>Planta Nativa</b>	<b># de metales pesados hallados</b>	<b>Nivel de bioacumulación</b>
<i>Ophryosporus peruvianus</i>	6	Alto
<i>Calceolaria thyrsoiflora</i>	5	Alto
<i>Senecio vulgaris</i>	7	Alto

*Nota.* En la tabla se presentan el número de metales pesados hallados en cada planta y el nivel bioacumulación de los mismos.

#### **4.1.2 Resultados de ensayo de laboratorio de las muestras de suelo y tejido vegetal de la relavera de la mina Llipa.**

A continuación, en la Tabla 9 se presentan los resultados de las concentraciones de metales pesados hallados en el ensayo de laboratorio realizado a las muestras de suelos de la relavera de la mina Llipa. Asimismo, en las tablas 10 y 11 se muestran las concentraciones de metales pesados, halladas en los tejidos de vegetales.

**Tabla 9**

*Resultados de concentración metales pesados en suelos*

<b>Parámetros (mg/kg)</b>	<b>Unidades</b>	<b>Límites de Ensayo</b>		<b>Código de muestra</b>	
		<b>L.D</b>	<b>L.C</b>	<b>SZA-01</b>	<b>SZB-01</b>
Arsénico	mg/kg	0.897	2.857	26.278	15.005
Cadmio	mg/kg	0.045	0.144	0.416	0.308
Cobre	mg/kg	0.357	1.136	6216.185	3958.647
Cromo	mg/kg	0.314	1.001	7.999	7.655
Mercurio	mg/kg	0.082	0.262	<0.262	<0.262
Plomo	mg/kg	0.109	0.346	16.286	10.407
Zinc	mg/kg	0.607	1.934	51.260	43.539

*Nota.* En la tabla se muestran las concentraciones de los metales pesados hallados en las muestras de suelo, donde SZA-01 corresponde a la muestra de suelo de la zona alta y SZB-01 corresponde a la muestra de suelo de la zona baja, Fuente: Informe de Ensayo MA2433111-0.

En la Tabla 9 se observa que las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc están presentes en ambas zonas y presentan una tendencia consistente: los valores de la zona alta (SZA-01) son mayores que los registrados en la zona baja (SZB-01). Esta distribución sugiere que la zona alta mantiene una mayor acumulación o concentración residual del aporte histórico de los relaves, posiblemente debido a su proximidad al punto principal de deposición o a un menor grado de dispersión gravitacional y erosiva.

En cuanto a las magnitudes específicas, el cobre destaca como el metal de mayor concentración, alcanzando valores de 6216.19 mg/kg en SZA-01 y 3958.65 mg/kg en SZB-01, lo que confirma su predominancia en los suelos de la relavera de la Mina Llipa. Este comportamiento es consistente con la mineralogía típica de pasivos mineros metalíferos. Le siguen en abundancia el zinc, el arsénico y el plomo, todos en niveles elevados y superiores a los registrados para metales como el cadmio y el cromo.

En el caso del mercurio, ambos resultados se encuentran por debajo del límite de cuantificación (<0.262 mg/kg), por lo que no es posible establecer diferencias significativas entre las zonas ni evaluar su magnitud real. No obstante, su presencia por debajo del L.C. indica que, aunque puede existir en trazas, no se detecta en niveles relevantes en la matriz analizada.

Comparativamente, el arsénico, el cobre y el plomo muestran reducciones notorias entre la zona alta y la zona baja, lo que sugiere procesos de movilización descendente, ya sea por transporte hídrico superficial, infiltración o arrastre gravitacional del material particulado. Aun así, las concentraciones en la zona baja siguen siendo suficientemente elevadas como para representar un riesgo potencial para la biota terrestre y para los cuerpos de agua aledaños debido a la posible lixiviación.

**Tabla 10**

*Resultados de concentración de metales pesados en tejido vegetal (Raíces)*

Parámetros (mg/kg)	Límites de Ensayo		Código de muestra					
	L.D	L.C	PN1-AR- 01	PN2AR- 01	PN3AR- 01	PN1-BR- 01	PN2BR- 01	PN3BR- 01
Arsénico	0.05	0.17	0.91	0.46	0.67	0.56	0.34	0.7
Cadmio	0.03	0.1	0.67	<0.10	0.43	0.32	0.14	0.32
Cobre	0.04	0.12	185.84	119.39	125.4	169.01	155.43	116.35
Cromo	0.16	0.5	1.85	1.31	2.07	2.08	1.5	2.3
Mercurio	0.003	0.01	No detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable
Plomo	0.07	0.24	0.86	<0.24	0.32	<0.24	<0.24	0.32
Zinc	0.12	0.5	24.65	No Detectable	No Detectable	< 0.50	< 0.50	< 0.50

*Nota.* En la tabla se muestran las concentraciones de los metales pesados hallados en las raíces de las tres plantas nativas, donde los códigos PN1-AR-01 y PN1-BR-01 corresponden a las muestras de raíces de la planta nativa *Ophryosporus peruvianus*, los códigos PN2AR-01 y PN2BR-01 corresponden a la planta nativa *Calceolaria thyrsoiflora* y finalmente los códigos PN3AR-01 y PN3BR-01, pertenecen a las muestras de la planta nativa *Senecio vulgaris*. Fuente: Informe de Ensayo AG2434865.

En la Tabla 10 se observa que las muestras de raíces de las tres especies nativas evaluadas muestran la presencia de varios metales pesados en concentraciones superiores a los límites de detección y cuantificación, lo que permite una interpretación confiable de los datos. El cobre es el metal predominante en todas las especies, con valores que oscilan entre 116.35 mg/kg y 185.84 mg/kg, lo cual evidencia una alta disponibilidad de este metal en el sustrato y una notable capacidad de absorción por las raíces. Por otro lado, el arsénico presenta concentraciones moderadas (0.34–0.91 mg/kg) en todas las plantas, mientras que el cromo muestra valores relativamente bajos pero consistentemente detectables (1.31–2.30 mg/kg). Mientras que, el mercurio no fue detectable en ninguna de las muestras, lo que sugiere una presencia mínima o ausencia en la matriz radicular o una concentración por debajo de la capacidad analítica del método.

El cadmio, el plomo y el zinc presentan variabilidad entre especies y zonas de muestreo. Asimismo, se observa que el cadmio es detectable en la mayoría de muestras, aunque con niveles bajos, mientras que el plomo aparece solo en algunos casos por encima del límite de cuantificación, indicando una absorción más limitada o menor disponibilidad en el medio. Por otra parte, el zinc mostró detecciones puntuales, con un valor destacado de 24.65 mg/kg en PN1-AR-01 (*Ophryosporus peruvianus*), mientras que en las demás muestras estuvo por debajo del límite de cuantificación. En conjunto, los resultados evidencian diferencias en la capacidad de absorción entre las especies, donde *Ophryosporus peruvianus* muestra mayor diversidad de metales bioacumulados, seguida de *Calceolaria thyrsiflora* y *Senecio vulgaris*, lo que aporta información relevante sobre el comportamiento bioacumulador de la vegetación nativa presente en la relavera de la Mina Llipa.

**Tabla 11**

*Resultados de concentración de metales pesados en tejido vegetal (tallo hojas y flores).*

Parámetros (mg/kg)	Límites de Ensayo		Código de muestra					
	L.D	L.C	PN1-AH-01	PN2AH-01	PN3AH-01	PN1-BH-01	PN2BH-01	PN3BH-01
Arsénico	0.05	0.17	0.45	2.05	2.32	0.40	0.90	1.69
Cadmio	0.03	0.10	0.59	<0.10	0.81	0.82	<0.10	0.89
Cobre		0.04	0.12	44.39	265.23	440.97	64.62	263.34
Cromo	0.16	0.50	1.11	3.82	8.89	3.18	3.32	6.75
Mercurio	0.00	0.01	No Detectable	<0.010	0.01	No Detectable	<0.010	0.01
Plomo	0.07	0.24	0.47	1.06	1.44	0.27	0.59	1.06
Zinc	0.26	0.85	27.93	20.43	16.02	36.62	30.66	35.82

*Nota.* En la tabla se muestran las concentraciones de los metales pesados hallados en las hojas tallos y flores de las tres plantas nativas estudiadas, del mismo modo que la codificación anterior,

los códigos de muestra PN1-AH-01 y PN1-BH-01 corresponden a las muestras de raíces de la planta nativa *Ophryosporus peruvianus*, los códigos PN2AH-01 y PN2BH-01 corresponden a la planta nativa *Calceolaria thyrsiflora* y finalmente los códigos PN3AH-01 PN3BH-01, pertenecen a las muestras de la planta nativa *Senecio vulgaris*, de acuerdo al Informe de Ensayo AG2434873.

Los resultados de la Tabla 11 evidencian que los metales pesados arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc presentan concentraciones superiores a los límites de cuantificación en la mayoría de las muestras, lo que confirma procesos activos de absorción y translocación hacia la parte aérea de las plantas. Se observa que *Calceolaria thyrsiflora* (PN2AH-01) y *Senecio vulgaris* (PN3AH-01) exhiben los valores más elevados de arsénico con 2.05 mg/kg y 2.32 mg/kg respectivamente, además de altas concentraciones de cadmio (0.81–0.89 mg/kg) y cobre, destacando especialmente este último con niveles de 265.23 mg/kg y 440.97 mg/kg, los más altos registrados entre todas las muestras. En cambio, el mercurio se mantiene en niveles no detectables o apenas cuantificables (0.01 mg/kg), lo que evidencia su baja movilidad hacia los tejidos superiores. Sin embargo, es un valor importante, puesto que en las muestras de suelo no se halló presencia de este metal.

Del mismo modo, el zinc presenta concentraciones significativas, alcanzando valores representativos como 36.62 mg/kg en PN1-BH-01 y 35.82 mg/kg en PN3BH-01, lo que demuestra una alta capacidad de acumulación en biomasa aérea. El cromo también muestra presencia en especies como *Senecio vulgaris*, donde se registran valores de hasta 8.89 mg/kg. Estas variaciones entre especies y entre zonas de muestreo (zona alta vs zona baja) reflejan diferencias en la eficiencia fisiológica de captación y transporte interno de metales pesados, constituyendo información clave para evaluar su potencial en estrategias de fitorremediación y para comprender los mecanismos de transferencia de contaminantes dentro del ecosistema de la Mina Llipa.

#### **4.1.3 Resultados de identificación de Plantas Nativas**

Para la identificación de las especies vegetales nativas presentes en el entorno de la relavera, se utilizó una ficha de identificación de especies vegetales, la cual se encuentra en el *Anexo 5*. Conforme a lo establecido en el *Ítem 3.3.1*, se definieron ocho transectos de 5 m × 5 m que sirvieron como unidades de muestreo sistemático para el registro florístico. En cada transecto se aplicó el inventario correspondiente mediante el empleo de las fichas de campo, lo que permitió documentar la composición y distribución de la vegetación local.

Los resultados obtenidos se presentan a continuación, mostrando las especies identificadas en cada transecto y permitiendo reconocer patrones de presencia y dominancia. A partir de esta evaluación, se seleccionaron las tres especies con mayor densidad poblacional y mejor grado de adaptación a las condiciones propias de los relaves, las cuales fueron consideradas representativas para la toma de muestras de tejido vegetal. Las características botánicas específicas de estas tres especies se detallan en el Ítem 2.2.9, lo que complementa el análisis integral de su potencial respuesta frente a la presencia de metales pesados en el sustrato.

**Tabla 12**

*Resultados de identificación de plantas Nativas de la relavera*

Nombre Local	Plantas Nativas Nombre Científico	Imagen referencial	N° de Individuos por Transecto								Total
			A	B	C	D	E	F	G	H	
Secklla	<i>Ophryosporus peruvianus</i>	Figura 10	17	11	6	14	18	13	10	13	102
Globito	<i>Calceolaria thyrsoiflora</i>	Figura 11	10	9	16	12	9	15	16	17	104
Rackish	<i>Senecio vulgaris</i>	Figura 12	9	11	17	5	11	9	13	10	85
Cunya	<i>Baccharis rupicola Kunth</i>	Figura 13	3	5	8	4	2	-	3	4	29
Gloria Jacha	<i>Lomanthus yauyensis</i>	Figura 14	11	5	8	7	9	5	2	4	51
Chancor	<i>Lupinus aff. brachypremnon</i>	Figura 15	9	5	3	7	5	4	2	7	42
Jirca Muña	<i>Clinopodium speciosum</i>	Figura 16	2	2	3	-	2	3	-	2	14
Huallanca	<i>Austrocyllindropuntia subulata</i>	Figura 17	1	2	1	-	-	2	3	4	13
Muchqui	<i>Hesperomeles cuneata</i>	Figura 18	2	2	3	2	1	-	1	2	13
Quincha	<i>Dasyphyllum ferox</i>	Figura 19	3	2	4	2	1	4	2	-	18

*Nota.* En la Tabla se muestran la cantidad de individuos de cada especie, identificados en los ocho transectos establecidos en el entorno de la relavera de la mina Llipa. Los nombres científicos de las especies vegetales fueron adaptados de Gamarra Gómez (2012), Leiva et al. (2020) y Hamilton Beltrán (2001).

#### 4.1.4 Resultados del cálculo de los factores de bioconcentración, bioacumulación y translocación

**Tabla 13**

*Resultados de cálculo del factor de bioconcentración*

Parámetros (mg/kg)	Factor de bioconcentración (FBC= C tejido de raíz / C suelo)					
	PN1-AR-01	PN2AR-01	PN3AR-01	PN1-BR-01	PN2BR-01	PN3BR-01
Arsénico	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.05
Cadmio	1.61	**	1.03	0.45	0.45	1.04
Cobre	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03
Cromo	0.23	0.16	0.26	0.27	0.20	0.30
Mercurio	**	**	**	**	**	**
Plomo	0.05	**	0.02	**	**	0.03
Zinc	2.08	**	**	**	**	**

*Nota.* En la Tabla 13 se muestran los factores de bioconcentración de las tres plantas nativas estudiadas en ambas zonas de muestreo.

Los resultados del Factor de Bioconcentración (FBC) muestran que las tres especies nativas evaluadas presentan un comportamiento predominantemente excluidor para la mayoría de los metales analizados, dado que los valores obtenidos para As, Cu, Cr y Pb son consistentemente menores a 1 en todos los puntos de muestreo, lo que indica una baja acumulación de estos elementos en los tejidos radicales; no obstante, el Cadmio exhibe FBC mayores a 1 en tres de las seis muestras (1.61; 1.03; 1.04), evidenciando una capacidad efectiva de acumulación radicular por parte de las plantas, mientras que el Zinc muestra un valor elevado (2.08) únicamente en PN1-AR-01, sugiriendo una bioconcentración puntual que no puede generalizarse debido a la ausencia de datos en el resto de unidades de análisis; finalmente, la falta de información para Mercurio impide evaluar su comportamiento en las raíces, aunque su ausencia de detección en otras matrices sugiere niveles muy bajos o no cuantificables en el ambiente evaluado.

**Tabla 14**

*Resultados de cálculo del factor de bioacumulación*

Parámetros (mg/kg)	Factor de bioacumulación (FBA=C aéreas / C suelo)					
	PN1-AR-01	PN2AR-01	PN3AR-01	PN1-BR-01	PN2BR-01	PN3BR-01
Arsénico	0.02	0.08	0.09	0.03	0.06	0.11
Cadmio	1.42	**	1.95	2.66	**	2.89
Cobre	0.00	0.01	0.04	0.11	0.02	0.07
Cromo	0.14	0.48	1.11	0.42	0.43	0.88

Parámetros (mg/kg)	Factor de bioacumulación ( $FBA = C \text{ aéreas} / C \text{ suelo}$ )					
	PN1-AR- 01	PN2AR- 01	PN3AR- 01	PN1-BR- 01	PN2BR- 01	PN3BR- 01
Mercurio	**	**1	**	**	**	**
Plomo	0.03	0.07	0.09	0.03	0.06	0.10
Zinc	0.54	0.40	0.31	0.84	0.70	0.82

*Nota.* En la Tabla 14 se muestran los factores de bioacumulación de las tres plantas nativas estudiadas en ambas zonas de muestreo.

Los resultados de la Tabla 14 evidencian que, en general, las tres especies evaluadas presentan baja capacidad de bioacumulación para la mayoría de metales, dado que la mayoría de valores de FBA son menores a 1. Esto indica que elementos como As, Cu, Cr, Pb y Zn se encuentran en concentraciones más altas en el suelo que en los tejidos aéreos, reflejando un comportamiento característico de especies excludoras. La excepción es el Cadmio, cuyos FBA superan ampliamente el valor de 1 (1.42 a 2.89), lo que confirma que las plantas estudiadas muestran alta eficiencia en la acumulación aérea de este metal, constituyéndose en acumuladoras de Cd y, por tanto, potencialmente útiles para tecnologías de fitoextracción de suelos contaminados con cadmio. Finalmente, no se cuenta con datos para Mercurio, impidiendo su evaluación.

**Tabla 15**

*Resultados de cálculo del factor de traslocación*

Parámetros (mg/kg)	Factor de traslocación ( $FT = C \text{ aéreas} / C \text{ raíces}$ )					
	PN1-AR- 01	PN2AR- 01	PN3AR- 01	PN1-BR- 01	PN2BR- 01	PN3BR- 01
Arsénico	0.49	4.46	3.46	0.71	2.65	2.41
Cadmio	0.88	**	1.88	2.56	**	2.78
Cobre	0.00	0.37	2.12	2.61	0.42	2.26
Cromo	0.60	2.92	4.29	1.53	2.21	2.93
Mercurio	**	**	**	**	**	**
Plomo	0.55	**	4.50	**	**	3.31
Zinc	1.13	**	**	**	**	**

*Nota.* En la Tabla 15 se muestran los factores de traslocación de las tres plantas nativas estudiadas en ambas zonas de muestreo.

Los resultados de la Tabla 15 muestran que el Factor de Traslocación (FT) varía significativamente entre especies y elementos, evidenciando diferencias en la capacidad de movilizar metales desde las raíces hacia los tejidos aéreos. Se observa que Cromo, Cadmio y Cobre presentan los FT más elevados (valores mayores a 2 en múltiples muestras), lo cual indica una alta eficiencia de

\*\* No se halló concentración del analito y/o su valor es menor a los límites de ensayo, por ende, no es factible realizar cálculos de los factores de concentración.

traslocación y, por tanto, un mayor potencial para procesos de fitoextracción. En contraste, Plomo y Arsénico exhiben FT bajos en varias muestras (valores cercanos a 0.5), lo que refleja una acumulación preferencial en raíces y un comportamiento más consistente con fitoestabilización. Finalmente, la ausencia de datos para Mercurio sugiere valores no detectables o bajo umbral de cuantificación, impidiendo su evaluación comparativa.

#### 4.1.5 Resultados de comparación de los metales bioacumulados con los estándares GB 2762-2012

En esta sección se presentan las comparaciones entre las concentraciones de metales pesados bioacumulados en los tejidos aéreos (hojas, tallos y flores) de las tres especies de plantas nativas seleccionadas y los límites máximos de contaminantes establecidos por la normativa de la República Popular China GB 2762-2012. Para todos los casos se emplearon los valores máximos permitidos para hortalizas de hoja, dado que no existen estándares específicos aplicables a plantas nativas en dicha normativa ni en otras regulaciones internacionales, por lo que este criterio constituye el referente técnicamente compatible para efectos de la evaluación.

**Tabla 16**

*Comparación de la concentración metales bioacumulados con la norma GB 2762-2012.*

Parámetros (mg/kg)	Código de muestra						GB 2762- 2012 (mg/Kg)
	PN1- AH- 01	PN2A H-01	PN3A H-01	PN1- BH-01	PN2B H-01	PN3B H-01	
Arsénico	0.45	2.05	2.32	0.40	0.90	1.69	0.5
Cadmio	0.59	<0.10	0.81	0.82	<0.10	0.89	0.2
Cobre	0.12	44.39	265.23	440.97	64.62	263.34	-
Cromo	1.11	3.82	8.89	3.18	3.32	6.75	0.5
Mercurio	No Detect able	<0.010	0.01	No Detecta ble	<0.010	0.01	0.01
Plomo	0.47	1.06	1.44	0.27	0.59	1.06	0.1
Zinc	27.93	20.43	16.02	36.62	30.66	35.82	-

*Nota.* En la Tabla 16 se presenta el comparativo de las concentraciones de metales pesados hallados en las hojas, tallos y flores, de las tres plantas nativas evaluadas, con los límites máximos establecidos por la norma GB 2762-2012.

Los resultados de la Tabla 16 muestran que las concentraciones de metales pesados presentes en los tejidos aéreos (hojas, tallos y flores) de las tres especies nativas evaluadas superan, en la mayoría de casos, los límites máximos establecidos por la norma GB 2762-2012 para hortalizas de hoja, lo que evidencia procesos activos de bioacumulación en un entorno impactado por relaves mineros. En el caso del arsénico (As), la norma establece un límite de 0.5 mg/kg; sin embargo,

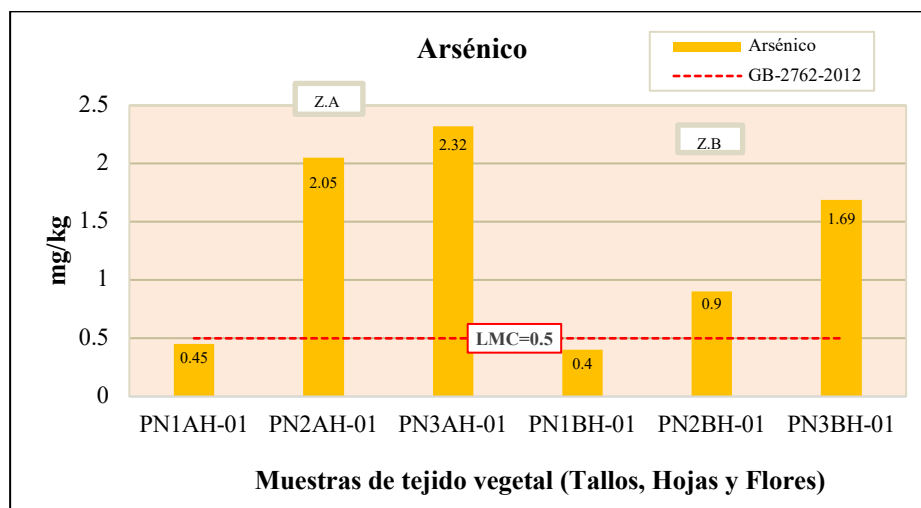
*Calceolaria thyrsiflora* y *Senecio vulgaris* presentan valores elevados, alcanzando 2.05 mg/kg (PN2AH-01) y 2.32 mg/kg (PN3AH-01) respectivamente, lo cual representa incrementos de hasta 4.6 veces el valor permitido. Un patrón similar ocurre con el cadmio (Cd), cuyo límite es 0.2 mg/kg; no obstante, se registraron concentraciones de 0.59 mg/kg, 0.81 mg/kg y 0.89 mg/kg, excediendo entre 2.9 y 4.4 veces lo normado. Estos resultados confirman que los tejidos aéreos actúan como compartimentos receptores eficaces para metales asociados a la matriz de relaves.

En relación con el cromo (Cr), cuyo límite máximo es de 0.5 mg/kg, todas las muestras exhiben valores superiores, destacando 8.89 mg/kg (PN3AH-01) y 6.75 mg/kg (PN3BH-01), lo que implica excedencias de hasta 17 veces el valor de referencia. Asimismo, el plomo (Pb) muestra comportamientos similares, ya que frente a un límite de 0.1 mg/kg, las plantas bioacumulan entre 0.27 mg/kg y 1.44 mg/kg, con el valor máximo observado en *Senecio vulgaris* (PN3AH-01), superando en más de 14 veces el límite permitido. El mercurio (Hg), en cambio, se detecta únicamente en trazas o como no detectable, aunque las pocas detecciones (0.01 mg/kg) alcanzan el límite establecido. En cuanto al cobre (Cu) y zinc (Zn), si bien la norma no establece límites máximos para hortalizas de hoja, los valores son notablemente altos, alcanzando hasta 440.97 mg/kg en Cu y 36.62 mg/kg en Zn, lo que confirma la elevada disponibilidad de estos elementos en la relavera y su eficiente transferencia hacia los tejidos vegetales.

En conjunto, la evidencia analítica confirma que las tres especies presentan una marcada capacidad de bioacumulación en sus estructuras aéreas, siendo *Senecio vulgaris* y *Calceolaria thyrsiflora* las que muestran los mayores niveles acumulados para As, Cd, Cr y Pb. Estos patrones reflejan la influencia directa del pasivo ambiental minero y sugieren que dichas especies podrían considerarse como bioindicadores de contaminación por metales pesados, aunque su consumo por fauna silvestre o ganadera representaría un riesgo sanitario significativo. A continuación, se muestran gráficos de barra comparativos por cada metal evaluado.

**Figura 3**

Comparativo de la concentración de Arsénico con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.

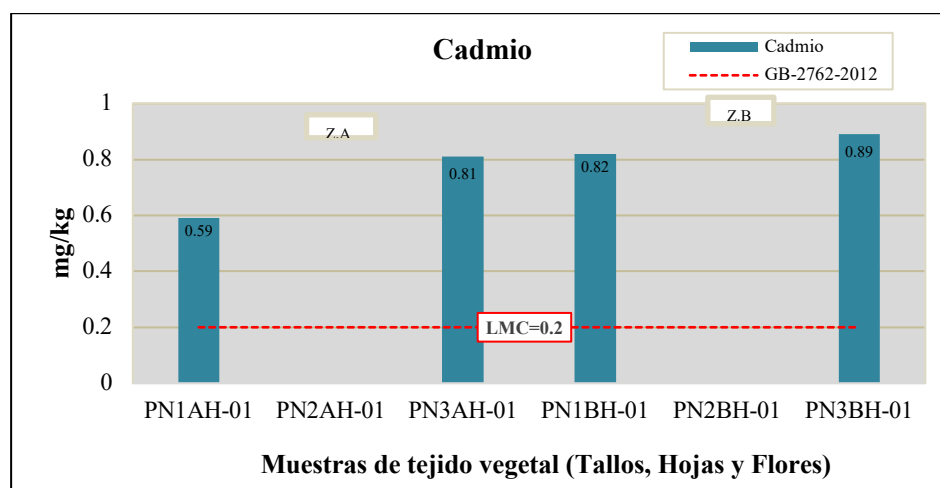


*Nota.* En la figura anterior se muestra la comparación de las concentraciones de arsénico en las seis muestras de tejido vegetal con respecto al límite máximo de la norma GB-2762-2012.

Como se puede observar en la Figura 3, la concentración de arsénico en la planta nativa *Ophryosporus peruvianus* (código: PN1-AH-01 y PN1-BH-01) no excede el límite máximo de contaminante (0.5 mg/Kg), mientras que en los casos de las plantas nativas *Calceolaria thyrsiflora* y *Senecio vulgaris*, códigos (PN2AH-01, PN2BH-01) y (PN3AH-01, PN3BH-01) respectivamente, sobrepasan por una amplia diferencia el valor límite de la norma China.

**Figura 4**

Comparativo de la concentración de Cadmio con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.



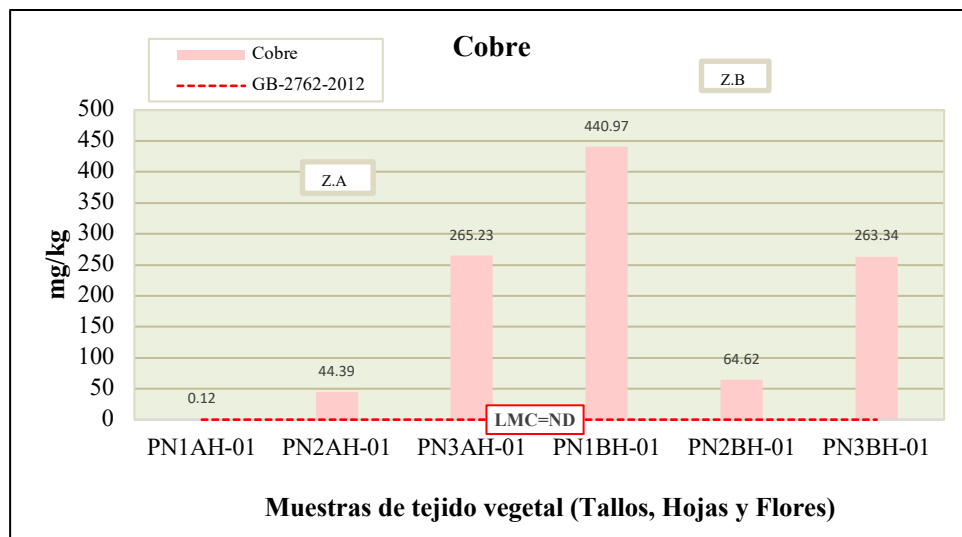
*Nota.* En la figura anterior se muestra la comparación de las concentraciones de Cadmio en las

seis muestras de tejido vegetal con respecto al límite máximo de la norma GB-2762-2012.

Con respecto a la Figura 4 se aprecia que la planta nativa *Ophryosporus peruvianus* con códigos de muestra PN1-AH-01 y PN1-BH-01 exceden notoriamente el límite máximo de la norma (0.2 mg/Kg) para cadmio; en el caso de la planta nativa *Calceolaria thyrsoiflora* de códigos PN2AH-01 y PN2BH-01 no se halló concentración de cadmio, sin embargo, para la tercera planta *Senecio vulgaris* con códigos PN3AH-01 y PN3BH-01 sí exceden el límite máximo de la norma internacional.

### Figura 5

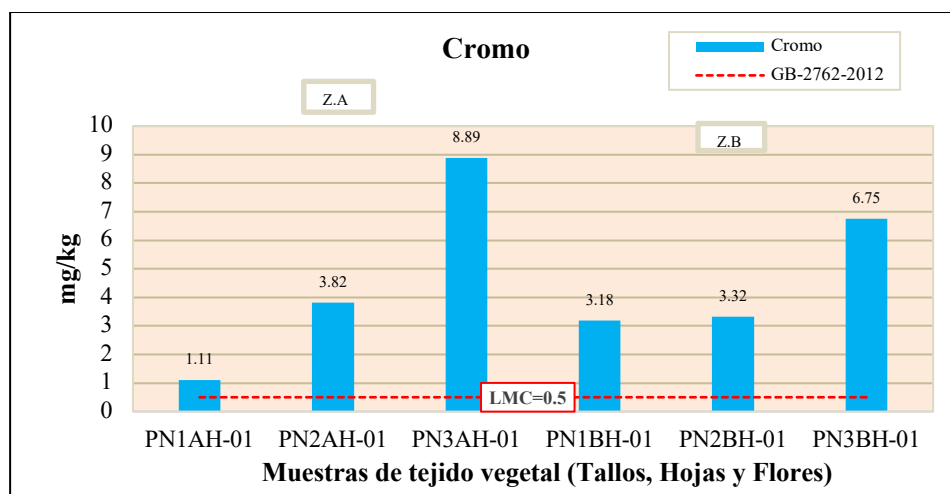
Comparativo de la concentración de Cobre con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.



Nota. En la figura anterior se muestra el gráfico de las concentraciones de Cobre halladas en las seis muestras de tejido vegetal aéreo, sin embargo, no existe límite máximo de contaminante establecido por la norma China GB-2762-2012.

### Figura 6

Comparativo de la concentración de Cromo con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012

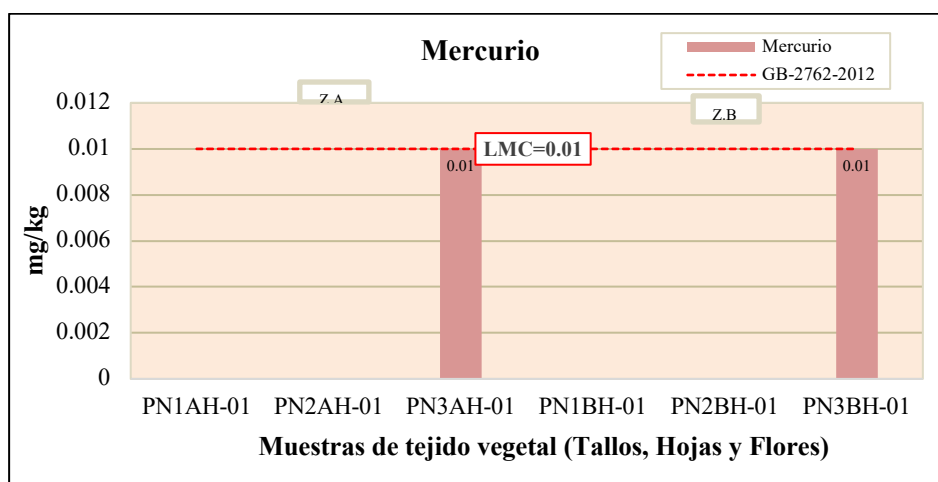


Nota. En la figura anterior se muestra la comparación de las concentraciones de Cromo en las seis muestras de tejido vegetal con respecto al límite máximo de la norma GB-2762-2012.

Como se puede apreciar en la Figura 6, el total de las muestras evaluadas sobrepasa el límite máximo de contaminantes, es decir, las tres plantas nativas presentan concentraciones de Cromo en sus órganos aéreos por encima de la norma internacional China.

### Figura 7

Comparativo de la concentración de Mercurio con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012

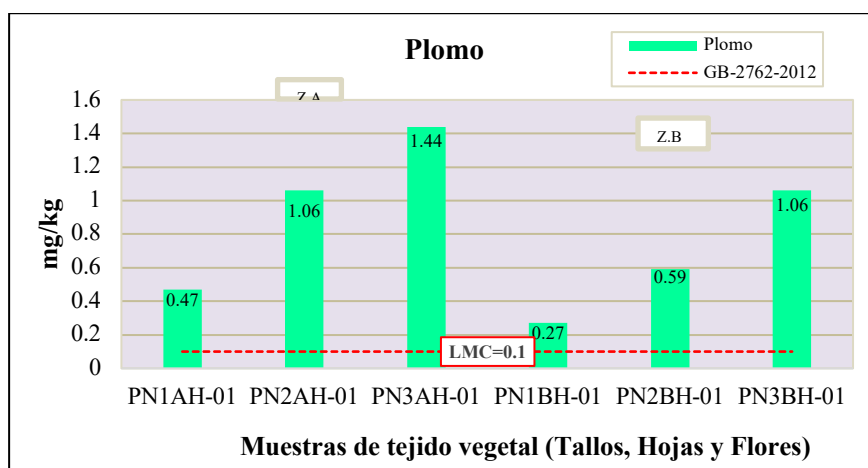


Nota. En la figura anterior se muestra la comparación de las concentraciones de Mercurio en las seis muestras de tejido vegetal con respecto al límite máximo de la norma GB-2762-2012.

Tal como se puede apreciar en la Figura 7, las concentraciones de mercurio en los tejidos vegetales, solo se halló en la planta nativa *Senecio vulgaris* (PN3AH-01, PN3BH-01) pero las concentraciones son iguales al límite máximo (0.01 mg/Kg) establecido por la norma China.

### Figura 8

Comparativo de la concentración de Plomo con el límite máximo de contaminante de la norma

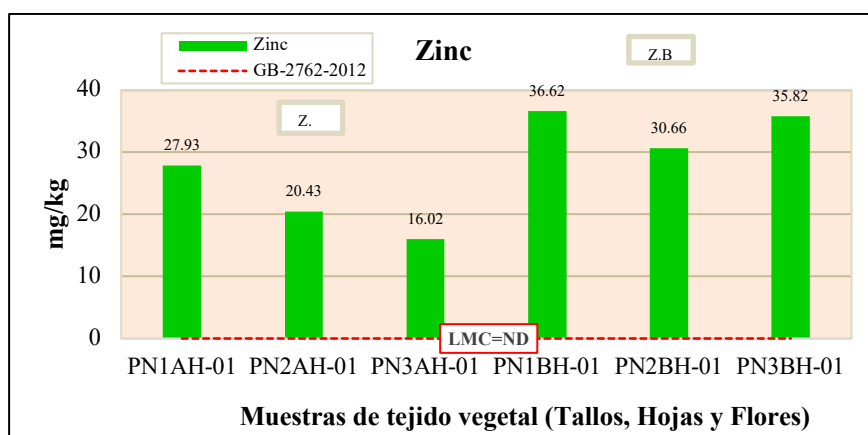


*Nota.* En la figura anterior se muestra la comparación de las concentraciones de Plomo en las seis muestras de tejido vegetal con respecto al límite máximo de la norma GB-2762-2012.

Se puede apreciar en la Figura 8 que todas las muestras evaluadas exceden el límite máximo de contaminantes en alimentos (0.1 mg/Kg), en otras palabras, las tres plantas nativas analizadas, poseen concentraciones de Plomo por encima del valor establecido por la norma China.

### Figura 9

*Comparativo de la concentración de Zinc con el límite máximo de contaminante de la norma GB 2762-2012.*



*Nota.* En la figura anterior se muestra el gráfico de las concentraciones de Zinc halladas en las seis muestras de tejido vegetal aéreo, sin embargo, no existe límite máximo de contaminante establecido por la norma China GB-2762-2012.

## CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

### 5.1 Discusión de resultados.

Los resultados de los niveles de bioacumulación de metales pesados en las tres plantas (*Ophryosporus peruvianus*, *Calceolaria thyrsiflora* y *Senecio vulgaris*) nativas en la relavera de la mina Llipa fueron altos en los tres casos, es decir, las tres plantas nativas evaluadas contenían concentraciones de más de 4 metales pesado en sus tejidos. En ese sentido, a continuación se presentan las comparaciones de los resultados con los obtenidos en los antecedentes.

En la planta nativa *Ophryosporus peruvianus* (Secklla) se halló presencia de seis metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Pb y Zn), resultados que se asemejan a los obtenidos por Brković et al. (2021) quien con la especie *Salix caprea L* determinó acumulación de: Fe, Cu, Cr, Mg, Pb, y P. Si bien son especies diferentes, las condiciones de sustrato fueron similares, es decir, ambas plantas se desarrollaron en relaveras. De este modo se evidencia que las especies nativas presentan eficiencia acumulando metales pesados en sus tejidos.

Para la segunda planta nativa *Calceolaria thyrsiflora* (Globito) se determinó la presencia de cinco metales pesados (As, Cu, Cr, Pb y Zn) los cuales son visiblemente distintos a los resultados que obtuvo Vergara Allende (2019) con la especie *Zea Mayz L* que bioacumuló Cd, Pb y Zn. Pero no es capaz de bioacumular As y Cd, que fueron metales que también estaban presentes en el suelo de la relavera. Pero sí son similares a los resultados obtenidos por Romero y Bravo (2021) quienes en la especie *Stipa Ichu* encontraron mayor eficiencia recuperando Fe, Cu, Cd y Pb. Entendiéndose que ambas especies son de los Andes peruanos y con condiciones agroclimáticas parecidas.

En el caso de la tercera planta nativa *Senecio vulgaris* (Rackish) se halló siete metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn) de tal modo que la hace la más eficiente de las tres plantas evaluadas en la bioacumulación de metales pesados, debido a que es capaz de bioacumular todos los analitos evaluados en esta investigación; estos resultados son parecidos a los que obtuvo Bohan et al. (2021) quien halló que en 7 especies nativas concentraciones de Cd, Cr, Cu, Ni y Zn; que fueron todos los analitos objetivo, de un total de 73 especies nativas evaluadas.

Respecto a los factores de bioconcentración, se pudo determinar que las tres plantas nativas evaluadas son exclusoras para la acumulación de As, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn. Debido a que su factor de bioacumulación calculado fue menor a 1, pero en el caso del Cadmio el factor de bioconcentración fue mayor a 1 en tres de las muestras evaluadas del total de 6, estos resultados se asemejan a los que obtuvieron Petelka et al. (2019), que de su evaluación de 25 especies de

plantas nativas ninguna fue categorizada como hiperacumuladora, a excepción de 7 especies que solo presentaron acumulación de cobre.

Con respecto a las concentraciones de metales pesados halladas en los tejidos vegetales (tallos, hojas y flores), las tres especies evaluadas superan los límites máximos de contaminantes en alimentos establecidos por la norma internacional China GB-2762-2012 en el caso de 3 metales: As, Cd, Cr y Pb. Mientras que para el metal Hg se halló concentración en dos muestras igual al valor de la norma (0.1 mg/Kg). Por otro lado, para los metales Cu y Zn no se puede determinar excedencia o cumplimiento, debido a que la norma no contempla límites para dichos metales. Estos resultados son diferentes a los obtenidos por Cahuana y Aduvire (2019) quienes en su investigación donde evaluaron la bioacumulación de metales pesados con las especies *Stipa mucronata*, *Festuca dolichophylla* y *Cortaderia sp*, encontraron que los metales Cd, Cu, Hg y Zn cumplen con la norma *AAFCO, 1996* y el Real Decreto 747/2001 UNIÓN EUROPEA. Sin embargo, la concentración de Pb sí superó los límites de las normas.

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

Los resultados obtenidos en el estudio sobre la bioacumulación de metales pesados en los tejidos vegetales de las tres especies nativas muestran que las concentraciones de metales acumulados son considerablemente altas. Las tres especies analizadas, tanto en la zona baja como en la zona alta de la relavera de la mina Llipa, evidenciaron la presencia de más de cuatro metales pesados. En particular, *Ophryosporus peruvianus* (Secklla) acumuló arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), plomo (Pb) y zinc (Zn), sumando un total de seis metales. *Calceolaria thyrsoflora* (Globito) presentó As, Cu, Cr, Pb y Zn, con un total de cinco metales, mientras que *Senecio vulgaris* (Rackish) acumuló As, Cd, Cu, Cr, mercurio (Hg), Pb y Zn, identificándose un total de siete metales pesados, lo que representa la totalidad de los metales investigados en este estudio. En consecuencia, se concluye que todas las especies presentan altos niveles de bioacumulación de metales pesados provenientes de los relaves de la mina Llipa.

Durante el proceso de identificación de plantas nativas, realizado en ocho transectos de 25 m<sup>2</sup> distribuidos estratégicamente en la relavera, se registró un total de 10 especies vegetales nativas tipo arbusto. De estas, se seleccionaron tres especies para el muestreo de tejido vegetal, basado en su densidad poblacional y adaptabilidad al medio. Las especies seleccionadas fueron *Ophryosporus peruvianus* (Secklla), *Calceolaria thyrsoflora* (Globito) y *Senecio vulgaris* (Rackish), las cuales demostraron una notable capacidad de adaptación a las condiciones ambientales de la relavera de la mina Llipa.

En cuanto al análisis de los factores de bioconcentración (FBC), se determinó que las tres especies evaluadas actúan como exclusoras para los metales As, Cu, Cr, Hg, Pb y Zn, dado que sus valores de FBC fueron menores a 1, sin embargo, para el cadmio (Cd), el FBC fue superior a 1 en tres de las seis muestras evaluadas, lo que indica que las tres especies son acumuladoras de cadmio. Este hallazgo sugiere que estas especies podrían tener aplicaciones potenciales en tecnologías de fitorremediación de suelos contaminados con cadmio.

En términos comparativos, las concentraciones de metales halladas en los tejidos aéreos (hojas, tallos y flores) de las tres especies superaron los límites máximos de contaminantes en alimentos establecidos por la norma GB 2762-2012 de la República Popular China, para los metales As, Cd, Cr y Pb. El mercurio (Hg), por su parte, solo fue detectado en dos muestras con concentraciones que coincidieron exactamente con el límite máximo de la norma (0.1 mg/kg). En cuanto a los

metales cobre (Cu) y zinc (Zn), la norma no establece límites máximos para estos elementos, por lo que no fue posible determinar su excedencia o no excedencia.

Finalmente, se concluye que las concentraciones de As, Cd, Cr y Pb en los tejidos vegetales de las tres especies nativas representan una potencial vía de entrada de metales pesados a la cadena trófica. Esto es particularmente relevante considerando que tanto la fauna silvestre como los animales domésticos pueden alimentarse de estas especies vegetales, lo que constituye un riesgo para la salud animal y, en consecuencia, para la seguridad alimentaria en la población.

## **6.2 Recomendaciones**

De acuerdo con los resultados obtenidos, los cuales evidencian que las tres especies nativas evaluadas (*Ophryosporus peruvianus*, *Calceolaria thyrsiflora* y *Senecio vulgaris*) presentan una elevada capacidad de bioacumulación de metales pesados, se plantean las siguientes recomendaciones:

En primer lugar, se recomienda profundizar la investigación orientándola a determinar con mayor precisión la eficiencia real de cada especie en la acumulación de metales pesados. Para ello, resulta necesario ampliar el diseño experimental mediante el muestreo de tejidos en distintos estadios fenológicos, incrementar el número de réplicas y considerar evaluaciones en diferentes estaciones del año, de manera que se capture la variabilidad temporal y biológica de la acumulación.

En segundo lugar, se sugiere evaluar las especies estudiadas en condiciones controladas a escala de laboratorio. Este enfoque permitirá optimizar los parámetros ambientales relevantes y determinar la factibilidad de su uso en procesos de fitorremediación u otras tecnologías ecoamigables basadas en la captura biológica de metales.

Finalmente, en caso de considerar la implementación de estas especies en proyectos de fitorremediación a escala real, se recomienda tomar en cuenta variables críticas como el periodo fenológico de la planta, las condiciones climáticas locales, la disponibilidad de nutrientes y la dinámica de los metales en el sustrato, asimismo, se considera indispensable la ejecución de pruebas piloto que permitan validar la efectividad de cada especie en escenarios similares a los del proyecto, garantizando así la viabilidad técnica y operativa de su aplicación.

## CAPÍTULO VII. REFERENCIAS

### 7.1 Referencias

- Agencia de Protección Ambiental de EE. UU (EPA). (2007). *Method 3051A Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, And Oils*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3051a.pdf>
- Bohan, W., He, P., Mingping, S., Huanyan, L., Xitong, W., Rong, Z., Fei, X y Heng Xu. (2021). Evaluation of phytoremediation potential of native dominant plants and spatial distribution of heavy metals in abandoned mining area in Southwest China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 220, 112368. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112368>
- Brković, D. L., Bošković-Rakočević, L. S., Mladenovic, J. D., Simic, Z. B., Glišić, R. M., Grbović, F. J., & Branković, S. R. (2021). Metal bioaccumulation, translocation and phytoremediation potential of some woody species at mine tailings. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(4), 12487. doi:10.15835/nbha49412487
- Cahuana, L y Aduvire, O. (2019). Bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre evaluados en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú. *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 4(2), 19-36. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2519-53522019000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200002&lng=es&tlng=es).
- Cané, L., Rossi, M., y Ancizar, B. (2024). *Guía de plantas Nativas*. <https://nativas.lanacion.com.ar/acerca/que-son-las-plantas-nativas>
- Carriquiriborde, P. (2021). *Biodisponibilidad, bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación de los contaminantes*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/131168>
- Corzo Remigio, A. (2015). *Impacto de los pasivos ambientales mineros en el recurso hídrico de la microcuenca quebrada Párac, distrito de San Mateo de Huanchor, Lima [Tesis de pregrado, Pontificie Universidad Católica del Perú]*. Repositorio Institucional PUCP. [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6160/CORZO\\_REMIGIO\\_AMELIA\\_IMPACTO\\_MINEROS%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6160/CORZO_REMIGIO_AMELIA_IMPACTO_MINEROS%20%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cruzado-Tafur, E., Bierla, K., Torró, L., & Szpunar, J. (2021). Accumulation of As, Ag, Cd, Cu, Pb, and Zn by Native Plants Growing in Soils Contaminated by Mining Environmental Liabilities in the Peruvian Andes. *Plants*, 10(2), 241. <https://doi.org/10.3390/plants10020241>
- Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 10, 48-60.

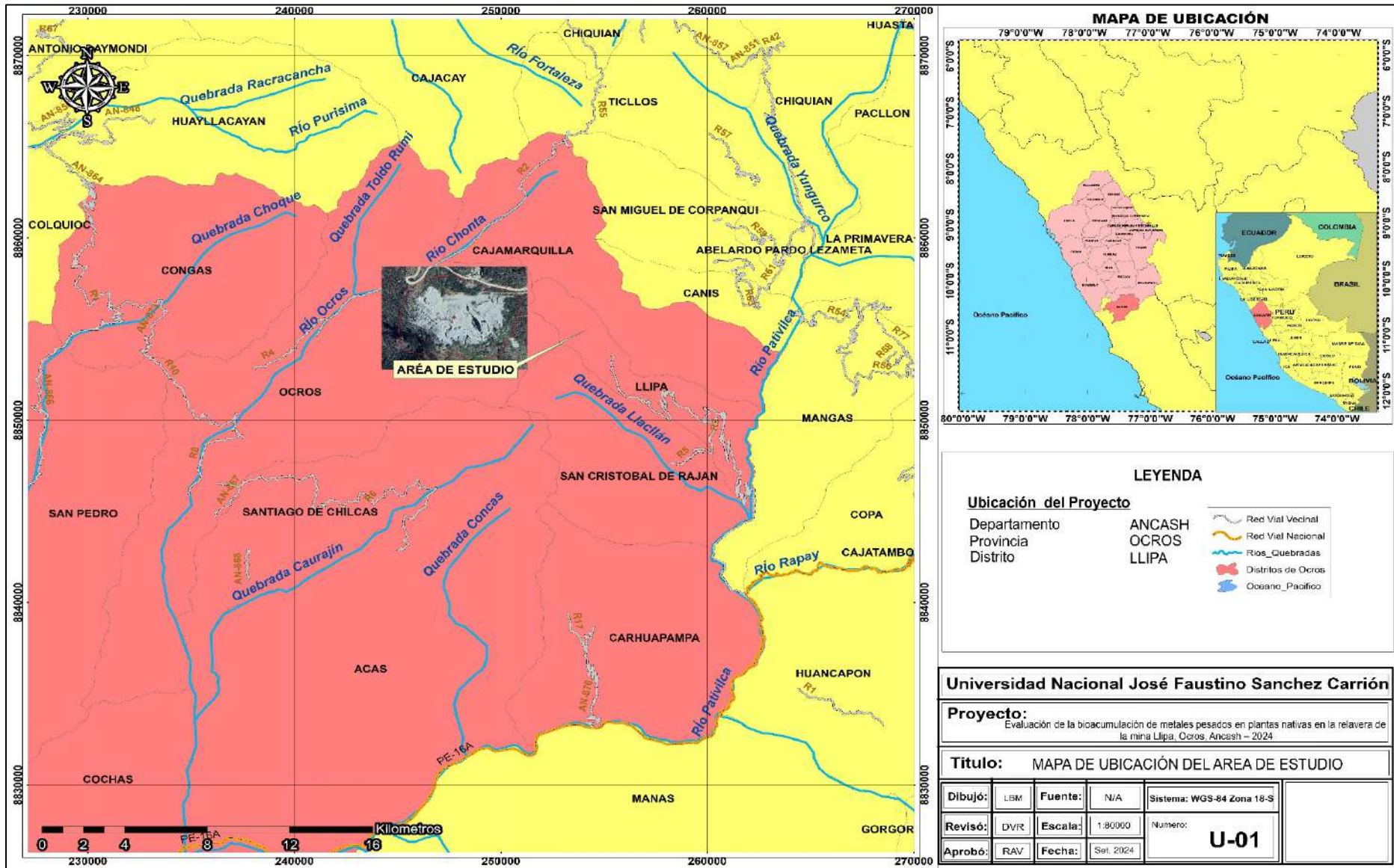
- [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31863235/Macla10\\_48libre.pdf?1392423666=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMacla10\\_48.pdf&Expires=1731705287&Signature=Y6W00qStLz26hnsI8C8t9Yu8WJkcmFKGB339cWmk1CWHvyQGAC8swyNdlFDasL-28oh75uqsiGKtedWFU](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31863235/Macla10_48libre.pdf?1392423666=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DMacla10_48.pdf&Expires=1731705287&Signature=Y6W00qStLz26hnsI8C8t9Yu8WJkcmFKGB339cWmk1CWHvyQGAC8swyNdlFDasL-28oh75uqsiGKtedWFU)
- Gamarra Gómez, P. R. (2012). *Estudio etnobotánico del distrito de Marca, Recuay - Ancash*.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/323349054.pdf>
- Hamilton Beltrán, S. (2001). *Especies Comunes de Senecio del Perú*.  
<https://fieldguides.fieldmuseum.org/es/gu%C3%ADas/gu%C3%ADa/79>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI. (2022). *Ancash Compendio Estadístico 2022*.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4435091/Compendio%20Estad%20C3%ADstico%2C%20Ancash%202022.pdf>
- Leiva, S., Rodríguez, E., Pollak, L., Alvitez, E., Briceño, J., y Gayoso, G. (2020). Notas sobre la diversidad natural del Sitio Arqueológico de cerro Andaraga, distrito Huaso, provincia Julcán, región La Libertad, Perú. *Arnaldoa*, 27(3), 703-728.  
doi:<http://doi.org/10.22497/arnaldoa.273.27303>
- Ley 28271 de 2004 (2004, 2 de Julio). Congreso de la República del Perú.  
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/04/Ley-N%C2%B0-28271.pdf>
- Ley 2809 de 2003 (2003,13 de Octubre). Congreso de la República del Perú.  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4467449/RCM%202023.pdf?v=1682114450>
- Ley 28611 de 2005 (2005, 15 de Octubre). Congreso de la República del Perú.  
<https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>
- Londoño Franco, L., Londoño Muñoz, P., & Muñoz García, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 14(2), 145-153. doi:10.18684/BSAA(14)145-153
- Mattos, E y Collantes, I. (2020). Variación Estacional de la Composición Química del Aceite Esencial de las Hojas de *Ophryosporus peruvianus*. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(3), 329-337. doi:<https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.304>
- Ministerio de Energía y Minas MINEM. (2023). *Resolución Ministerial N° 510-2023-MINEM/DM*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5584355/4961275-rm-n-510-2023-minem-dm.pdf?v=1703177744>
- Ministerio de Energía y Minas MINEM. (1995). *Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves*

- Mineros.*  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5217275/Gu%C3%ADa%20para%20el%20Manejo%20de%20Relaves%20Mineros.pdf?v=1696276281>
- Ministerio de Energía y Minas MINEM. (1998). *Estudio de evaluación ambiental territorial y de planeamientos para la reducción o eliminación de la contaminación de origen mineros en la cuenca del Rio Pativilca.*  
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5209272/R%C3%ADo%20Pativilca.pdf?v=1696012690>
- Ministerio del Ambiente MINAM. (2015). *Guía de inventario de la flora y vegetación.*  
[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12082/07\\_guia-a-de-flora-y-vegetacion.pdf?v=1530548605](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12082/07_guia-a-de-flora-y-vegetacion.pdf?v=1530548605)
- Ministerio del Ambiente MINAM. (2014). *Guía para el muestreo de suelos.*  
<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
- Ministerio de Salud de la Republica Popular China. (2012). *Norma Nacional de la República Popular de China GBC2762—2012.*  
<https://www.sanipes.gob.pe/normativas/GB%202762-2012-espa%C3%B1ol-chino.pdf>
- Molina, N., Aguilar, P., y Cordovez, C. (2010). Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y Tecnología para la salud visual y ocular*, 8(1), 77-88.  
<https://saludvisual.lasalle.edu.co/article/view/1660/3166>
- Navarro, J., Aguilar, I., y Lopez, J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 16(2), 10-25.  
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/125/122>
- Pérez Juzcamayta, E. (2015). *Acumulación de metales pesados en plantas nativas en los relaves de los pasivos ambientales de la Mina Cercapuquio S.A., Chongos Alto, Chupaca* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú] Repositorio Institucional UNCP.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/4581>
- Petelka, J., Abraham, J., Bockreis, A., Precious Deikumah, J., & Zerbe, S. (2019). Soil Heavy Metal(loid) Pollution and Phytoremediation Potential of Native Plants on a Former GoldMine in Ghana. *Water Air Soil Pollut*, 230(267). Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4317-4>
- Polo, C y Sulca, L. (2018). Metales Pesados: Fuentes y su toxicidad sobre la salud humana. *Ciencias*, 2(1), 20-36. doi:DOI: 10.33326/27066320.2018.1.842

- Ramos Vizcarra, B. A. (2023). *Evaluación del potencial de bioacumulación de metales pesados en Scirpus americanus (junco) presente en suelos contaminados con relaves mineros, Arequipa - 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/13885>
- Rivera, A y Alarcon, D. (2024). *Bioacumulación de Metales Pesados en las Especies: Euphorbia cyparissias (Lechetrezna), Bacharis tricuneata (Taya) y Epilobium tetragonum (Adefillas) Adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio Institucional UNDAC. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/4049>
- Romero, M y Bravo, S. (2021). *Estudio del Potencial de Acumulación de Metales Pesados de Plantas Nativas Peruanas para la Fitorremediación de Pasivos Mineros* [Tesis de pregrado, Pontificie Universidad Catolica del Perú]. Repositorio de tesis PUCP: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/19519>
- Sociedad del Comercio Exterior del Perú COMEXPERÚ. (2024). *Semanario 1196*. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/produccion-cuprifera-aumento-un-127-en-2023-y-el-peru-se-mantiene-como-el-segundo-mayor-productor-de-cobre-del-mundo>
- Vergara Allende, C. A. (2019). *Bioacumulación de metales pesados y daño genotóxico en cultivos de traspatio Zea mays l. (raza pepitilla) en suelos expuesto a jales mineros, en Huautla, Morelos: bases para generar una propuesta de mitigación*[Tesis de Maestria, Universidad Autonoma del Estado de Morelos]. Repositorio Intitucional de la UAM. <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/2362>

## **ANEXOS**

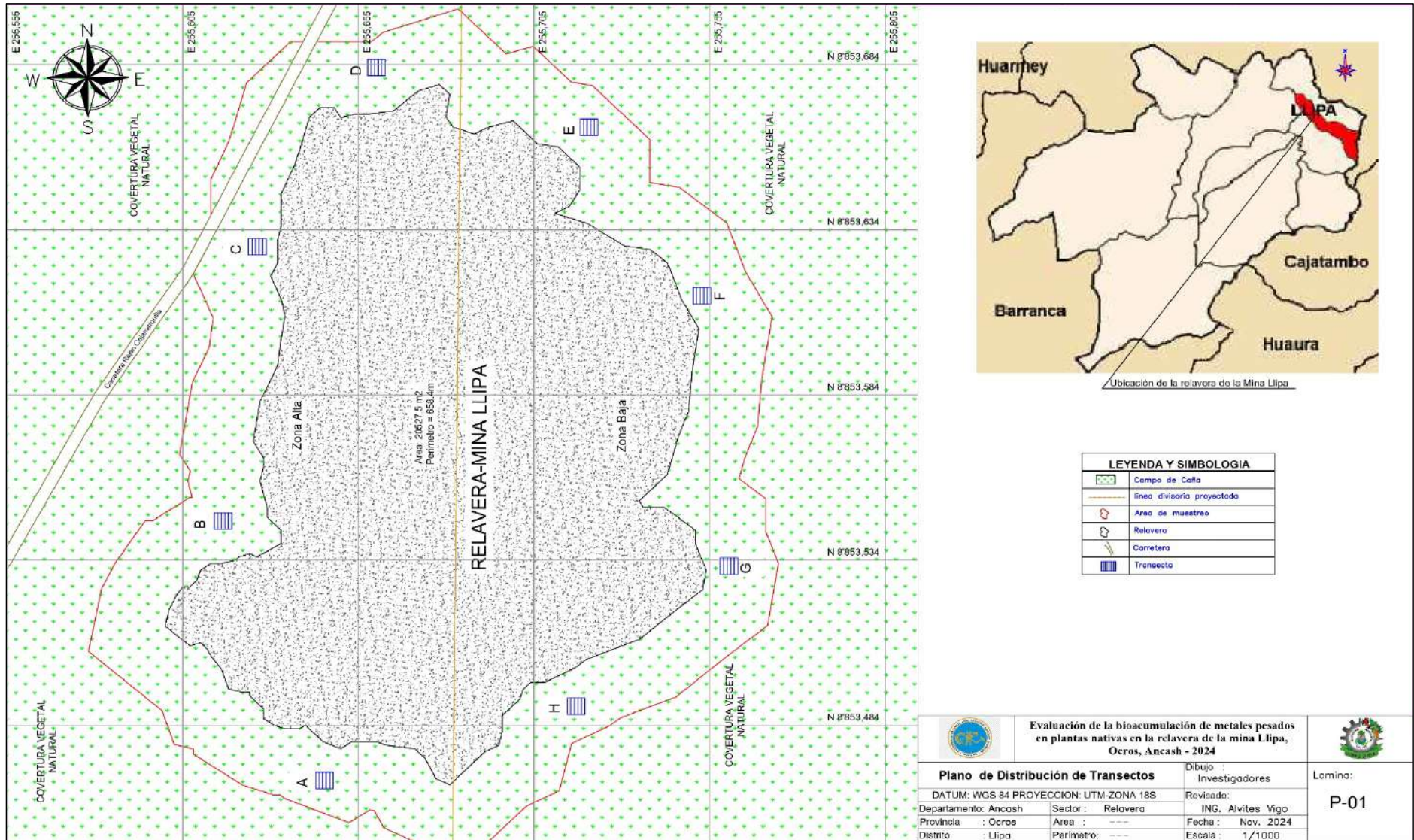
Anexo 1: Mapa de ubicación del área de estudio





Anexo 2: Mapa de Ubicación de la Relavera de la Mina Llipa



**Anexo 3: Plano de distribución de Transectos**



Anexo 4: Fichas de identificación y cuantificación de plantas nativas.

		<b>FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS</b>			<b>VERSIÓN: 1</b>
<b>Proyecto:</b> Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocos, Ancash – 2024					
<b>A) DATOS GENERALES</b>					
1. Responsable de ejecución		2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Código de Transecto	5. Fecha
Los investigadores		8	25m <sup>2</sup>	A	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto		7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Llipa-Ocos-Ancash		255645	8853467	3648 msnm	
<b>B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS</b>					
Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad	
1	Secklla	*	Zona Alta	17	
2	Globito	*	Zona Alta	10	
3	Rackish	*	Zona Alta	9	
4	Cunya	*	Zona Alta	3	
5	Gloria Jacha	*	Zona Alta	11	
6	Chancor	*	Zona Alta	9	
7	Jirca Muña	*	Zona Alta	2	
8	Huellanca	*	Zona Alta	1	
9	Muchqui	*	Zona alta	2	
10	Quincha	*	Zona alta	3	
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
11. Responsable de Registro					
Nombres y apellidos :			Firma		
Lucero Baldora Morante					
* Completar en gabinete					



**FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS**

VERSIÓN: 1

**Proyecto:** Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Lipa, Ocos, Ancash – 2024

**A) DATOS GENERALES**

1. Responsable de ejecución	2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Codigo de Transecto	5. Fecha
Los Investigadores	8	25m <sup>2</sup>	B	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto	7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Llipa - Ocos - Ancash	255616	8853545	3661msnm	

**B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS**

Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad
1	Secklla	*	Zona Alta	11
2	Globito	*	Zona Alta	9
3	Rackish	*	Zona Alta	11
4	Canya	*	Zona Alta	5
5	Gloria Tacha	*	Zona Alta	5
6	chuncoy	*	"	5
7	Jirca Moña	*	"	2
8	Huallanca	*	"	2
9	Muchqui	*	"	2
10	Quincha	*	"	2
11		*		
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

11. Responsable de Registro

Nombres y apellidos :

Lucero Baldeza Morante

Firma

*[Firma manuscrita]*

\*. Completar en gabinete.



FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS

VERSIÓN: 1

**Proyecto:** Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocos, Ancash – 2024

**A) DATOS GENERALES**

1. Responsable de ejecución	2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Codigo de Transecto	5. Fecha
Los Investigadores	8	25m <sup>2</sup>	C	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto	7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Llipa - Ocos - Ancash	255626	8853628	3651 ms.m	

**B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS**

Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad
1	Seckila	*	Zona Alta	6
2	Globito	*	Zona Alta	16
3	Rackish	*	"	17
4	Cunya	*	"	8
5	Gloria Jacha	*	"	8
6	Chancor	*	"	3
7	Jira Muña	*	"	3
8	Huallanca	*	"	1
9	Muchqui	*	"	3
10	Quinchu	*	"	4
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

11. Responsable de Registro

Nombres y apellidos :

Lucero Baldera Morante

Firma

\* - Completar en gabinete.



**FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS**

VERSIÓN: 1

**Proyecto:** Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Lipa, Ocos, Ancash – 2024

**A) DATOS GENERALES**

1. Responsable de ejecución	2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Codigo de Transecto	5. Fecha
Los investigadores	8	25m <sup>2</sup>	D	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto	7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Lipa - Ocos - Ancash	255660	8893683	3635 m.s.n.m	

**B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS**

Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad
1	Secklla	*	Zona Alta	14
2	Globito	*	Zona Alta	12
3	Rackish	*	Zona Alta	5
4	Cunya	*	"	4
5	Gloria Jacha	*	"	7
6	Chanroy	*	"	7
7	Jirca Muña	*	"	-
8	Huallanca	*	"	-
9	Muchqui	*	"	2
10	Quincha	*	"	2
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

11. Responsable de Registro

Nombres y apellidos :

..... Lucero Baldera Morante .....

Firma

.....  .....

\*. Completar en gabinete.



**FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS**

VERSIÓN: 1

**Proyecto:** Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocos, Ancash – 2024

**A) DATOS GENERALES**

1. Responsable de ejecución	2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Codigo de Transecto	5. Fecha
Los investigadores	8	25m <sup>2</sup>	E	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto	7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Llipa - Ocos - Ancash	255720	8853665	3606 m.s.n.m	

**B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS**

Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad
1	Secolla	*	Zona Baja	18
2	Globito	*	Zona Baja	9
3	Rackish	*	Zona Baja	11
4	Cunya	*	"	2
5	Gloria Jacha	*	"	9
6	Chancov	*	"	5
7	Tirca Muña	*	"	2
8	Huallanca	*	"	-
9	Muchqui	*	"	1
10	Quincha	*	"	1
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

11. Responsable de Registro

Nombres y apellidos :

..... Daniel Vilcapoma Ruera .....

Firma

.....  .....

\*. Completar en gabinete.



FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS

VERSIÓN: 1

**Proyecto:** Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocos, Ancash – 2024

**A) DATOS GENERALES**

1. Responsable de ejecución	2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Codigo de Transecto	5. Fecha
Los investigadores	8	25m <sup>2</sup>	F	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto	7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Llipa - Ocos - Ancash	255752	8853614	3600 m.s.n.m.	

**B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS**

Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad
1	Seckila	*	Zona Baja	13
2	Globito	*	Zona Baja	15
3	Rackish	*	Zona Baja	9
4	Cunya	*	"	-
5	Gloria Jacha	*	"	5
6	Chuncov	*	"	4
7	Jirca Muña	*	"	3
8	Hwallanca	*	"	2
9	Mochqui	*	"	-
10	Quincha	*	"	4
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

11. Responsable de Registro

Nombres y apellidos :

Daniel Vilcapoma Rivera

Firma

\* - Completar en gabinete.



**FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS**

VERSIÓN: 1

**Proyecto:** Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocos, Ancash – 2024

**A) DATOS GENERALES**

1. Responsable de ejecución	2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Codigo de Transecto	5. Fecha
Los investigadores	8	25m <sup>2</sup>	G	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto	7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Llipa - Ocos - Ancash	255760	8853532	3610 m.s.n.m	

**B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS**

Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad
1	Socklla	*	Zona Baja	10
2	Globito	*	Zona Baja	16
3	Rackish	*	Zona Baja	13
4	Cunya	*	Zona Baja	3
5	Gloria Jacha	*	"	2
6	Chancor	*	"	2
7	Jirca Muña	*	"	-
8	Huallanca	*	"	3
9	Muchqui	*	"	1
10	Quincha	*	"	2
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

11. Responsable de Registro

Nombres y apellidos :

Daniel Vilcapoma Rivera

Firma

*Daniel*

\*. Completar en gabinete



FORMATO PARA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE PLANTAS NATIVAS

VERSIÓN: 1

Proyecto: Evaluación de la bioacumulación de metales pesados en plantas nativas en la relavera de la mina Llipa, Ocos, Ancash – 2024

A) DATOS GENERALES

1. Responsable de ejecución	2. Cantidad de transectos	3. Area del transecto	4. Codigo de Transecto	5. Fecha
Los investigadores	8	25m <sup>2</sup>	H	05-10-24
6. Ubicación del Proyecto	7. ESTE	8. NORTE	10. Altitud	
Llipa - Ocos - Ancash	255716	8853489	3610 m.s.n.m	

B) DATOS DE LAS ESPECIES IDENTIFICADAS

Nro	Nombre Común	Nombre científico	Zona de Monitoreo	Cantidad
1	Socklla	*	Zona Baja	13
2	Globito	*	Zona Baja	17
3	Rackish	*	Zona Baja	10
4	Cunya	*	"	4
5	Gloria Jacha	*	"	4
6	Chancor	*	"	7
7	Jirca Muña	*	"	2
8	Huallanca	*	"	4
9	Muehqui	*	"	2
10	Quincha	*		-
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				

11. Responsable de Registro

Nombres y apellidos :

Daniel Vilcapoma Rivera

Firma

\*. Completar en gabinete

Anexo 5: Galería fotográfica de las plantas nativas identificadas.

**Figura 10**

*Ophryosporus peruvianus* (Secklla)



**Figura 11**

*Calceolaria thyrsoiflora* (Globito)



**Figura 12**

*Senecio vulgaris* (Rackish)



**Figura 13**

*Baccharis rupicola* Kunth (Cunya)



**Figura 14**

*Lomanthus yauyensis* (Gloria Jacha)



**Figura 15**

*Lupinus aff. Brachypremnon* (Chancor)



**Figura 16**

*Clinopodium speciosum* (Jirca Muña)



**Figura 17**

*Austrocylindropuntia subulata* (Huallanca)



**Figura 18**

*hesperomeles cuneata* (Muchqui)



**Figura 19**

*Dasyphyllum ferox* (Quincha)



Anexo 6: Galería fotográfica del monitoreo de suelos.

**Figura 20**

*Medición del perímetro del transecto*



**Figura 21**

*Delimitación del Perímetro del transecto*  
*Transecto*



**Figura 22**

*Excavación de la calicata*



**Figura 23**

*Recolección de las muestras puntuales de suelo*



**Figura 24**

*Homogenización de las muestras puntuales de suelo*



**Figura 25**

*Primer cuarteo de las muestras homogenizadas*



**Figura 26**

*Extracción de los lados opuestos del segundo cuarteo*



**Figura 27**

*Muestra de suelo compuesta*



**Anexo 7: Galería fotográfica del Monitoreo de Tejidos Vegetales.**

**Figura 28**

*Identificación de especies vegetales*



**Figura 29**

*Selección de muestras de tejido vegetal*



**Figura 30**

*Envasado de muestras de tejido vegetal*







**Figura 31**

*Lavado muestras de tejido vegetal (raíz)*



Anexo 8: Informes de ensayo las muestras de suelo.

	<b>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002</b>	 Registral N°LE - 002																																					
<b>INFORME DE ENSAYO</b> <b>MA2433111 - 0</b>		Página 1 de 5																																					
<table border="1"><tr><td>Análisis solicitado por:</td><td>VILCAPOMA RIVERA DANIEL ALEXANDER</td><td>Cantidad Muestras:</td><td>2</td></tr><tr><td>Dirección:</td><td>VILCAPOMA RIVERA DANIEL - LIMA - LIMA</td><td>Fecha de Recepción:</td><td>12-10-2024</td></tr><tr><td>Solicitud de Ensayo:</td><td>240992</td><td>Fecha de Ensayo:</td><td>15-10-2024</td></tr><tr><td>Categoría:</td><td>SUELOS</td><td>Fecha de Emisión:</td><td>18-10-2024</td></tr><tr><td>Sub-categoría:</td><td>SUELOS</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Procedencia:</td><td>MUESTRA RECIBIDA</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Muestreado por:</td><td>MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Recepción de Muestra:</td><td>EN BOLSA PLASTICA</td><td></td><td></td></tr><tr><td>Notas:</td><td>MUESTRAS RECIBIDAS</td><td></td><td></td></tr></table>				Análisis solicitado por:	VILCAPOMA RIVERA DANIEL ALEXANDER	Cantidad Muestras:	2	Dirección:	VILCAPOMA RIVERA DANIEL - LIMA - LIMA	Fecha de Recepción:	12-10-2024	Solicitud de Ensayo:	240992	Fecha de Ensayo:	15-10-2024	Categoría:	SUELOS	Fecha de Emisión:	18-10-2024	Sub-categoría:	SUELOS			Procedencia:	MUESTRA RECIBIDA			Muestreado por:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE			Recepción de Muestra:	EN BOLSA PLASTICA			Notas:	MUESTRAS RECIBIDAS		
Análisis solicitado por:	VILCAPOMA RIVERA DANIEL ALEXANDER	Cantidad Muestras:	2																																				
Dirección:	VILCAPOMA RIVERA DANIEL - LIMA - LIMA	Fecha de Recepción:	12-10-2024																																				
Solicitud de Ensayo:	240992	Fecha de Ensayo:	15-10-2024																																				
Categoría:	SUELOS	Fecha de Emisión:	18-10-2024																																				
Sub-categoría:	SUELOS																																						
Procedencia:	MUESTRA RECIBIDA																																						
Muestreado por:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE																																						
Recepción de Muestra:	EN BOLSA PLASTICA																																						
Notas:	MUESTRAS RECIBIDAS																																						
<table border="1"><tr><td><b>Análisis</b></td><td><b>Método</b></td></tr><tr><td>Metales Totales</td><td>EPA METHOD 3051A-2007//EPA METHOD 6020B:2014. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils//Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017.</td></tr></table>				<b>Análisis</b>	<b>Método</b>	Metales Totales	EPA METHOD 3051A-2007//EPA METHOD 6020B:2014. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils//Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017.																																
<b>Análisis</b>	<b>Método</b>																																						
Metales Totales	EPA METHOD 3051A-2007//EPA METHOD 6020B:2014. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils and Oils//Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017.																																						
<b>Emitido en Callao-Perú el 18-10-2024</b>																																							
																																							
<b>Frank M. Julcamoro Quispe</b> <b>CQP. 1033</b> <b>Supervisor de Laboratorio</b>																																							
<p><b>"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC."</b></p>																																							
	<p>Este documento es emitido bajo sus Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <a href="http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx">http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx</a>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.</p> <p>Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.</p>																																						
Última Revisión Enero 2022																																							
SGS del Perú S.A.C.   Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900   <a href="http://www.sgs.pe">www.sgs.pe</a>																																							
Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)																																							

**INFORME DE ENSAYO  
MA2433111 - 0**

Página 2 de 5

**Metales Totales**

Identificación de Muestra	L.D.		L.C.		SUELO/ESTACION DE MUESTREO: SZA-01/ LUGAR: MINA LLIPA 07-10-2024 00:00	SUELO/ESTACION DE MUESTREO: SZB-01/ LUGAR: MINA LLIPA 07-10-2024 00:00
Aluminio Total (mg/kg)	2.701	8.602	7539.990	6769.079		
Antimonio Total (mg/kg)	0.041	0.131	62.041	38.955		
Arsénico Total (mg/kg)	0.897	2.857	26.278	15.005		
Bario Total (mg/kg)	0.138	0.44	24.250	25.218		
Berilio Total (mg/kg)	0.054	0.173	0.310	0.254		
Bismuto Total (mg/kg)	0.032	0.103	9.614	7.964		
Boro Total (mg/kg)	5.399	17.195	<17.195	<17.195		
Cadmio Total (mg/kg)	0.045	0.144	0.416	0.308		
Calcio Total (mg/kg)	65.382	208.223	7525.357	6545.010		
Circonio Total (mg/kg)	0.046	0.147	<0.147	<0.147		
Cobalto Total (mg/kg)	0.040	0.128	10.151	8.367		
Cobre Total (mg/kg)	0.357	1.136	6216.185	3958.647		
Cromo Total (mg/kg)	0.314	1.001	7.999	7.655		
Escandio Total (mg/kg)	0.099	0.317	3.774	3.242		
Estaño Total (mg/kg)	0.295	0.94	9.179	6.454		
Estroncio Total (mg/kg)	0.258	0.822	12.728	12.066		
Fosforo Total (mg/kg)	4.759	15.157	613.770	661.759		
Hierro Total (mg/kg)	9.201	29.302	26894.763	21168.329		
Lantano Total (mg/kg)	0.032	0.103	9.200	9.139		
Litio Total (mg/kg)	1.0	3	10.5	9.0		
Magnesio Total (mg/kg)	5.509	17.545	5930.948	5040.651		
Manganeso Total (mg/kg)	0.202	0.643	402.859	303.950		
Mercurio Total (mg/kg)	0.082	0.262	<0.262	<0.262		
Molibdeno Total (mg/kg)	0.057	0.182	0.586	0.489		
Niquel Total (mg/kg)	0.156	0.498	3.665	3.372		
Plata Total (mg/kg)	0.084	0.268	4.269	4.953		
Plomo Total (mg/kg)	0.109	0.346	16.286	10.407		
Potasio Total (mg/kg)	13.500	42.593	1071.364	1243.285		
Selenio Total (mg/kg)	1.132	3.605	<3.605	<3.605		
Sodio Total (mg/kg)	7.579	24.136	113.332	88.063		
Talio Total (mg/kg)	0.029	0.093	0.199	0.116		

Este documento es emitido bajo sus Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

**INFORME DE ENSAYO  
MA2433111 - 0**

Página 3 de 5

**Metales Totales**

			SUELO/ESTACION DE MUESTREO: SZA-01/ LUGAR: MINA LLIPA 07-10-2024 00:00	SUELO/ESTACION DE MUESTREO: SZB-01/ LUGAR: MINA LLIPA 07-10-2024 00:00
Thorio Total (mg/kg)	0.035	0.112	0.925	1.630
Titanio Total (mg/kg)	0.079	0.251	265.583	231.330
Uranio Total (mg/kg)	0.032	0.102	0.384	0.348
Vanadio Total (mg/kg)	1.488	4.737	36.358	26.822
Wolframio Total (mg/kg)	0.072	0.231	1.597	1.844
Ytrio Total (mg/kg)	0.030	0.096	6.507	6.352
Zinc Total (mg/kg)	0.607	1.934	51.260	43.539

Este documento es emitido bajo sus Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

**INFORME DE ENSAYO  
MA2433111 - 0**

Página 4 de 5

**Control de Calidad**

**MB:** Blanco del proceso.  
**LCS %Recovery:** Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.  
**MS %Recovery:** Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.  
**MSD %RPD:** Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.  
**Dup %RPD:** Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

**Metales Totales**

Método: EPA METHOD 3051A-2007/EPA METHOD 6020B-2014. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments,  
Sludges, Soils and Oils/Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (VALIDADO - Aplicado fuera del alcance). 2017.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Plata Total	mg/kg	0.268	<0.268	0 - 3%	88%	92%	0%
Aluminio Total	mg/kg	8.602	<8.602	1 - 3%	95%	102%	2%
Arsénico Total	mg/kg	2.857	<2.857	2 - 7%	96%	101%	1%
Boro Total	mg/kg	17.195	<17.195	0%	101%	101%	0%
Bario Total	mg/kg	0.44	<0.440	1 - 4%	102%	98%	1%
Berilio Total	mg/kg	0.173	<0.173	2 - 4%	99%	109%	0%
Bismuto Total	mg/kg	0.103	<0.103	4 - 8%	102%	107%	1%
Calcio Total	mg/kg	208.223	<208.223	0 - 9%	102%	112%	2%
Cadmio Total	mg/kg	0.144	<0.144	1 - 5%	100%	107%	0%
Cobalto Total	mg/kg	0.128	<0.128	4 - 5%	98%	107%	1%
Cromo Total	mg/kg	1.001	<1.001	0 - 4%	94%	99%	1%
Cobre Total	mg/kg	1.136	<1.136	2 - 4%	102%	103%	0%
Hierro Total	mg/kg	29.302	<29.302	2%	101%	109%	2%
Mercurio Total	mg/kg	0.262	<0.262	0%	96%	93%	9%
Potasio Total	mg/kg	42.993	<42.993	0 - 11%	98%	97%	2%
Lantano Total	mg/kg	0.103	<0.103	1 - 6%	101%	104%	0%
Litio Total	mg/kg	3	<3.0	0 - 3%	93%	97%	4%
Magnesio Total	mg/kg	17.545	<17.545	0 - 1%	102%	103%	5%
Manganeso Total	mg/kg	0.643	<0.643	2 - 3%	92%	98%	2%
Molibdeno Total	mg/kg	0.182	<0.182	3 - 7%	94%	99%	4%
Sodio Total	mg/kg	24.136	<24.136	6 - 12%	101%	100%	1%
Niquel Total	mg/kg	0.498	<0.498	8 - 10%	101%	103%	5%
Fosforo Total	mg/kg	15.157	<15.157	6%	103%	104%	2%
Plomo Total	mg/kg	0.346	<0.346	8 - 10%	96%	96%	0%
Antimonio Total	mg/kg	0.131	<0.131	1 - 5%	107%	104%	0%
Escandio Total	mg/kg	0.317	<0.317	2 - 11%	101%	104%	0%
Selenio Total	mg/kg	3.605	<3.605	0%	90%	111%	0%
Estaño Total	mg/kg	0.94	<0.940	0 - 6%	97%	93%	0%
Estroncio Total	mg/kg	0.822	<0.822	3 - 5%	97%	103%	1%
torio Total	mg/kg	0.112	<0.112	4 - 8%	96%	98%	0%
Titanio Total	mg/kg	0.251	<0.251	8%	98%	94%	0%
Talio Total	mg/kg	0.093	<0.093	5 - 7%	89%	107%	0%
Uranio Total	mg/kg	0.102	<0.102	3 - 4%	101%	106%	3%
Vanadio Total	mg/kg	4.737	<4.737	0 - 1%	89%	95%	2%
Wolframio Total	mg/kg	0.231	<0.231	12%	96%	108%	0%

Este documento es emitido bajo sus Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C, las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO  
MA2433111 - 0

Página 5 de 5

			MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Ytrio Total	mg/kg	0.096	<0.096	0 - 7%	97%	104%	0%
Zinc Total	mg/kg	1.934	<1.934	1 - 4%	107%	109%	3%
Circonio Total	mg/kg	0.147	<0.147	0%	97%	95%	0%

Este documento es emitido bajo sus Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-E5/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.  
Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas; no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517 1900 | [www.sgs.pe](http://www.sgs.pe)

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

## Anexo 9: Informes de ensayo las muestras de tejido vegetal (raíz).



### INFORME DE ENSAYO AG2434865 Rev. 0

Página 1 de 2

<b>Ensayo solicitado por el cliente:</b>	VILCAPOMA RIVERA DANIEL ALEXANDER Lima, LIMA - LIMA	<b>Cantidad Muestras:</b>	6
<b>Solicitud de Ensayo:</b>	240992-2	<b>Fecha de Recepción:</b>	11/10/2024 13:30
<b>Producto descrito como:</b>	TEJIDOS VEGETALES-RAICES	<b>Fecha de Ensayo:</b>	Del 11/10/2024 13:38
<b>Procedencia:</b>	MUESTRA RECIBIDA	<b>Fecha de Emisión:</b>	Al 16/10/2024 16/10/2024
<b>Detalles de la recepción:</b>	EN BOLSA DE PAPEL		
<b>Información del cliente:</b>	MUESTRAS RECIBIDAS		
	W. PROMEDIO RAIZ: 350 G		

Ensayos	Método/Título
Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeso, Níquel, Plomo, Selenio, Estaño, Zinc	AOAC Official Method 2013.06 21st Ed. 2019 Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods Pressure Digestion and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. (VALIDADO - Modificado) - 2017

#### Resultados

Ensayo	Identificación de Muestras		RAIZ/ ESTACION: PN3BR-01/ MINA LLIPA	RAIZ/ ESTACION: PN2BR-01/ MINA LLIPA	RAIZ/ ESTACION: PN1BR-01/ MINA LLIPA	RAIZ/ ESTACION: PN3AR-01/ MINA LLIPA	RAIZ/ ESTACION: PN2AR-01/ MINA LLIPA
	L.D.	L.C.					
<b>Metales</b>							
Arsénico (mg/Kg)	0.05	0.17	0.70	0.34	0.56	0.67	0.46
Cadmio (mg/Kg)	0.03	0.10	0.32	0.14	0.32	0.43	<0.10
Cromo (mg/Kg)	0.16	0.50	2.30	1.50	2.08	2.07	1.31
Cobre (mg/Kg)	0.04	0.12	116.35	155.43	169.01	125.40	119.39
Mercurio (mg/Kg)	0.003	0.010	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable	No Detectable
Manganeso (mg/Kg)	0.10	0.35	18.04	33.91	21.22	21.92	43.46
Níquel (mg/Kg)	0.08	0.25	0.75	0.68	0.59	0.73	0.64
Plomo (mg/Kg)	0.07	0.24	0.32	<0.24	<0.24	0.32	<0.24
Selenio (mg/Kg)	0.04	0.12	1.09	0.20	0.57	2.26	3.50
Estaño (mg/Kg)	0.12	0.5	< 0.50	< 0.50	< 0.50	No Detectable	No Detectable
Zinc (mg/Kg)	0.26	0.85	17.37	96.29	20.96	12.52	50.57



Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo solo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1

1(51-1) 517 1900

www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

**INFORME DE ENSAYO**  
**AG2434865 Rev. 0**

**Resultados**

Identificación de Muestras			RAIZ/ ESTACION: PN1AR-01/ MINA LLIPA
Ensayo	L.D.	L.C.	

**Metales**

Arsénico (mg/Kg)	0.05	0.17	0.91
Cadmio (mg/Kg)	0.03	0.10	0.67
Cromo (mg/Kg)	0.16	0.50	1.85
Cobre (mg/Kg)	0.04	0.12	185.84
Mercurio (mg/Kg)	0.003	0.010	No Detectable
Manganeso (mg/Kg)	0.10	0.35	45.37
Niquel (mg/Kg)	0.08	0.25	0.69
Piomo (mg/Kg)	0.07	0.24	0.86
Selenio (mg/Kg)	0.04	0.12	0.60
Estanio (mg/Kg)	0.12	0.5	No Detectable
Zinc (mg/Kg)	0.26	0.85	24.65

L.D. = Límite de Detección  
L.C. = Límite de Cuantificación



Eladio Máximo Muñoz Contreras  
C.B.P. 01516  
Supervisor Lab Prod Orgánicos

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Anexo 10: Informes de ensayo las muestras de tejido vegetal (Tallos, hojas y Flores).



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL – DA CON REGISTRO N° LE – 002



INFORME DE ENSAYO  
AG2434873 Rev. 0

Página 1 de 2

**Ensayo solicitado por el cliente:** VILCAPOMA RIVERA DANIEL ALEXANDER  
Lima. LIMA - LIMA

**Solicitud de Ensayo:** 240992-3 **Cantidad Muestras:** 6

**Producto descrito como:** TEJIDOS VEGETALES-HOJAS

**Procedencia:** MUESTRA RECIBIDA

**Detalles de la recepción:** EN BOLSA DE PAPEL **Fecha de Recepción:** 11/10/2024 13:35  
**Fecha de Ensayo:** Del 11/10/2024 13:38  
**Fecha de Emisión:** Al 18/10/2024  
18/10/2024

**Información del cliente:** MUESTRAS RECIBIDAS  
MUESTRA RECIBIDAS: TALLOS, HOJAS Y FLORES.  
W. PROMEDIO: 250 G

Ensayos	Método/Título
Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio, Manganeso, Níquel, Plomo, Selenio, Estaño, Zinc	AOAC Official Method 2013.06 21st Ed. 2019 Arsenic, Cadmium, Mercury, and Lead in Foods Pressure Digestion and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. (VALIDADO - Modificado) - 2017

Resultados

Ensayo	Identificación de Muestras		FOLIAR/ ESTACION: PN1AH-01/ MINA LLIPA	FOLIAR/ ESTACION: PN2AH-01/ MINA LLIPA	FOLIAR/ ESTACION: PN3AH-01/ MINA LLIPA	FOLIAR/ ESTACION: PN1BH-01/ MINA LLIPA	FOLIAR/ ESTACION: PN2BH-01/ MINA LLIPA
	L.D.	L.C.					
<b>Metales</b>							
Arsénico (mg/Kg)	0.05	0.17	0.45	2.05	2.32	0.40	0.90
Cadmio (mg/Kg)	0.03	0.10	0.59	<0.10	0.91	0.82	<0.10
* Cromo (mg/Kg)	<b>0.16</b>	<b>0.50</b>	1.11	<b>3.82</b>	<b>8.89</b>	<b>3.18</b>	<b>3.32</b>
Cobre (mg/Kg)	0.04	0.12	44.39	265.23	440.97	64.62	171.44
Mercurio (mg/Kg)	0.003	0.010	No Detectable	<0.010	0.01	No Detectable	<0.010
* Manganeso (mg/Kg)	<b>0.10</b>	<b>0.35</b>	<b>41.09</b>	<b>53.77</b>	<b>87.71</b>	<b>59.38</b>	<b>46.84</b>
* Níquel (mg/Kg)	<b>0.08</b>	<b>0.25</b>	<b>0.75</b>	<b>1.88</b>	<b>3.24</b>	<b>1.86</b>	<b>1.76</b>
Plomo (mg/Kg)	0.07	0.24	0.47	1.06	1.44	0.27	0.59
* Selenio (mg/Kg)	<b>0.04</b>	<b>0.12</b>	No Detectable	<b>1.24</b>	<b>3.52</b>	<b>3.19</b>	<b>0.60</b>
* Estaño (mg/Kg)	<b>0.12</b>	<b>0.5</b>	No Detectable	<b>0.71</b>	<b>0.64</b>	<b>&lt; 0.50</b>	<b>&lt; 0.50</b>
Zinc (mg/Kg)	0.26	0.85	27.93	20.43	16.02	36.62	30.66

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC."



Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C. Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

SGS del Perú S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1

1 (51-1) 517 1900

[www.sgs.pe](http://www.sgs.pe)

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

INFORME DE ENSAYO  
AG2434873 Rev. 0

Página 2 de 2

Resultados

Identificación de Muestras			FOLIAR/ ESTACION: PN3BH-01/ MINA LLIPIA
Ensayo	L.D.	L.C.	
<b>Metales</b>			
Arsénico (mg/Kg)	0.05	0.17	1.69
Cadmio (mg/Kg)	0.03	0.10	0.89
* Cromo (mg/Kg)	<b>0.16</b>	<b>0.50</b>	<b>6.75</b>
Cobre (mg/Kg)	0.04	0.12	263.34
Mercurio (mg/Kg)	0.003	0.010	0.01
* Manganeso (mg/Kg)	<b>0.10</b>	<b>0.35</b>	<b>82.21</b>
* Niquel (mg/Kg)	<b>0.08</b>	<b>0.25</b>	<b>2.99</b>
Piomo (mg/Kg)	0.07	0.24	1.06
* Selenio (mg/Kg)	<b>0.04</b>	<b>0.12</b>	<b>3.34</b>
* Estaño (mg/Kg)	<b>0.12</b>	<b>0.5</b>	<b>0.78</b>
Zinc (mg/Kg)	0.26	0.85	35.82

L.D. = Límite de Detección  
L.C. = Límite de Cuantificación

(\* Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

Eladio Máximo Muñoz Contreras  
C.B.P. 01516  
Supervisor Lab Prod Orgánicos

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C., las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.