

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

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.

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Bach. Antony Stalin RIVERA VELASQUEZ

Bach. Dair Wilmer ALARCON ROMERO

Asesor:

Mg. Anderson MARCELO MANRIQUE

Cerro de Pasco – Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

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.

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Alberto PACHECO PEÑA
PRESIDENTE

Mg. Rosario Marcela VÁSQUEZ GARCÍA
MIEMBRO

Mg. Edgar Walter PEREZ JUZCAMAYTA
MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 182-2023-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

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.

Apellidos y nombres de los tesistas:

Bach. RIVERA VELASQUEZ, Antony Stalin

Bach. ALARCON ROMERO, Dair Wilmer

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. MARCELO MANRIQUE, Anderson

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Ambiental

Índice de Similitud

9%

APROBADO

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 28 de diciembre del 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Vilca Revués Garbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - INGENIERO

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a nuestros padres por el apoyo incondicional para el crecimiento profesional y personal.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia el agradecimiento eterno a DIOS por brindarnos la salud y conocimiento para hacer posible la realización de este trabajo de investigación.

A los docentes de la UNDAC por impartir sus conocimientos que son muy fructíferos en nuestra vida profesional.

A nuestras familiares y amigos que nos impulsaron, motivaron y aportaron en la realización de este importante trabajo.

RESUMEN

El suelo es un recurso no renovable y es un pilar importante para la sobrevivencia de los seres humanos, sin embargo, en las últimas décadas la actividad minera ha incrementado gran cantidad de pasivos ambientales debido a altos costos de restauración y tratamiento evaden sus responsabilidades, una de las alternativas eficientes a largo plazo es la remediación a través de bioacumulación de metales pesados por ciertas especies vegetales que tienen esa capacidad de absorber y almacenar en su estructura.

La presente investigación se centró en el análisis en la bioacumulación de metales pesados (Pb, Cd, Cu, As y Cr) en tres especies adaptados en la Desmontera Rumiallana *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium traragonum* (Adefillas), la metodología utilizada fue muestras de las estructuras de las 3 especies (raíz, tallo y hojas) para enviar al laboratorio para su respectivo análisis.

De los resultados obtenidos del laboratorio Servicios Analíticos Generales SAC pudimos determinar que la especie *Epilobium traragonum* acumula mayor cantidad de metales en toda su estructura con 97.38 mg/kg, seguido por la *Euphorbia cyparissias* con 88,09 mg/kg y por último el *Bacharis tricuneata* (Taya) con 76.33 mg/kg.

Las tres especies acumulan mayor porcentaje de metales en sus raíces donde el metal más predominante es el Pb en la especie *Epilobium traragonum* acumula 40.54 mg/Kg en su raíz, también estas 3 especies se puede utilizar para la fitoinmovilización y fitoestabilización de estos contaminantes y se puede utilizar para la fitoextracción para metales como el Pb, Cd y Cu por acumular gran cantidad en sus partes cosechables de las tres especies.

Palabras claves: Bioacumulación, Metales Pesados, *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium traragonum* (Adefillas)

ABSTRACT

Soil is a non-renewable resource and is an important pillar for the survival of human beings, however, in recent decades mining activity has increased a large number of environmental liabilities due to high restoration and treatment costs, evading their responsibilities, a One of the efficient long-term alternatives is remediation through bioaccumulation of heavy metals by certain plant species that have the ability to absorb and store in their structure.

The present research focused on the analysis of the bioaccumulation of heavy metals (Pb, Cd, Cu, As and Cr) in three species adapted to the Desmontera Rumiallana Euphorbia cyparissias (Lechetrezna), Bacharis tricuneata (Taya) and Epilobium Tratragonium (Adefillas), the methodology used was samples of the structures of the 3 species (root, stem and leaves) to send to the laboratory for their respective analysis.

From the results obtained from the Servicios Analíticos Generales SAC laboratory we were able to determine that the Epilobium Tratragonium species accumulates the greatest amount of metals throughout its structure with 97.38 mg/Kg, followed by the Euphorbia Cyparissias with 88.09 mg/Kg and finally the Bacharis Tricuneata (Taya) with 76.33 mg/Kg.

The three species accumulate a higher percentage of metals in their roots where the most predominant metal is Pb where the species Epilobium Tratragonium accumulates 40.54 mg/Kg in its roots, also the 3 species can be used for the phytoimmobilization and phytostabilization of these contaminants. and it can be used for phytoextraction for metals such as Pb, Cd and Cu because it accumulates a large amount in its harvestable parts of the three species.

Keywords: Bioaccumulation, Heavy Metals, Euphorbia cyparissias (Lechetrezna), Bacharis tricuneata (Taya) and Epilobium tratragonium (Adefillas)

INTRODUCCIÓN

La minería es una de las actividades más antiguas realizadas por el hombre, cuya evolución se ha producido de manera paralela a los avances de la humanidad. Generalmente esta actividad genera fuertes impactos ambientales, dentro de los cuales destacan los suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de vegetación y riesgo a la salud. Los suelos que quedan tras una explotación minera y contienen todo tipo de materiales residuos, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal y además de riesgos contra la salud pública. (García & Dorronsoro, 2010)

La ciudad de Cerro de Pasco, considerada ciudad minera por excelencia y con un gran historial de explotaciones mineras, actualmente alberga en su territorio pasivos ambientales mineros tales como los desmontes, lagunas de relaves y charcos de aguas ácidas. La contaminación de suelos por metales pesados constituye a la fecha uno de los más serios problemas ambientales que afronta la ciudad de Cerro de Pasco, tal es el caso del Centro Poblado de Paragsha que tiene un desmonte minero a pocos metros, conocido como Desmontera Rumiallana.

Algunas especies vegetales han desarrollado mecanismos fisiológicos y bioquímicos para minimizar los efectos de los metales a través de la acumulación en las raíces y la traslocación de éstos a los diferentes órganos vegetativos. Las plantas poseen tres estrategias básicas como son la exclusión, la indicación y la acumulación para crecer en suelos contaminados. Cuando las plantas son capaces de acumular y traslocar altos niveles de contaminantes en raíces, tallos y hojas se denominan hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en suelos que son ricos en metales por condiciones

geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. (Mendiete Webster & Taisigüe López, 2014)

En el presente trabajo de investigación se planteó como objetivo general analizar la eficiencia de bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en *las Especies: Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) adaptados en la Desmontera de Rumiallana en la ciudad de Cerro de Pasco con la finalidad de aportar mayor conocimiento a cerca de la bioacumulación de metales pesados en las especies de plantas antes descritas; las cuales se evaluaron para determinar su potencial como alternativa para la descontaminación de suelos contaminados a través de la Fitorremediación.

Las 9 muestras recolectadas de las estructuras (raíz, tallo y hojas) de las 3 especies se analizaron en laboratorio SAG-S.A.C. los resultados se evaluaron para la determinar la eficiencia de bioacumulación de metales pesados en estas especies, hallándose mayor concentración de metales las raíces seguido en las hojas y tallos en las tres especies siendo el plomo el metal más predominante en toda la estructura de las especies.

Esperamos que la presente investigación, contribuya como una alternativa de solución a problemas relacionados con la concentración de metales en el suelo y sirva como fuente de información para posteriores estudios de este tipo.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE IMÁGENES

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.3.1. Problema general	3
1.3.2. Problemas específicos.....	3
1.4. Formulación de Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.....	3
1.5. Justificación de la investigación	4
1.5.1. Justificación teórica	4
1.5.2. Justificación metodológica	4
1.5.3. Justificación ambiental.....	5

1.5.4. Justificación social	5
1.6. Limitaciones de la investigación.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.1.1. Antecedente a nivel internacional	7
2.1.2. Antecedente a nivel nacional	12
2.1.3. Antecedentes a nivel local	15
2.2. Bases teóricas – científicas.....	17
2.3. Definición de términos básicos	33
2.4. Formulación de Hipótesis.....	36
2.4.1. Hipótesis General	36
2.4.2. Hipótesis Específicas.....	37
2.5. Identificación de Variables	37
2.5.1. Variable Dependiente	37
2.5.2. Variable Independiente	37
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores.....	38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	39
3.2. Nivel de investigación	39
3.3. Método de investigación	39

3.4. Diseño de investigación	40
3.5. Población y muestra	40
3.5.1. Población.....	40
3.5.2. Muestra	41
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	42
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	43
3.9. Tratamiento Estadístico	43
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	44
4.1.1. Ubicación de proyecto	44
4.1.2. Accesibilidad.....	44
4.1.3. Recolección de muestras de las especies vegetales.	46
4.1.4. Recolección de muestra del suelo	48
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	50
4.3. Prueba de Hipótesis.....	62
4.4. Discusión de resultados.....	63

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1. ESTRUCTURA DEL TEJIDO VEGETAL DE LA RAÍZ	24
FIGURA N° 2. ESTRUCTURA DEL TEJIDO VEGETAL DEL TALLO.....	25
FIGURA N° 3. ESTRUCTURA DEL TEJIDO VEGETAL DE LA HOJA	26
FIGURA N° 4. PROCESOS TÍPICOS PARA LA FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CON SUSTANCIAS CONTAMINANTES	29
FIGURA N° 5. PARTICIÓN DE MUESTRAS SUPERFICIALES	36
FIGURA N° 6 UBICACIÓN DE DESMONTERA RUMIALLANA Y LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LAS ESPECIES VEGETALES.....	45
FIGURA N° 7 CONCENTRACIÓN TOTAL DE METALES PESADOS EN LAS ESPECIES VEGETALES .	51
FIGURA N° 8 FACTOR DE TRASLOCACIÓN DE LAS ESPECIES VEGETALES	52
FIGURA N° 9 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO VEGETAL DE EUPHORBIA CYPARISSIAS.....	54
FIGURA N° 10 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO VEGETAL DE BACHARIS TRICUNEATA.....	56
FIGURA N° 11 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO VEGETAL DE EPILOBIUM TETRAGONUM	58
FIGURA N° 12 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL SUELO	60

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 PROFUNDIDAD DE MUESTREO DE SUELO DE ACUERDO AL USO DEL SUELO	36
TABLA N° 2. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES.....	38
TABLA N° 3. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DE LAS ESPECIES.....	41
TABLA N° 4 CONCENTRACIÓN TOTAL DE METALES PESADOS.....	50
TABLA N° 5 FACTOR DE TRASLOCACIÓN.....	52
TABLA N° 6 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO VEGETAL DE EUPHORBIA CYPARISSIAS.....	54
TABLA N° 7 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO VEGETAL DE BACHARIS TRICUNEATA.....	56
TABLA N° 8 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO VEGETAL DE EPILOBIUM TETRAGONUM	58
TABLA N° 9 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL SUELO VS EL ECA-SUELO.....	61

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN N° 1 RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE LA ESPECIE EUPHORBIA CYPARISSIAS (LECHETREZNA)	46
IMAGEN N° 2 RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE LA ESPECIE BACHARIS TRICUNEATA (TAYA)	47
IMAGEN N° 3 RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE LA ESPECIE EPILOBIUM TETRAGONUM (ADEFILLAS).....	47
IMAGEN N° 4 RECOLECCIÓN DE MUESTRA DE SUELO COMPUESTO	48
IMAGEN N° 5 CUARTEO DE MUESTRA DE SUELO DE LOS DISTINTOS PUNTOS PARA LA OBTENCIÓN DE UNA MUESTRA HOMOGÉNEA	49
IMAGEN N° 6 PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS DE LAS ESPECIES VEGETALES Y DEL SUELO EN UN COOLER PARA ENVIAR AL LABORATORIO PARA SU RESPECTIVO ANÁLISIS	49
IMAGEN N° 7 ENVIÓ DE LAS MUESTRAS AL LABORATORIO DE SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES PARA SUS RESPECTIVOS ANÁLISIS	50

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El suelo es imprescindible para la sobrevivencia de los seres humanos, animales y de las distintas especies de plantas que habitan en ello, también es uno de los pilares para el desarrollo económico y social de nuestras comunidades que utilizamos estos recursos. Uno de los problemas que más aqueja a nuestra sociedad en la actualidad es la contaminación y disminución de nuestros recursos, por consecuencias naturales y a actividades de los seres humanos diarias siendo este el que mayor impacto negativo genera emitiendo sustancias dañinas o tóxicas que pueden afectar adversamente el medio natural y con ello a los organismos que habitamos en él.

En las últimas décadas, el incremento de los casos de daños ambientales generados por las actividades mineras a lo largo de la historia del Perú, se ha traducido en una preocupación creciente sobre la manera como se está desarrollando y controlando estas actividades. Los daños a la integridad y funcionamiento de los seres vivos y a la salud humana son causados por una

deficiente planificación y análisis previos, por condiciones técnicas inadecuadas de las operaciones y del procesamiento de productos minerales y sus respectivos residuos, y por el inadecuado manejo de los pasivos ambientales de origen minero y el incumplimiento de los planes de cierre, ha permitido identificar una serie de vacíos, brechas y debilidades legales en la regulación de la actividad minera, que en muchos casos conducen una larga estela de destrucción y deterioro irreparable de ecosistemas a un periodo de tiempo largo. (Raul, 2016)

La acumulación de desechos mineros en los suelos repercute en la pérdida de propiedades físicas, químicas y biológicas, asimismo incrementa la acidificación por acumulación de óxidos de sulfuros y de contaminantes por metales pesados (Cu, Pb, Hg, Cd, etc.), metaloides (As).

Dentro de la propiedad privada de la Compañía Minera CERRO S.A.C. existen espacios donde anteriormente se acumuló desmontes mineros, estos espacios actualmente no está en el proceso de Plan de Cierre, tras muchos años de acumulación se adaptaron algunas especies a estas características físicas y químicas del suelo. Surgiendo la necesidad de evaluar y analizar cual de las especies adaptadas es el que acumula mayor porcentaje de metales pesados en sus distintas estructuras. La remediación representa una de las alternativas sustentables y de un costo de inversión bajo para la recuperación de estos ambientes deteriorados por contaminantes naturales o antropogénicas.

1.2. Delimitación de la investigación

El área de influencia directa del proyecto de investigación se encuentra dentro de la Desmontera Rumiallana propiedad privada de la Compañía Minera CERRO S.A.C. en la provincia y región Pasco.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuál es la Eficiencia de Bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las Especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál de estas especies *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) es la que acumula mayor cantidad de metales pesados en la Desmontera Rumiallana?
- ¿En qué parte de las especies de: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) acumulan mayor cantidad de metales pesados, si en las raíces, tallos u hojas?
- ¿Qué metales pesados se encuentran en la Desmontera de Rumiallana?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la Eficiencia de Bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las Especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar cual de estas especies *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) es el que

acumula mayor cantidad de metales pesados en la Desmontera Rumiallana.

- Determinar en que parte de las especies de: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) acumulan mayor cantidad de metales pesados, si en las raíces, tallos u hojas.
- Determinar los metales pesados que se encuentran en la Desmontera Rumiallana.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

La investigación aporta mayor conocimiento de la bioacumulación de metales pesados en algunas especies vegetales que tienen la capacidad de remediar botaderos o suelos contaminados con metales, y cuyos resultados puedan ser incorporados como conocimientos verídicos dentro de la ciencia, con la finalidad de que esta sea una alternativa eficiente y económica para la descontaminación de botaderos o suelos contaminados a través de la bioacumulación de metales pesados en algunas especies vegetales.

1.5.2. Justificación metodológica

La investigación de bioacumulación de metales en las especies estudiadas fue mediante la competencia de los métodos científicos, y los valores que se obtuvieron en los resultados fueron analizados para demostrar su eficiencia y confiabilidad.

1.5.3. Justificación ambiental

Conociendo la capacidad de bioacumulación de estas tres especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) su aplicación permitirá restaurar, minimizar, remediar o compensar las zonas afectadas por la presencia y acumulación de metales pesados, cuyos resultados que obtuvimos contribuye con alternativas para la descontaminación de botaderos o suelos contaminados a través de la bioacumulación de metales pesados porque es una técnica más factible para la recupera de la calidad ambiental del suelo.

Diferentes autores en los estudios realizados mencionan que los metales y metaloide con los que más se tiene dificultad para la remoción son el Cd, Pb y As, en algunos casos sobrepasan los límites de los Estándares de Calidad Ambiental para Suelos (D.S. N° 011 – 2017 – MINAM) por la complejidad en la degradabilidad de estos metales. Es por ello que en esta investigación nos enfocamos más en estos elementos en las tres especies vegetales para determinar cual de las especies es la que mayor cantidad de acumulación obtiene en sus estructuras para considerar como una alternativa de descontaminación de suelos por estos elementos y otros metales pesados presentes.

1.5.4. Justificación social

La importancia de la investigación reside en evaluar posibles soluciones viables a las problemáticas de contaminación de suelos y otros componentes ambientales, y recuperar la calidad ambiental, los resultados de la investigación se dará a conocer a la población con la finalidad de informar la relevancia de las especies adaptadas a las condiciones físicas y químicas dentro de la Desmontera Rumiallana.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones que presenta el proyecto de investigación son:

- Dificultad para ingresar a la Desmontera Rumiallana.
- Traslado al lugar de la investigación.
- El costo de los análisis por cada parámetro (metales pesados) es muy alto en las especies investigadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedente a nivel internacional

(Jaramillo Ortiz & Trujillo Herrera, 2021), realizaron una investigación, la cual tuvo como objetivo describir el uso de familias de plantas bioacumuladoras como alternativa sustentable en procesos de remediación de suelos y agua contaminada por metales pesados como Plomo (Pb), Zinc (Zn), Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Hierro (Fe), y Cobre (Cu). En dicha investigación se realizó un análisis bibliográfico que permitió identificar los aportes de autores e investigadores respecto a los mecanismos de fitorremediación, las alternativas para la remoción de contaminantes en suelos y las especies vegetales potencialmente utilizables en tecnologías de biorremediación, entre otros aspectos de valor. Se describieron a las familias botánicas *Asteraceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Euphorbiaceae*, *Violaceae*, *Heliconiaceae* y *Solanaceae* que han demostrado potencial para fitorremediación, así como también sus características morfológicas y fisiológicas que pueden estar participando en la tolerancia a metales pesados. Concluyeron que

los métodos fisicoquímicos, a pesar de ser eficientes, representan un costo económico y ambiental, por ende, el uso de plantas en la biorremediación no provoca perturbaciones en los ecosistemas, siendo este un aspecto positivo en los ambientes contaminados con metales pesados (acuáticos y terrestres) que aún cuentan con presencia de fauna y flora. Asimismo, concluyeron que es necesario realizar una adecuada gestión de los residuos producidos en el proceso de fitorremediación, debido a que su manejo inadecuado puede provocar la contaminación por metales pesados de suelo, aire y agua en lugares que no presentan este problema, provocando un daño mayor a los beneficios esperados.”

(Reyes Roa, 2020), realizó una investigación, la cual tuvo como objetivo realizar un estudio de transferencia y bioacumulación de metales pesados para sensado molecular In situ en plantas para el consumo humano, asimismo, realizar un estudio comparativo de bioacumulación de metales pesados y metaloides, en particular: Hg, As, Cd y Pb en aromáticas y vegetales cultivados en las laderas del río Bogotá. Las concentraciones de cadmio (Cd) en las diferentes especies: albahaca (0.1008 mg/l), hierbabuena (0.0737 mg/l), zanahoria (0.0466mg/l) y espinaca (0.0566 mg/l) obtenidas en el estudio, superaron los límites mínimos permitidos establecidos para especies vegetales según lo indicado en el Codex Alimentarius, comprendidos entre 0.01mg/l y 0.05 mg/l. Concluyó que la albahaca a pesar de ser acumuladora de Cd, los efectos de toxicidad causados por este metal pesado no permiten que pueda ser utilizada como fito-remediadora. Sin embargo, los cambios presentados en hojas y tallos en función de las concentraciones bioacumuladas de cadmio (Cd) la hacen una prometedora opción para sensado de este metal por esta vía.”

(Xing, y otros, 2020), realizaron una investigación acerca de la acumulación de cadmio, cobre, plomo y zinc en especies de plantas silvestres cerca de una fundición de plomo en la ciudad China de Henan. Esta investigación se centró específicamente en la acumulación de cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) en 43 especies de plantas silvestres y los suelos correspondientes cerca de un área contaminada por fundición de Pb. Los suelos en el área de estudio tenían concentraciones elevadas de Cd, Cu, Pb y Zn, con índices de contaminación clasificados como $Cd > Pb > Cu > Zn$. Concentraciones de metales pesados en plantas aéreas clasificadas como $Pb > Zn > Cd > Cu$, con plantas que tienen un mayor factor de bioconcentración (BCF) para Cd que para Pb, Cu y Zn. El BCF de Cd de planta promedió 1.42, mientras que Pb, Cu y Zn promediaron 0.128, 0.256 y 0.560, respectivamente. El mayor valor de Cd FBC fue de 5,40 para *Dendranthema indicum*. La mayor concentración de Cd en brotes ($66,5 \text{ mg kg}^{-1}$) se encontró en *Viola verecunda*. Se concluyó que las especies de plantas con mayor acumulación de metales pesados podrían potencialmente usarse para la fitoextracción en el área de estudio, mientras que las que tienen menos acumulación podrían usarse para reducir el flujo de metales pesados hacia la cadena alimentaria, reduciendo los riesgos para la salud asociados con la contaminación elevada del suelo por metales pesados.

(Wang, Xiong, Zhang, Lu, & Wei, 2020), realizaron una investigación acerca de las malezas dominantes seleccionadas naturalmente como acumuladores y excluidores de metales pesados asistidos por bacterias de la rizosfera en un área minera, en la cual examinaron las malezas dominantes en la mina Dabaoshan ubicada en la provincia de Guangdong, China, para probar sus habilidades como acumuladores y excluidores de metales pesados. Los resultados

sugieren que *Ludwigia prostrata* exhibió el mayor potencial para acumular Cu, Pb y Zn en comparación con las otras plantas. En concreto, *L. prostrata* acumuló 71,58, 130,76 y 454,72 mg kg⁻¹ de Cu, Pb y Zn, respectivamente; el factor de translocación de Zn de la especie fue de 2,04, lo que indica una alta acumulación de Zn. En contraste, el factor de translocación (TF) de Cd de *Digitaria sanguinalis* fue de 0,18, significativamente más bajo que el de otras especies de plantas examinadas. Nuestros resultados sugieren que *Ludwigia prostrata* hiperacumula Zn y también puede servir como una planta de remediación candidata potencial para Cu y Pb debido a su alta cantidad absoluta de acumulación de Cu y Pb, mientras que *Digitaria sanguinalis* puede ser un candidato potencial como excluidor de Cd. También encontraron que las comunidades bacterianas de la rizosfera fueron formadas por especies de plantas dominantes individuales. *Chloroflexi* fue el phylum más dominante en plantas acumuladoras como *Fimbristylis miliacea*, mientras que *Cyanobacteria* fue el filo más dominante en plantas excluyentes como *Digitaria sanguinalis*.

(Kai Li, Zhang, Zhou, & Lu Liu, 2018), realizaron una investigación acerca de la contaminación por metales pesados en el suelo y su bioacumulación por plantas dominantes en un área minera de plomo y zinc, Nanjing. Para identificar plantas con aplicación potencial en fitorremediación, se midió la concentración de cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn) en el suelo y 14 plantas dominantes muestreadas en un área minera de plomo y zinc en la ciudad de Nanjing. Además, se evaluó la contaminación del suelo por metales pesados y la bioacumulación y translocación de los 6 metales pesados por parte de las 14 plantas. Los resultados mostraron que los principales contaminantes fueron Cd, Mn, Zn y Pb, y su índice de contaminación de factor único fue 45.71, 11.68,

10.40 y 4.46, respectivamente. Además, el índice de Nemerow de esta zona fue de 33,45, lo que indicaba que la zona minera estaba gravemente contaminada. Las 14 especies de plantas dominantes eran tolerantes a los metales, aunque la concentración de metales varió entre las diferentes especies. Entre ellos, *Pteris multifida* y *Trachelospermum jasminoides* acumularon significativamente los metales pesados. La concentración de Zn en todas las plantas dominantes estuvo fuera del rango normal; sin embargo, el factor de bioconcentración (FBC) solo de *Digitaria sanguinalis* para Zn fue >1, mientras que el FBC de las especies restantes para los 6 metales pesados fue <1. Además, el factor de biotransferencia (BTF) de metales pesados de las 14 especies fue generalmente alto. El BTF de *Helianthus tuberosus* y *Dendranthema indicum* para los 6 metales pesados fue >1. Según el mecanismo de acumulación de metales pesados, las 14 especies de plantas se clasificaron en 3 tipos: acumuladores (*H. tuberosus*, *D. indicum*, *Phytolacca americana*, *Justicia procumbens*, *D. sanguinalis*, *Sonchus brachyotus*, *Solanum nigrum* y *Setaria viridis*), compartimento de la raíz (*P. multifida* y *T. jasminoides*) y excluidores (*Solidago decurrens*, *Duchesnea indica*, *Carex breviculmis* y *Cyrtomium fortunei*).

(Peláes Peláes, Bustamante Cano, & Gómez López, 2016), realizaron una investigación acerca de la presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Brachiaria* en el Magdalena medio colombiano, el cual tuvo como objetivo determinar el contenido de cadmio y plomo en las distintas especies de la pastura tropical *Brachiaria* en una zona donde se desarrolla una consolidada industria petroquímica. Para determinar la posible presencia de metales pesados, se realizaron análisis en laboratorio de suelo y de los diferentes tejidos vegetales que componen los pastos (raíz, tallo y hojas)

recolectados por triplicado para cada punto del transecto. Los resultados indicaron que existe una alta frecuencia de representantes de la familia Poaceae y de sus géneros de *Brachiaria spp.*, con importantes diferencias. En la zona de la refinera se detectaron dos especies de *Brachiaria*, mientras que en la zona de los pozos de extracción y en la zona testigo se presenta mayor frecuencia de otras especies de *Brachiaria*. Se concluyó que los mayores niveles de bioacumulación de metales en tejidos vegetales presentó el siguiente orden: raíz > tallo > hojas, a su vez la acumulación en suelo mostró ser mayor en la profundidad de 5 cm.

2.1.2. Antecedente a nivel nacional

(Romero Arribasplata & Bravo Thais, 2021), realizaron una investigación acerca del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros, la cual tuvo como objetivo analizar el potencial de plantas nativas como el Ichu y Cortadera, para la absorción de metales pesados de PAM. Para tal fin, se recolectaron muestras de estas especies y de suelos de zonas específicas de la provincia de Hualgayoc, Cajamarca. A partir de eso, se construyeron celdas a escala de laboratorio, en donde se sembraron las plantas sobre las muestras de suelo. Una vez terminado el ciclo de 8 meses, se procedió a retirar las especies y determinar las concentraciones finales de los metales pesados en la raíz y en las partes aéreas de la planta. En la investigación se determinó que las plantas presentan diferentes capacidades de acumulación de metales, siendo el Fe el que presenta la mayor absorción, seguido principalmente por el Cu y Zn, y en menor cantidad el Cd, Pb y Cr. De igual manera, se determinó que la eficiencia de la remoción se incrementa cuando las plantas se exponen a suelos con pH menores a 7, a pesar de que la capacidad de absorción en las partes aéreas disminuye. En general, se concluyó que las plantas nativas

son propicias para continuar con más investigaciones y con un proceso de Fitorremediación de PAM a mayor escala.

(Pancorbo Arias & Ruiz Sandoval, 2020), realizaron el trabajo de investigación acerca de la Fitoestabilización de Cadmio para la recuperación de suelo, el cual tuvo como objetivo analizar la técnica de fitoestabilización de Cadmio (Cd) para la recuperación de suelos. Se utilizó como técnica de recolección de datos el análisis documental de 19 artículos científicos, de los cuales se identificó el tipo de plantas según la especie, utilizadas en los procesos de fitoestabilización. También se determinó el potencial fitoestabilizador de cada una de ellas a través de los factores biológicos como: el Factor Translocación (TF) y Factor Bioconcentración (BCF), finalmente, se describió las enmiendas incorporadas como una alternativa, para mejorar el proceso de fitoestabilización. Los resultados obtenidos durante el análisis muestran el uso de especies de plantas herbáceas y arbóreas, donde se determinó su potencial Fitoestabilizador mediante el TF, el cual fue menor que 1 ya que se obtuvieron valores de 0.03 a 0.659 mg/kg-1 de Cd lo que indica una eficiente translocación, impidiendo que los metales se trasladen de la raíz a la parte aérea. En cuanto al BCF, se encontró valores entre 0.23 y 418.2 mg/kg-1 de Cd acumulado en las raíces de las plantas.

(Fernandez Ecobar, 2019), realizó una investigación acerca de especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto en el distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, la cual tuvo como objetivo identificar las especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto. Se colectaron cuatro individuos por cada especie vegetal herbácea encontrada, para el análisis fisicoquímico, morfológico y la identificación, las muestras incluyeron el vástago (tallo, hoja, flor y

semillas) y el sistema radicular (raíz). Se identificaron siete especies vegetales nativas tolerantes, *Browallia americana* de la familia solanaceae, *Philoglossa mimuloides* y *Ageratina cf azangaroensis* de la familia asteraceae, *Commelina difusa* de la familia commelinaceae, *Borreria prostrata* y *Diodia alata* de la familia de las rubiaceae, *Euphorbia heterophylla* de la familia euphorbiaceae. Por otro lado, se identificaron dos especies vegetales nativas acumuladoras, *Cyathula prostrata* de la familia amaranthaceae y *Cyperus simplex* de la familia cyperaceae.”

(Cahuana & Aduviri, 2019), realizaron una investigación acerca de la bioacumulación de metales pesados en tejidos de vegetación acuática y terrestre en áreas donde existen pasivos ambientales mineros en el Perú, el cual tuvo como objetivo analizar la *Bioacumulación* de metales pesados en los tejidos de la vegetación acuática (macrófitas), especialmente en especies como: *Anomobryum prostratum*, *Marchantia Polymorpha L.* y *Bryofita sp.*, así como en especies de vegetación terrestre en especies como: *Stipa mucronata*, *Festuca dolichophylla* y *Cortaderia sp.*, en áreas alrededor de antiguas operaciones mineras abandonadas. Con respecto a la concentración de metales en tejido vegetal terrestre (Plantas terrestre), pudieron apreciar que existe una fuerte relación entre las concentraciones de Cromo ($R^2=86.16\%$) de las plantas terrestre con respecto a las concentraciones en sedimento. Seguido de Mercurio ($R^2=85.49\%$). El resto de los metales no presentaron relaciones estadísticamente significativas. De esta manera podremos concluir si la concentración metales presentes en la matriz (sedimento, guardan una relación significativa con la concentración de metales en las especies objeto de estudio). Asimismo, del análisis de metales pesados realizados en tejidos vegetales de plantas terrestres en las estaciones de monitoreo del área de influencia de los Pasivos Ambientales Mineros, presentan bioacumulación de metales

pesados (arsénico y plomo) *superando* en algunas estaciones, las concentraciones máximas establecidas por la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) y por la AAFCO (1996) Association of American Feed Control Officials. Se tiene así, que las estaciones PT-2 con 6.5 mg/kg según la legislación de la Unión Europea (Real Decreto 747/2001. España) el Arsénico se encuentran por encima del contenido máximo permitido (2 mg/kg), mientras que los valores altos para el Plomo en las estaciones PT-1, PT-2 y PT-4 tendría características propias de los componentes del suelo que estarían determinando valores altos, teniendo en cuenta que el uso del suelo es de tipo minero.

(Huaman Ventura, 2019), realizó una investigación, la cual tuvo como objetivo determinar la capacidad de fitoacumulación de Pb, Fe y Zn por el *Phalaris aquatica* en los relaves de la unidad minera Morococha en el departamento de Junin. Las muestras de sustrato y material biológico se analizaron en un laboratorio, en la cual se determinaron las *concentraciones* de Pb, Fe y Zn por el método ICP (Espectrómetro de Emisión Atómica de Plasma de Acoplamiento Inductivo). Una vez obtenidos los resultados, se sistematizaron los mismo para verificar la normalidad mediante la prueba de rango shapiro wilk a un nivel de $\alpha = 0.05$ usando el programa SPSS. A partir de esto, se determinó el factor de acumulación y el factor de translocación de Pb, Fe y Zn por *Phalaris aquatica*. Se concluyó que *Phalaris aquatica* tiene "La capacidad fitoestabilizante como cubierta vegetal de relaves", para el tratamiento de la erosión del suelo y para evitar la contaminación por polución.

2.1.3. Antecedentes a nivel local

(León Atachagua, 2019), realizó un trabajo de investigación, el cual tuvo como objetivo *identificar* que especies de flora se han adaptado y si estas están

captando metales pesados dentro de la relavera Quiulacocha, en el distrito Simon Bolivar del departamento Pasco. De las 4 especies recolectadas como son las especies de la Taya (*Bacharis tricuneata*), Ichu (*Stipa ichu*), Crespillo (*Calamagrostis vicunarum*) y Tola (*Baccharis tricuneata*), la especie de Crespillo (*Calamagrostis vicunarum*) fue el que mayor concentración de todo tipo de metales pesados pudo acumular en su estructura vegetal, seguidamente por el Ichu (*Stipa ichu*) y la Taya (*Bacharis tricuneata*). El Ichu acumuló mejor los metales pesados como son el aluminio (Al), arsénico (As), cromo (Cr), hierro (Fe), plomo (Pb), zinc (Zn) y la Taya captó mejor al cobre (Cu), manganeso (Mn), antimonio (Sb). Por otro lado, la Tola (*Baccharis tricuneata*) es la especie con baja capacidad de concentración de metales pesados dentro de la relavera Quiulacocha. En cuanto a la Taya (*Bacharis tricuneata*) se realizaron 2 muestras uno en las hojas y el otro en el tallo, donde la mayor concentración de metales pesados se encontró en el tallo con respecto a las hojas. De igual forma, en el Ichu (*Stipa ichu*), se realizaron 2 muestras uno en los tallos y el otro en las raíces, y se determinó que la mejor concentración de metales pesados se encuentra en los tallos la diferencia depende del tipo de metal pesado, ya que en el tallo se encontró mayor concentración de aluminio (Al), arsénico (As), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb) y zinc (Zn) y en las raíces se encontró mayor concentración de cromo (Cr), manganeso (Mn) y en ambas especies la concentración de antimonio (Sb) fue la misma proporción."

(Papuico Huayta, 2018), realizó una investigación, el cual tuvo por objetivo determinar si es posible utilizar la técnica de Fitorremediación en la extracción de metales pesados utilizando la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) y determinar la concentración de *metales* pesados en las raíces y en la parte aérea en la planta Yaluzai (*Senecio rudbeckiaefolius*) en la relavera de Quiulacocha del

distrito de Simón Bolívar de Rancas. Se llegó a la conclusión que la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) es una planta considerada de Fitoextracción ya que los metales pesados capturados están acumulados en las partes cosechables de las plantas y es posible su eliminación del medio. Asimismo, en la relavera Quiulacocha a través de investigaciones realizadas por CESEL ingenieros y Centro de Cultura Popular LABOR observaron la presencia de metales de Fierro (Fe), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Zinc (Zn) y Plata (Ag), donde se comprobó que la planta YALUZAI (*Senecio rudbeckiaefolius*) pudo extraer estos metales en gran cantidad, acumulándose en las raíces y las hojas, pero con mayor presencia en las hojas.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Contaminación del suelo por metales pesados

La presencia de concentraciones nocivas de algunos elementos químicos y compuestos (contaminantes) en los suelos es un tipo especial de degradación que se denomina contaminación. El contaminante está siempre en concentraciones mayores de las habituales (anomalías) y en general suelen tener un efecto adverso sobre los organismos vivos. Por su origen pueden proceder o ser geogénico o antropogénico. El primero proceden de la propia roca madre en la que se formó el suelo, de la actividad volcánica o de la lixiviación como resultado de las mineralizaciones. El segundo, por el contrario, los antropogénicos se generan por los residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, etc. y de los residuos sólidos urbanos. Desde una perspectiva legal, los contaminantes generados por los seres humanos son los verdaderos contaminantes. (Galán & Romero, 2008)

El suelo es perturbado cada día más como resultado de las actividades mineras metálicas y no metálicas. Una de las anomalías biogeoquímicas que se generan al momento de la extracción, es el incremento de la cantidad de microelementos en el suelo transformándose a niveles de macroelementos que los cuales afectan negativamente la biota y la calidad de suelo; afectan la abundancia, diversidad y actividad de los distintos organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo (Wong, 2003). Salomons (1995) comenta que los metales son tóxicos para los organismos vivos y son los inhibidores de factores ecológicos alterando el crecimiento de las plantas.

El suelo que queda después de una explotación minera contienen distintos tipos de materiales residuales, desechos impuros, escombros estériles, entre otros, la cual representa graves problemas para el crecimiento de la cubierta vegetal, tienen como características más notables las siguientes: clase textural desequilibrado, ausencia o poca presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes esenciales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, profundidad efectiva baja, poca capacidad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, escasa retención de agua y gran cantidad de compuestos tóxicos. (PUGA , Soraya; SOSA, Manuel; QUINTANA , Cesar, 2006)

2.2.2. Metales pesados

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad cinco veces mayor que el del agua y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros. Los metales pesados se

encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos. Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. (Prieto, Gonzales, & Roman, 2009)

2.2.2.1. Arsénico (As)

Elemento químico, cuyo símbolo (As) y su número atómico, 33. El arsénico es una sustancia presente en forma natural que puede encontrarse en el aire, el agua y el suelo. También puede liberarse en el medio ambiente debido a ciertos procesos agrícolas e industriales, como la minería y la fundición de metales. El arsénico se puede encontrar en dos estados (orgánico e inorgánico); el estado inorgánico es más tóxico que el estado orgánico. Las plantas absorben Arsénico bastante fácil, así que un alto rango de concentraciones puede estar presentes en la comida. Las concentraciones del peligroso Arsénico inorgánico que está actualmente presente en las aguas superficiales aumentan las posibilidades de alterar el material genético de los peces. (Lenntech, 2020).

Los humanos pueden ser expuestos al arsénico a través de la comida, agua y aire. La exposición puede también ocurrir a través del contacto con la piel con suelo o agua que contenga arsénico. Puede desarrollar:

- Irritación del estómago e intestinos;
- Disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos;
- Cambios en la piel, Irritación de los pulmones.

- Cáncer de piel, pulmón, hígado; Infertilidad y abortos. (LABOR, 2018)

2.2.2.2. Cadmio (Cd)

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; El Cadmio es fuertemente adsorbido por la materia orgánica del suelo. Cuando el Cadmio está presente en el suelo este puede ser extremadamente peligroso, y la toma a través de la comida puede incrementar. Los suelos que son ácidos aumentan la toma de Cadmio por las plantas. Esto es un daño potencial para los animales que dependen de las plantas para sobrevivir. (Lenntech, 2020).

Tóxico para organismos acuáticos y algas. En el suelo reduce el crecimiento de las plantas la toxicidad por Cd, la actividad fotosintética, el contenido de clorofilas y provoca clorosis principalmente en hojas jóvenes. También, interfiere en la entrada y transporte de nutrientes y ocasiona estrés oxidativo y afectaciones en las actividades enzimáticas.

A exposiciones ya sea en el aire, suelo o agua genera problemas respiratorios, pulmonitis. No cancerígeno. Enfermedad del riñón. Reducción en espermias. Produce efectos en los fetos: malformaciones; defectos; reducción en el desarrollo del cerebro.” (LABOR, 2018)

2.2.2.3. Cobre (Cu)

Es un metal comparativamente pesado el cobre puro tiene una densidad de 8.96 g/cm^3 El cobre no se degrada en el ambiente y por eso se puede acumular en plantas y animales cuando están en el suelo. En suelos ricos en cobre, sólo un número pequeño de plantas pueden vivir.

En altas dosis en los seres humanos puede causar anemia, daño al hígado, riñón, y la irritación del estómago y del intestino. El cobre aparece

normalmente en agua potable de las tuberías de cobre y su concentración puede aumentar mucho si el agua es ácida. (LABOR, 2018)

2.2.2.4. Cromo (Cr)

Símbolo Cr, número atómico 24, peso atómico 51.996 g/cm³; metal que es de color blanco plateado; Altas concentraciones de cromo, debido a la disponibilidad de metales en las aguas superficiales, pueden dañar las agallas de los peces que nadan cerca del punto de vertido. En animales, el cromo puede causar problemas respiratorios, una baja disponibilidad puede dar lugar a contraer las enfermedades, defectos de nacimiento, infertilidad y formación de tumores.

El ser humano puede estar expuesto al cromo a través de la respiración, comiéndolo o bebiéndolo, y a través del contacto con la piel. Puede causar reacciones alérgicas, como son sarpullidos cutáneos. Después de ser respirado, puede causar irritación de la nariz y sangrado de la misma. Otros problemas de salud: erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón y muerte. (LABOR, 2018)

2.2.2.5. Plomo (Pb)

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19. El plomo es un metal pesado de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. El Plomo ocurre de forma natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas. El Plomo es un elemento químico

particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias. (Lenntech, 2020)

El plomo se acumula en los cuerpos de los organismos acuáticos y organismos del suelo. Estos experimentarán efectos en su salud por envenenamiento por plomo. Los efectos sobre la salud de los crustáceos pueden tener lugar, incluso cuando sólo hay pequeñas concentraciones de plomo presente. El plomo es un elemento químico particularmente peligroso, y se puede acumular en organismos individuales, pero también entrar en las cadenas alimenticias y afectar a los seres humanos.

El plomo puede causar: perturbación de la biosíntesis de hemoglobina y anemia, incremento de la presión sanguínea, daño a los riñones, abortos y abortos sutiles, perturbación del sistema nervioso, daño al cerebro, disminución de la fertilidad del hombre a través del daño en el esperma, disminución de las habilidades de aprendizaje de los niños, perturbación en el comportamiento de los niños, como es agresión, comportamiento impulsivo e hipersensibilidad. El plomo puede entrar en el feto a través de la placenta de la madre. Debido a esto puede causar serios daños al sistema nervioso y al cerebro de los niños por nacer. (LABOR, 2018)

2.2.3. Acumulación de metales en plantas

Las especies vegetales, incluidos algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras y se encuentran principalmente en los suelos que son ricos en metales por condiciones geoquímicas naturales o contaminación antropogénica. Las plantas hiperacumuladoras, generalmente, tienen poca

biomasa debido a que ellas utilizan más energía en los mecanismos necesarios para adaptarse a las altas concentraciones de metal en sus tejidos (Kabata - Pendias, 2000). Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes (Lasat, 2000); sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos. (Cahuana & Aduviri, 2019)

2.2.4. Tejidos vegetales

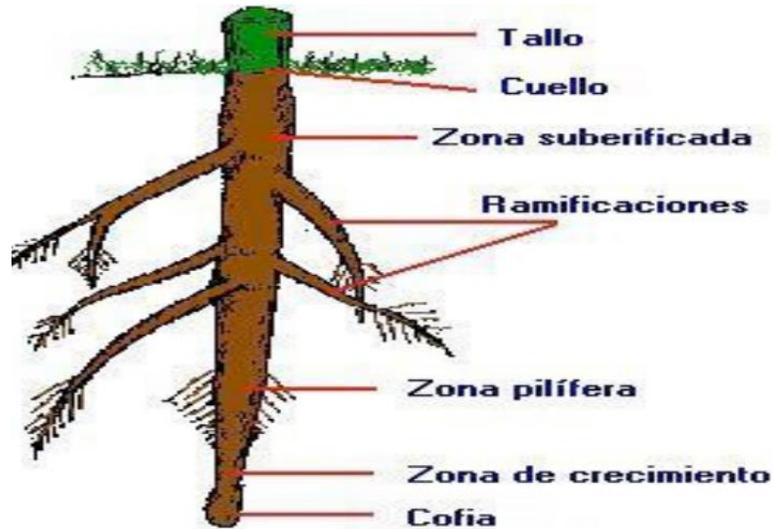
Los tejidos vegetales son grupos de células, de uno o más tipos, que cumplen una función específica y que forman parte de los órganos de las plantas. Los tejidos vegetales forman los órganos de las plantas, como las hojas, el tallo y las raíces. Los tejidos y sistemas de tejidos se agrupan para formar órganos que pueden ser vegetativos, como la raíz (órgano de captación de agua y sales), tallo (órgano para el transporte, sostén y a veces realiza la fotosíntesis) y hoja (órgano que capta la energía solar, realiza la fotosíntesis y es el principal responsable de la regulación hídrica de la planta), o bien reproductivos como la flor y sus derivados, la semilla y el fruto. (Megías, Molist, & Pombal, 2020)

2.2.4.1. Raíz

La raíz se empieza a desarrollar cuando la semilla germina. La pequeña raíz o radícula se transforma en la raíz primaria y va desarrollando para formar raíces secundarias adheridas a ella. La raíz está cubierta por tejido epidérmico que se estira hasta formar los llamados pelos radiculares, el tejido del parénquima se encuentra bajo la epidermis, aunque no cumple con la función fotosintética, si no con la de servir como tejido de almacén,

bajo el parénquima se ubica la endodermis, un tejido más compacto que el anterior. (Morales Vargas, 2014)

Figura N° 1. Estructura del Tejido Vegetal de la Raíz

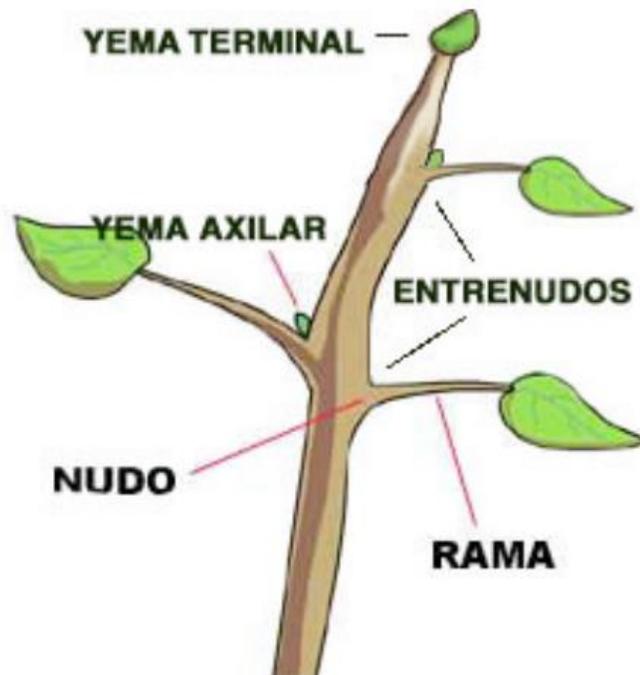


Fuente: Morales Vargas, Susana Gabriela – Estructura del Tejido Vegetal de la Raíz – 2014

2.2.4.2. Tallo

El tallo es una parte imprescindibles de la planta con una estructura alargada de la que surgen las ramas, hojas, flores y los frutos. “Cuanto mayor tamaño sean los tallos, mayor será el trabajo que deban de realizar los sistemas vasculares para trasladar el agua y minerales desde la raíz hasta cada una de las células de la planta. Un tallo puede ser leñosa si sobre él se ha formado estructuras duras (troncos de árboles y arbustos), o herbáceos porque no desarrolla estructuras leñosas y mantiene una consistencia de textura blanda.” (Morales Vargas, 2014)

Figura N° 2. Estructura del Tejido Vegetal del Tallo

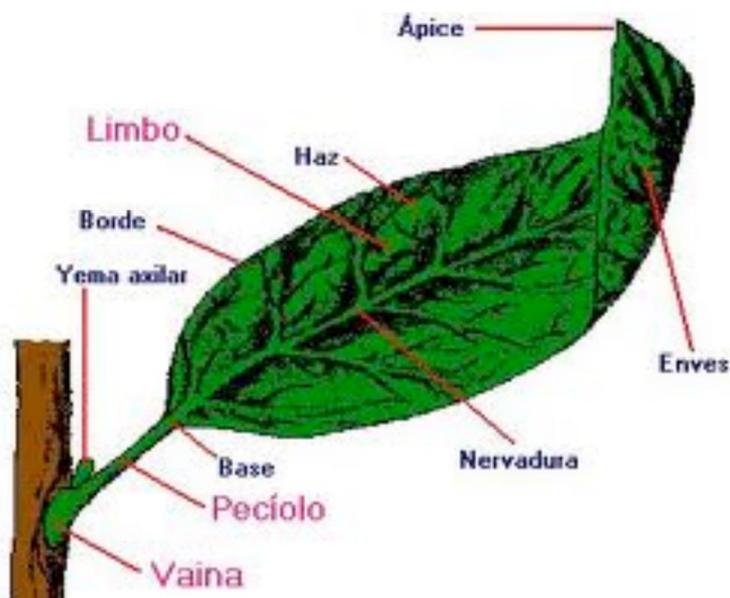


Fuente: Morales Vargas, Susana Gabriela – Estructura del Tejido Vegetal del Tallo – 2014

2.2.4.3. Hojas

Las hojas son los órganos especializados que en general presentan forma aplanada lo que le permite exponer una superficie mayor para captar mayor cantidad de luz solar. Al entorno de la hoja se encuentra el tejido epidérmico la cual protege a la hoja, seguida por el parénquima o tejido fotosintético y los tejidos vasculares como son el (xilema y floema). (Morales Vargas, 2014)

Figura N° 3. Estructura del Tejido Vegetal de la Hoja



Fuente: Morales Vargas, Susana Gabriela – Estructura del Tejido Vegetal de la Hoja – 2014

2.2.5. Bioacumulación de metales pesados en plantas

2.2.5.1. Absorción radical

El ingreso de los distintos metales pesados al interior de la planta se puede dar por absorción foliar o radical, ya sea por medio de las células de la raíz o por la cutícula de la hoja. Una vez dentro de las células, estos iones son secuestrados por ligandos tales como fitoquelatinas, metalotioneinas o quelantes a base de cisteína y posteriormente son compartimentalizados en diferentes organelos de la planta. Aunque algunos tipos de transportadores permiten la salida de los ligandos con iones metálicos los cuales se transportan vía xilema o floema, de acuerdo con el mecanismo de ingreso, llegan finalmente a diferentes partes de la planta.”

El proceso de translocación, secuestro y compartimentalización de metales pesados en la planta es un tema vigente de estudio del que aún se

desconocen mecanismos y procesos moleculares de transporte tales como: tipo de transportadores 20 que permiten el ingreso y la translocación de diferentes clases de metales pesados y no metales en las plantas, mecanismos de transporte y procesos de compartimentalización entre otros. (Reyes Roa, 2020)

2.2.5.2. Absorción foliar

La absorción foliar de metales pesados en especies vegetales depende de las características físico-químicas de la cutícula y de los metales, la morfología y superficie de área de las hojas, las formas físicas y químicas de los metales absorbidos, textura superficial de las hojas (pubescencia y rugosidad) de cada especie, hábitat de la planta, duración de exposición, condiciones ambientales e intercambio de gases.

Las distintas variedades de plantas muestran diferentes capacidades de absorción y retención foliar. Esto debido a que la absorción de metales pesados en las plantas varía de acuerdo con algunos parámetros de la hoja tales como: la estructura del follaje, el ángulo de inclinación, densidad, algunos parámetros anatómicos y morfológicos, características de estructura y área. El ingreso de metales pesados a la planta desde la parte aérea es un proceso del que se resaltan cuatro pasos específicos: Adherencia a la cutícula, penetración a través de la cutícula vía endocitosis, absorción por las células subyacentes y compartimentalización. (Reyes Roa, 2020)

2.2.6. Clases de fitorremediación

La fitorremediación de suelos contaminados esta comprendía en el uso conjunto de las plantas con capacidades distintas al resto de las especies,

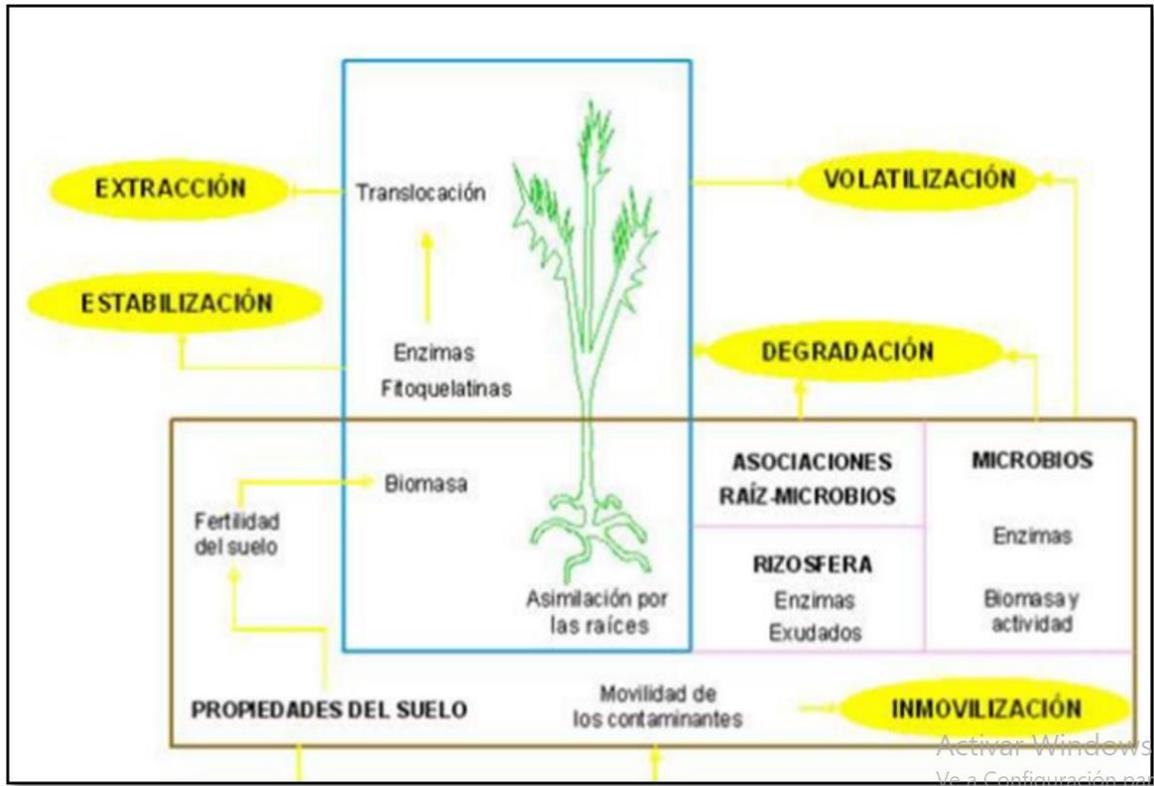
enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, absorber, o menguar la toxicidad de los contaminantes presentes en el suelo (Chaney et al., 1997). Este grupo de fitotecnologías reúne un gran número de ventajas, especialmente en la limpieza y en la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo por el contrario lo mejora, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza 'in situ' evitando costosos transportes.

Estos métodos de fitotecnologías se pueden aplicar o utilizar tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos, presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen en:

- **Fitoextracción:** uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- **Fitoestabilización:** manejo de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno contaminado, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio donde se va a recuperar el estado natural.
- **Fitoimmobilización:** uso netamente de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los distintos contaminantes del suelo. Junto con la anterior son las dos técnicas de contención.
- **Fitovolatilización:** empleo de las plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.
- **Fitodegradación:** uso de algunas especies de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.

- **Rizofiltración:** uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua y de otros efluentes acuosos. (Carpena & Bernal, 2007)

Figura N° 4. Procesos típicos para la fitorremediación de suelos con sustancias contaminantes



Fuente: Carpena, R.O.; Bernal, Pilar – Procesos típicos para la Fitorremediación de suelos con Sustancias Contaminantes – 2007

2.2.7. *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna)

Descripción: diferentes fuentes revisadas mencionan la especie de *Euphorbia* se tiene más de 2000 especies reconocidas científicamente y más de 3000 no se reconocen la variedad, es una planta de tipo arbustiva que en la actualidad está adaptado en diferentes lugares del Perú y del planeta.

Es una planta que puede llegar a medir hasta (1.20 m) las hojas son de forma lineares hasta de unos 5 cm y muy estrechados aproximadamente (1 – 3 cm) de distancia de entre hoja a hoja, el diámetro de los tallos puede llegar a medir hasta

2.5 cm, posee flores muy vistosas y densas de color amarillentas fácilmente decorativas de forma de campanas invertidas pequeños poseen unas cretas pequeñas en los bordes de cada flor.

Es una especie de fácil adaptabilidad en las diferentes características de suelos ácidos, neutro, alcalino, arena, calcáreo, etc. y no necesita mucha humedad para poder germinar en cuanto a la distribución geográfica estas especie podemos observar en mayor cantidad en zonas altoandinas incluso por encima de los 4300 msnm.

Podemos observar la distribución en los entornos de la ciudad y en la misma Desmontera Rumiallana de forma muy dispersada, sin embargo, se observa que esta especie es capaz de formar matorrales por ser especie dominante y de rápida adaptabilidad. Revistas como Herbari Virtual considera a esta especie como maleza y tóxica ya que poseen un fluido lechoso cuando se rompes los tallos.

2.2.8. *Baccharis tricuneta* (Taya)

Descripción: Arbusto de hasta 1.5 m de altura, muy ramificado desde la superficie, con el follaje apretado en las partes terminales. Hojas simples, alternas, muy abundantes, de 0.5-1,5 cm de longitud; el ápice tiene tres dientes, la base es aguda; los nervios secundarios no son visibles; las láminas tienen diminutos puntos resiníferos, muy abundantes. Inflorescencias en cabezuelas de 0.5-1 cm de longitud, solitarias o en grupos de dos o más, de color blanquecino. Las flores son diminutas y tubulares, de color blanco. Fruto de 0.5-1 cm de longitud, alargado, provisto de pequeñas cerdas. (Reynel, 2012)

Observaciones para el reconocimiento de la especie *Baccharis Tricuneata* en el campo: Se le puede reconocer por sus hojas pequeñas, coriáceas y muchas veces con tres dientes menudos; éstas muestras pequeños puntos provistos de

resina; las flores están dispuestas en pequeñas cabezuelas blanquecinas forma de copa.

Distribución geográfica: Lo encontramos en zonas alto andinas, sobre todo entre los 3000 – 4500 msnm, distribuida especialmente en el ámbito Central de la Sierra y Sur del país, de gran resistencia a sequías y de rápida adaptabilidad a diferentes características de suelos, su propagación es muy fácil aún más si la especie se encuentra en zonas con humedad. (Reynel, 2012)

Usos: Los tallos de mayor diámetro y ramas de esta planta son empleados en diferentes comunidades de la Sierra peruana como fuente de combustible, y arden aun frescos, por las sustancias resinosas que tienen. (Reynel, 2012)

2.2.9. *Epilobium tetragonum* (Adefillas)

Descripción: Es una planta herbácea silvestre que en buenas condiciones de humedad y habitat puede alcanzar, según diferentes fuentes consultados, el metro de altura. En la desmontera Rumiallana la cual hemos estamos observando no pasa de los 50 cm ya que en el lugar donde vive no dispone de toda la humedad que a ella le gustaría, se adaptó entre las rocas del desmonte y en épocas de invierno es donde mayor presencia de esta podemos observar.

Sus tallos tienen una forma cuadrangular y de color rojizo, las flores son de color rosado blanquecino de 4 pétalos, en las mañanas donde el sol ilumina las flores están bien abiertos y por las tardes cuando el sol se oculta las florecillas tienden a cerrarse.

Esta especie lo encontramos muy dispersados en la Desmontera Rumiallana adaptados a más de 4300 msnm sobre todo en épocas de invierno debido a que la especie requiere gran cantidad de humedad.

2.2.10. Ventajas de especies que acumulan metales en sus estructuras

En el año de 1993 se realizó por vez primera el estudio de las plantas frente a la absorción de metales pesados llegando a la conclusión de que algunas especies tienen la gran capacidad de acumular estos metales, y varía de acuerdo a las características de las plantas, al metal que está expuesto, al tipo de suelo entre otros factores más. Desde esa época hasta la actualidad esta técnica fue evolucionando teniendo más aceptación y siendo considerado una de las tecnologías alternativas para la solución de daños ambientales tanto en el suelo como en el agua.

- Rehabilitación de extensas áreas contaminadas por distintas actividades que trabajan con contaminantes orgánicos o inorgánicos.
- Fito-minería u Agro-minería usos de estas especies para la extracción de metales que mayor acumulan en sus estructuras ejemplo (Ni).
- Extracción de metales en sus partes cosechables para su disposición como residuos peligrosos (Cd, As, Pb, etc.), etc.

2.2.11. Factores de concentración

Existen ciertos factores que permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea

2.2.11.1. Factor de traslocación (TF)

El factor de translocación (TF) utilizado para determinar la capacidad de transportar metales desde las raíces hasta las partes aéreas de la planta, se define como el cociente entre la concentración del metal en las partes aéreas y raíz. Se determina usando la siguiente ecuación:

$$TF = \frac{[CC \text{ elemento}] \text{ hojas}}{[CC \text{ elemento}] \text{ raíz}}$$

Donde **[cc] Hojas** corresponde a la concentración del metal pesado el órgano aéreo, en este caso la hoja y **[cc] Raíz** corresponde a la concentración del metal de interés en la raíz. Factores de translocación mayores a 1 indican que la planta presenta una gran capacidad para movilizar metales desde la raíz a las hojas. Esto indica que existen condiciones fisiológicas y metabólicas favorables para el transporte del metal de interés a través de los tallos. (Reyes Roa, 2020)

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Bioacumulación

Concentración resultante acumulada en el medio ambiente o en los tejidos de organismos vivos a partir de la incorporación, distribución y eliminación de contaminantes obtenidos por todas las rutas de exposición por ejemplo por aire, agua, suelo, sedimento y alimento. (Papuico Huayta, 2018)

2.3.2. Desmontera

El desmonte de mina o tajo abierto es el material estéril o mineral de baja ley que se obtiene al momento de realizar el corte de mineral en la operación de mina o que es obtenido como material de desbroce para acceder de manera más fácil al mineral. La relación entre los volúmenes de desmonte y mineral se denomina Stripping de manera que si se trata de un Stripping 3:1 representa 3 TM de desmonte por TM de mineral y esa es la nomenclatura que se utiliza normalmente en la industria. (Schwarz, 2013)

2.3.3. Metales pesados

Los metales pesados son aquellos cuya densidad es por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Se extraen de yacimientos mineros y se utilizan para fabricar todo tipo de productos de uso cotidiano. (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.3.4. Contaminación de suelos

La contaminación del suelo es una alteración o transformación del suelo debido a la presencia de sustancias químicas producidas por el hombre a través de diversas actividades. En otras palabras, es la degradación o daño que directa o indirectamente causa el ser humano a la superficie y al suelo para obtener recursos renovables y no renovables.

El suelo es un recurso no renovable, lo que comprende que su pérdida y degradación no es recuperable en el transcurso de una vida humana. Los suelos afectan a los componentes más importantes que tenemos tales como: a los alimentos que comemos, al agua que bebemos, al aire que respiramos, a nuestra salud y la de todos los organismos vivos del planeta. La contaminación del suelo en la actualidad es devastadora para el medio ambiente y tiene consecuencias para todas las formas de vida a las que afecta. Las distintas prácticas agrícolas insostenibles disminuyen la materia orgánica del suelo y pueden facilitar la transferencia de contaminantes a la cadena alimentaria (Biomagnificación¹). Por ejemplo, el suelo con contaminantes puede liberar contaminantes en las aguas subterráneas que luego se acumulan en los tejidos de las plantas y pasan a los animales que pastan, a las aves y finalmente a los humanos que se alimentan de

¹ Biomagnificación: Es el incremento de bioacumulación de algunos contaminantes a lo largo de la cadena trófica desde el nivel bajo hasta el nivel más alto.

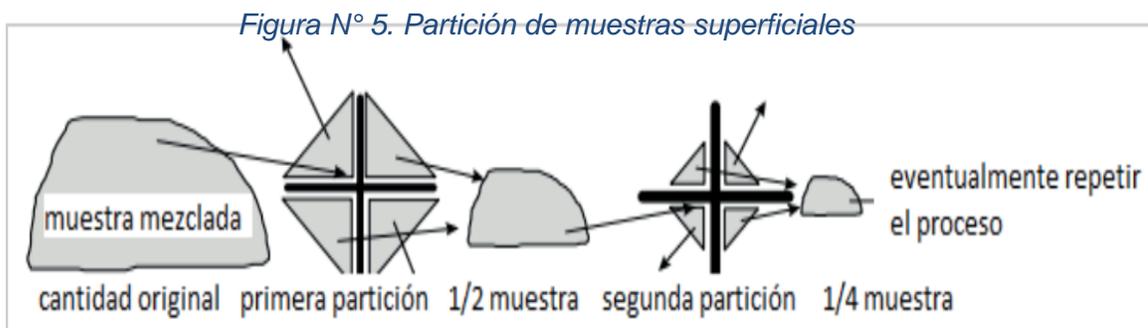
las plantas y los animales. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018).

2.3.5. Muestreo de identificación

El propósito principal del muestreo de identificación es investigar la existencia de contaminación del suelo a mediante de la recolección y obtención de muestras representativas con la finalidad de determinar si el suelo supera los o no los (ECA - Suelos) Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 011 – 2017- MINAM. (Ministerio del Ambiente, 2014).

2.3.6. Muestras superficiales

De acuerdo con el manual de muestro de suelos para la toma de muestras superficiales (hasta una profundidad alrededor de un metro) se pueden realizar sondeos manuales. Este método es relativamente fácil, rápido de usar y de bajo costo, siendo poca la cantidad de suelo que se puede extraer con esta técnica, será necesario obtener muestras compuestas de varios sondeos. Otros métodos alternativos para la toma de muestras superficiales pueden ser hoyos o zanjas. En este tipo de muestras es permisible tomar muestras compuestas. La toma de muestras superficiales no es aplicable para la determinar sustancias orgánica volátiles. Grandes volúmenes de muestras (p.e. extraído de zanjas) requieren someterlas a partición o división, para reducirlas y obtener una muestra compuesta muy representativa del área de estudio. Para esto se aconseja dividir la muestra mezclada en cuatro partes equitativos y repetir este proceso hasta que llegue a la cantidad de material necesario. (Ministerio del Ambiente, 2014)



Fuente: MINAM – Guía para el Muestreo de Suelos – 2014

Tabla N° 1 Profundidad de muestreo de Suelo de acuerdo al uso del Suelo

USOS DEL SUELO	PROFUNDIDAD DEL MUESTREO (CAPAS)
Suelo Agrícola.	0 – 30 cm (1) 30 – 60 cm
Suelo Residencial/Parques	0 – 10 cm (2) 10 – 30 cm (3)
Suelo Comercial/Industrial/Extractivo	0 – 10 cm (2)

Se recomienda en particular la toma de muestras superficiales compuestas para la evaluación de riesgos a la salud humana (p.e. cuando se tiene un contacto directo) o para la flora y fauna. “En estos casos nos recomienda un muestreo bidimensional, es decir, la toma de sub-muestras (10 – 25 unidades) en un área y una capa determinada y unir las sub-muestras individuales en una muestra compuesta.” (Ministerio del Ambiente, 2014)

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

La Bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y

Epilobium tetragonum (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana es eficiente debido a la capacidad de absorción y adaptabilidad de las especies.

2.4.2. Hipótesis Específicas

- De las especies de *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) el que acumula mayor cantidad de metales pesados es el *Epilobium tetragonum* (Adefillas).
- La especie de *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) acumula mayor cantidad de metales en sus raíces, el *Bacharis tricuneata* (Taya) acumula mayor cantidad de metales en sus raíces y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) acumula mayor cantidad de metales en sus raíces.
- El Plomo (Pb), Cadmio (Cd), el Arsénico (As), Cromo (Cr), Cobre (Cu), etc. Son los metales pesados que se encuentran en la Desmontera Rumiallana.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable Dependiente

Bioacumulación de Metales Pesados.

2.5.2. Variable Independiente

Las especies de *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas)

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla N° 2. Definición operacional de variables e indicadores

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	ITEM
<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Bioacumulación de Metales Pesados.</p>	<p>Las especies vegetales, incluidos algunos cultivos, tienen la capacidad de acumular metales en sus tejidos. Las plantas han evolucionado mecanismos altamente específicos para absorber, transportar y almacenar nutrientes, sin embargo, algunos metales y metaloides innecesarios para los vegetales son absorbidos, transportados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico al igual que los elementos nutritivos esenciales.</p>	<p>Cd, Pb, As, etc.</p>	<p>Presencia de metales en mg/kg o Porcentaje Ppm</p>	<p>No Experimental</p>
<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Las Especies de <i>Euphorbia</i>, <i>Cyperissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis Tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium Tetragonum</i> (Adefillas).</p>	<p>Tres especies vegetales alto andinas adaptadas muy bien a altitudes de 4000 hasta 4500 msnm y a características de suelos muy variados ácidos, alcalinos, neutros, arenosos, etc. Como es el caso de la Desmontera Rumiallana</p> <p>Son los medios donde se medirán los valores acumulados de los Metales Pesado en las diferentes estructuras de cada uno de las especies.</p>	<p>Absorción de metales Pesados</p>	<p>Existencia de metales pesados en mg/kg o Porcentaje</p>	<p>No Experimental</p>

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Según José Arias, (2020), la investigación es de tipo descriptivo, transversal. Descriptivo porque se realizaron análisis de datos de la bioacumulación en las especies y se determinó cual acumula mayor cantidad de metales pesados y transversal porque se recolectarán muestras de las especies una sola vez para su posterior análisis en sus estructuras (raíz, tallo y hojas).

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo ya que a partir de los datos analizados en laboratorio lo vamos explicar la especie más eficiente y en que parte de su órgano acumula mayor % de metales pesados (As, Cd, Pb, Cr y Cu).

3.3. Método de investigación

El método empleado en la investigación es el inductivo debido a que se recolectaron datos a partir de la observación y análisis para probar o validar la

hipótesis general y las específicas mediante la evaluación de variables, y de esta manera se generó una teoría de lo específico a lo general.

- **Trabajo de gabinete:** Actividades netamente a la recolección de información y antecedentes de investigaciones de estas especies y de los metales pesados que estamos estudiando, formulas establecidas para la determinación de factor de traslocación (TF), normativas establecidas para los distintos análisis, comparaciones etc.
- **Trabajo de campo:** Se recolectó un 1kg de muestra por estructura de cada especie las mismas que fueron enviadas al laboratorio de Servicios Generales Analíticos S.A.C. acreditado por INACAL, estas muestras fueron preservadas para que en trascurso del traslado al laboratorio no ocurra ningún tipo de alteración que variaría los resultados.

3.4. Diseño de investigación

La investigación viene a ser de tipo no experimental ya que no habrá manipulación de alguna de las variables. Para cumplir con los objetivos planteados en este proyecto de investigación se realizará mediante el análisis de metales pesados en un laboratorio para posteriormente analizar la bioacumulación de los metales pesados en las tres especies, mediante condiciones de estrictos controles.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

La población en la investigación está comprendida por el área de la Desmontera Rumiallana dentro de la Compañía Minera Cerro S.A.C., donde se acumuló residuos industriales mineros contaminados con metales pesados años anteriores haciendo un total de 39.4 hectáreas aproximadamente.

En la Desmontera Rumiallana existen especies que lograron adaptarse y sobrevivir a condiciones físicas y químicas del suelo, comprendida la población de nuestra investigación.

3.5.2. Muestra

En este caso se tomó muestras no probabilísticas debido a que nuestra población cuentan con características en común, la selección de las unidades fue acorde a nuestro criterio de acuerdo a las instancias observadas.

Para la investigación tomamos muestras aleatorias representativas de las diferentes especies vegetales que se estudió para su determinación de acumulación de metales pesados dentro de la Desmontera Rumiallana y para la determinación de metales pesados en el suelo de las diferentes áreas de influencia directa donde se adaptaron estas tres especies vegetales.

Tabla N° 3. Ubicación de los puntos de muestreo de las especies

Puntos de áreas de las especies adaptadas	Ubicación Coordenadas UTM	Descripción del Área
Especie – 1 <i>(Euphorbia cyparissias)</i>	N 8821284.95 E 361857.55	A 5 metros del piezómetro FS22-003 de la Desmontera Rumiallana a una altitud de 4346.616 msnm.
Especie – 2 <i>(Bacharis tricuneata)</i>	N 8821292.64 E 361789.14	Parte superior del Botadero Rumiallana en el segundo nivel del talud de la Desmontera Rumiallana
Especie – 3 <i>(Epilobium tetragonum)</i>	N 8821249.35 E 361939.11	A unos metros de la vía con dirección a Pallanchacra, acceso para la parte superior de la Desmontera Rumiallana.

Fuente: Elaboración propia

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

Las muestras recolectadas fueron enviadas Laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C. para su determinación de bioacumulación de metales pesados en las especies *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana.

- **Revisión de Estudios:** Revisión de diferentes investigaciones y estudios de bioacumulación de metales pesados en especies vegetales.
- **Visita a campo:** Visitas periódicas a la Desmontera Rumiallana para evaluar las especies adaptadas que se estudió y se observó sus comportamientos, características y fueron registrados.

3.6.2. Instrumentos que se utilizaron

- GPS – Sistema de Posicionamiento Global
- Fichas de recolección de datos – cadena custodia.
- Cámara Fotográfica.
- Bolsas Plásticas Herméticas para la recolección de muestras
- Tijeras de Podar
- Guantes de nitrilo
- Marcador indeleble
- Balanza
- Cooler
- Pala de muestreo de suelos superficiales.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

La elección de nuestras muestras representativas del análisis de bioacumulación de metales pesados en las tres especies que se estudió se mandó

para sus análisis al laboratorio de Servicios Analíticos Generales SAC - Acreditado por Instituto Nacional de Calidad (INACAL).

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Las técnicas que se utilizaron es la observación directa dentro de la Desmonetera Rumiallana, y el análisis de bioacumulación en las especies y la muestra de identificación de suelo de metales pesados fueron realizados en el laboratorio de Servicios Analíticos Generales S.A.C. que se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Calidad.

3.9. Tratamiento Estadístico

Los diferentes datos que se obtuvieron de los análisis de las especies fueron evaluados en forma descriptiva, para posteriormente fueron analizados a través de la estadística inferencial, esto se realizó mediante el software Power BI y el Microsoft Excel que sirve básicamente para el análisis de los datos que se obtuvieron del Laboratorio, construyendo las diferentes tablas y cuadros para sus respectivas interpretaciones de los resultados.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

En la investigación se trabajó aplicando éticamente con el reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería.

Las informaciones recolectadas de distintos autores están correctamente citadas y lo demás es y será propio de nuestra investigación y análisis con la finalidad de ser beneficioso para nuestra sociedad y el medio ambiente que tanto nos necesita.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

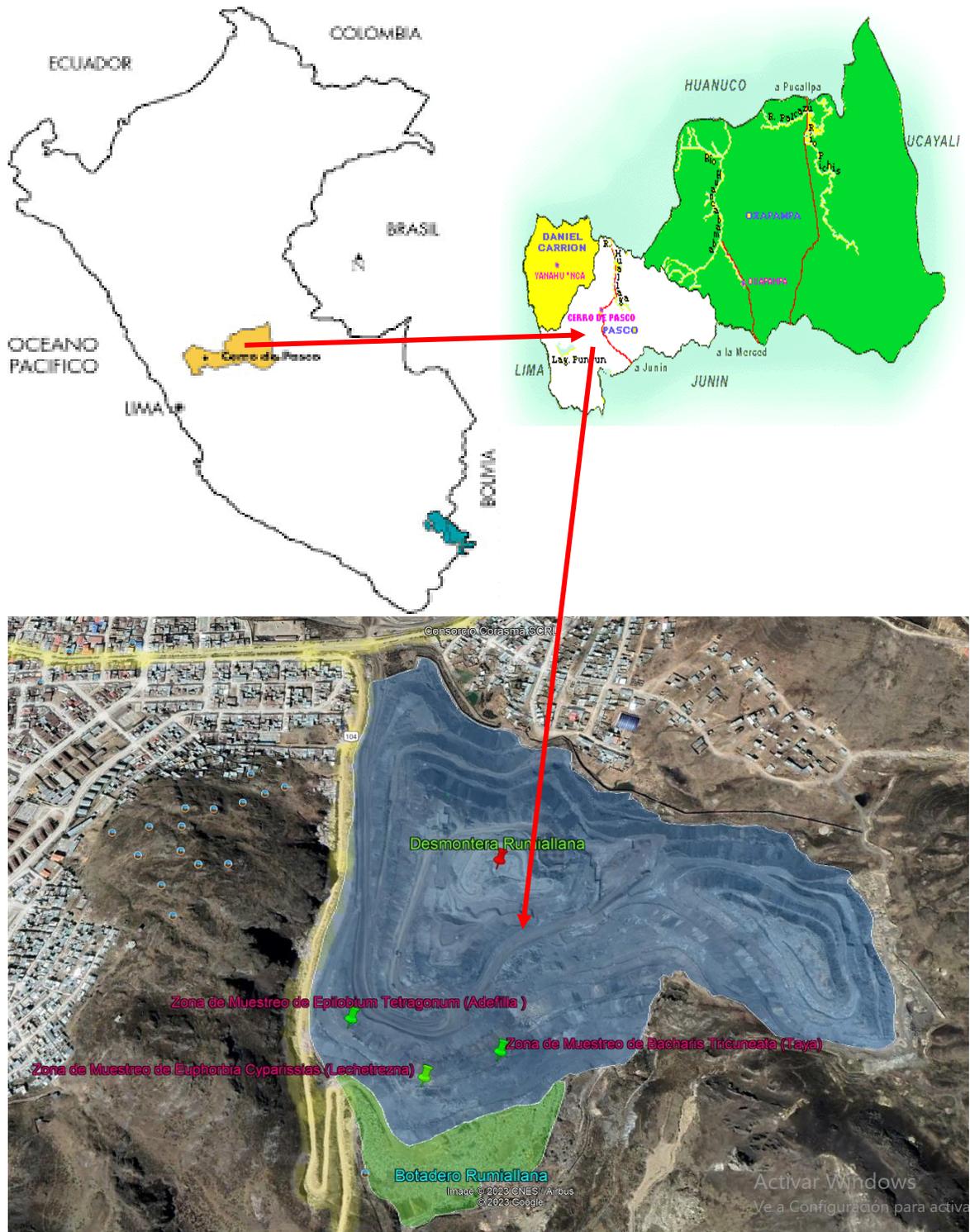
4.1.1. Ubicación de proyecto

La Desmontera Rumiallana donde se realizó el estudio esta ubicado en el Distrito de Yanacancha Provincia y Departamento de Pasco, geográficamente se ubica entre las coordenadas UTM del sistema geográfico mundial (WGS 84 – Zona 18S) E – 361859 m, N – 8821311 m cuya altitud varía entre 4270 m.s.n.m. hasta 4324 m.s.n.m.

4.1.2. Accesibilidad

El acceso a la Desmontera Rumiallana que colinda con el Botadero Rumiallana se ubican dentro del distrito de Yanacancha, partiendo desde el centro de la ciudad (Terminal) se sigue la vía con dirección a la UNDAC, posterior a ello a unos 2.5 km aproximadamente por la vía Pallanchacra se encuentra la Desmontera Rumiallana. Para más detalle adjuntamos un mapa conjuntamente con una fotografía de la Desmontera.

Figura N° 6 Ubicación de Desmontera Rumiallana y los puntos de Muestreo de las Especies Vegetales



Fuente: Elaboración Propia en el Software Earth Pro

4.1.3. Recolección de muestras de las especies vegetales.

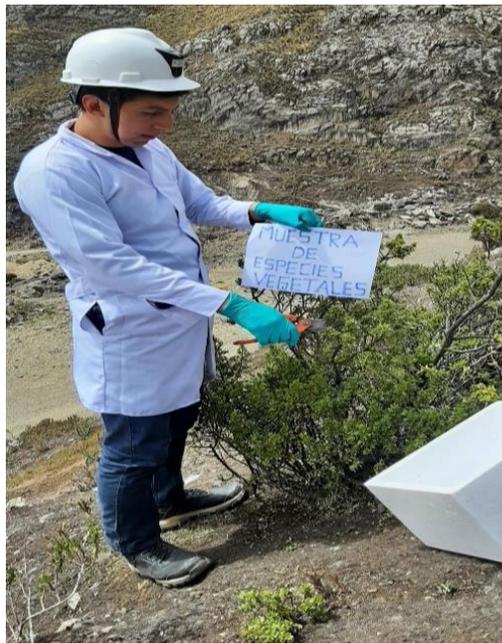
La recolección de las muestras representativas de las 3 especies *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) imagen N° 1, *Bacharis tricuneata* (Taya) imagen N° 2 y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) imagen N° 3, se realizó de acuerdo al estado de las especies adaptados en la Desmontera Rumiallana, se recolectaron 9 muestras 3 de raíz, 3 de tallo y 3 de las hojas estas muestras se pesaron en balanzas para obtener la cantidad de 200mg cada uno. Estas muestras para su preservación se llenaron en bolsas herméticas previamente secadas para evitar su descomposición, y posteriormente fueron llenados en un cooler para ser trasladados a la capital para su respectivo análisis en el Laboratorio Servicios Analíticos Seguros S.A.C. acreditado por INACAL.

Imagen N° 1 Recolección de Muestra de la especie Euphorbia Cyparissias (Lechetrezna)



Fuente: Fotografía Propia

Imagen N° 2 Recolección de Muestra de la especie Bacharis Tricuneata (Taya)



Fuente: Fotografía Propia

Imagen N° 3 Recolección de Muestra de la especie Epilobium tetragonum (Adefillas)



Fuente: Fotografía Propia

4.1.4. Recolección de muestra del suelo

La recolección de muestra de suelo fue de acuerdo a la guía para el muestreo de suelos en marco del Decreto Supremo N° 002 – 2013 – MINAM. Estándares de Calidad Ambiental de Suelo (ECA - Suelo)², se tomó muestras aleatorias de 5 kilos de tres puntos y se realizó el cuarteo respectivo, esta práctica se repitió hasta alcanzar la cantidad necesaria de 1 Kg de material para tener una muestra homogénea y representativa.

Esta muestra se llenó en una bolsa hermética y fue preservada posteriormente llenado en un cooler para mantener su temperatura en 4 °C en el transcurso del traslado al laboratorio, es importante la preservación de la muestra caso contrario puede ocurrir reacciones de algunos metales como por ejemplo el Fe.

Imagen N° 4 Recolección de Muestra de Suelo Compuesto



Fuente: Fotografía Propia

² (ECA- Suelo): Los ECA para Suelo constituyen un referente obligatorio para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental, establece niveles de concentración de los elementos, sustancias, parámetros físicos y químicos y biológicos, presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor que no represente riesgo significativo para la salud de las personas ni para el ambiente.

Imagen N° 5 Cuarteo de Muestra de suelo de los distintos puntos para la obtención de una muestra Homogénea



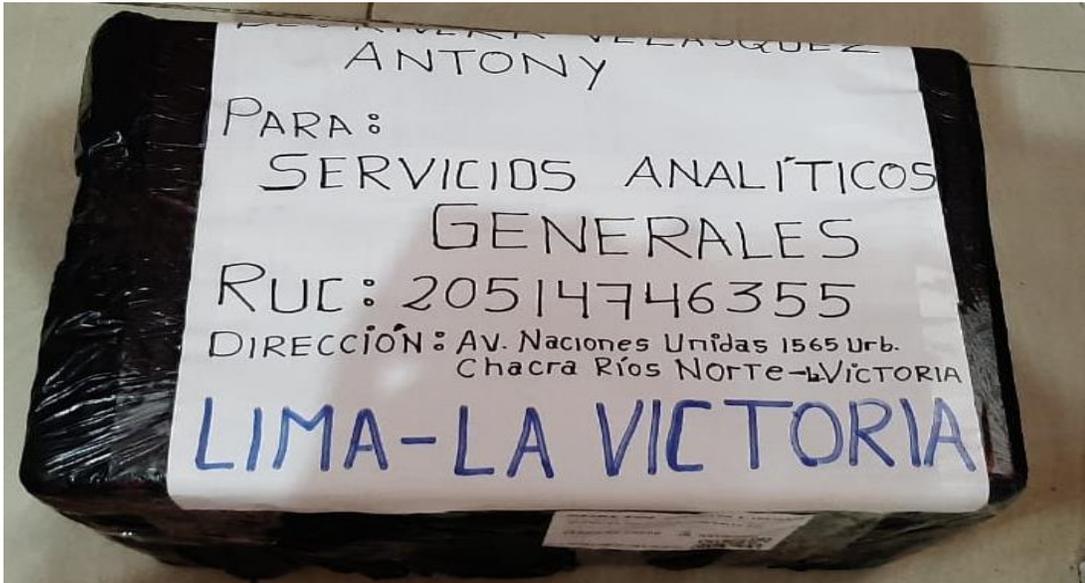
Fuente: Fotografía Propia

Imagen N° 6 Preservación de las Muestras de las Especies Vegetales y del Suelo en un cooler para enviar al Laboratorio para su respectivo Análisis



Fuente: Fotografía Propia

Imagen N° 7 Envío de las Muestras al Laboratorio de Servicios Analíticos Generales para sus Respectivos Análisis



Fuente: Fotografía Propia

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

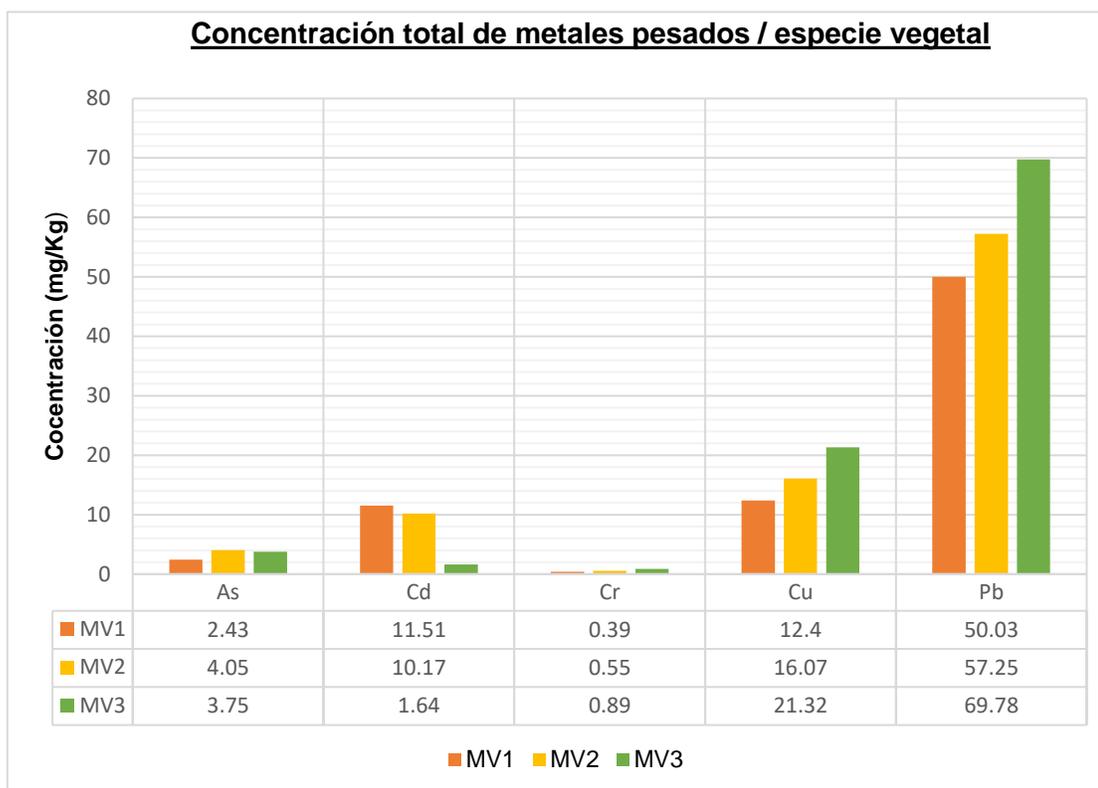
4.2.1 Análisis de la eficiencia de bioacumulación de metales pesados en las especies vegetales.

Tabla N° 4 Concentración Total de Metales pesados

Concentración total de metales pesados (mg/Kg)		Metales pesados				
Especie vegetal	Código	As	Cd	Cr	Cu	Pb
<i>Bacharis Tricuneata</i>	MV1	2,43	11,51	0,39	12,4	50,03
<i>Euphorbia Cyparissias</i>	MV2	4,05	10,17	0,55	16,07	57,25
<i>Epilobium Tetragonum</i>	MV3	3,75	1,64	0,89	21,32	69,78

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 7 Concentración Total de Metales Pesados en las especies vegetales



Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: en la tabla N° 4 y figura N° 7 se determinó que la mayor concentración de Arsénico (**4.05** mg/kg) corresponde a la especie *Euphorbia Cyparissias*, la mayor concentración de Cadmio (**11.51** mg/kg) corresponde a la especie *Bacharis Tricuneata*, la mayor concentración de Cromo (**0.89** mg/kg) corresponde a la especie *Epilobium Tetragonum*, la mayor concentración de Cobre (**21.32** mg/kg) corresponde a la especie *Epilobium Tetragonum*, asimismo, la mayor concentración de Plomo (**69.78** mg/kg) corresponde a la especie *Epilobium Tetragonum*.

Afirmación:

- La especie que mayor porcentaje de metales pesados (Pb, Cd, As, Cu y Cr) acumuló en toda su estructura vegetal (raíz, tallo y hojas) es el

Epilobium Tetragonum (Adefillas) con **97.38** mg/Kg, seguido por la *Euphorbia Cypariassias* (Lechetrezna) con **88,09** mg/Kg y por último el *Baccharis Tricuneata* (Taya) con **76.33** mg/Kg.

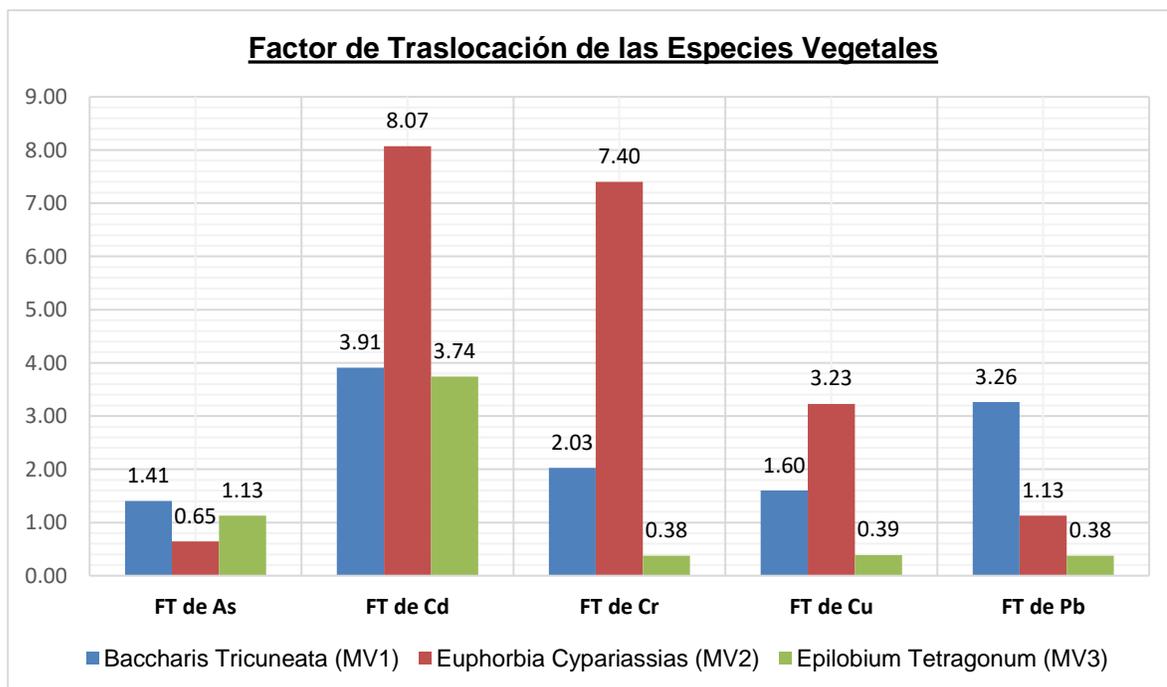
Análisis de factor de traslocación (TF) en las especies vegetales

Tabla N° 5 Factor de Traslocación

Factor de Traslocación (FT= C aérea /C raíz)		FT por metal				
Especie vegetal	Código	As	Cd	Cr	Cu	Pb
<i>Baccharis Tricuneata</i>	(MV-1)	1,41	3,91	2,03	1,60	3,26
<i>Euphorbia Cypariassias</i>	(MV-2)	0,65	8,07	7,40	3,23	1,13
<i>Epilobium Tetragonum</i>	(MV-3)	1,13	3,74	0,38	0,39	0,38

Fuente: Elaboración Propia

Figura N° 8 Factor de Traslocación de las especies vegetales



Fuente: Elaboración Propia

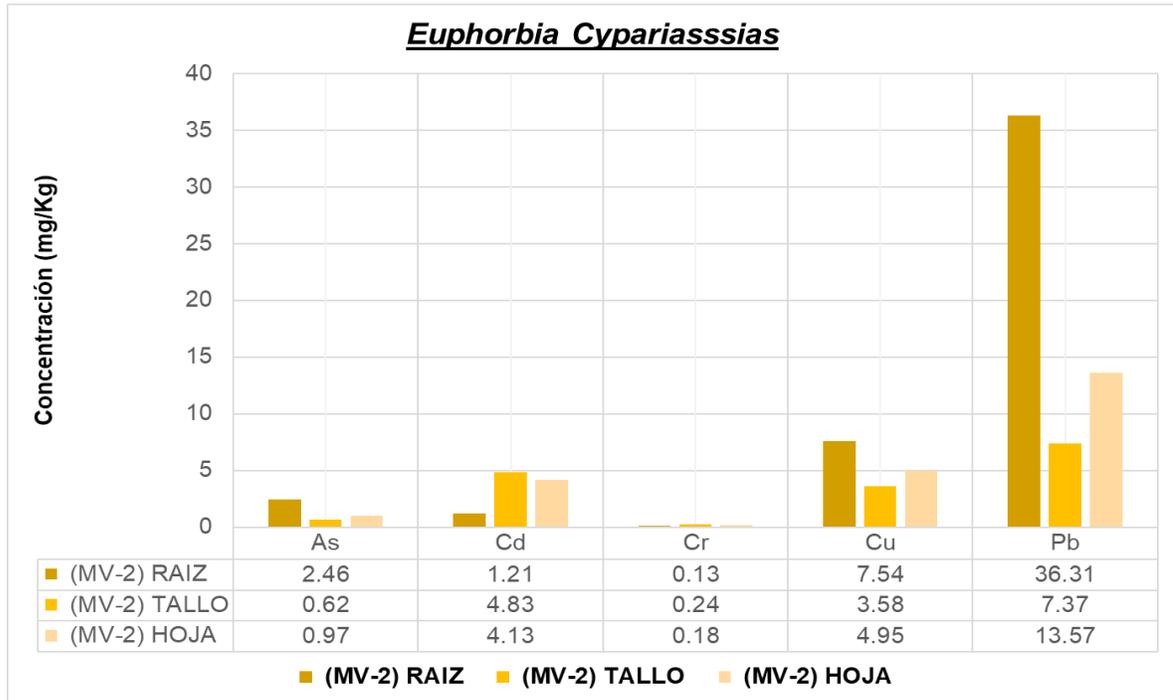
- EL FT del As fue mayor a 1 en MV-1 y MV-3 (1.41 y 1.13 respectivamente); en MV-2 fue menor a 1 (0.65).

- El FT del Cd fue mayor a 1 en MV-1, MV-2 y MV-3 (3.91, 8.07 y 3.74 respectivamente), siendo MV-2 la que representa un mayor FT.
- El FT del Cr fue mayor a 1 en MV-1 y MV-2 (2.03 y 7.40 respectivamente); en MV-3 fue menor a 1 (0.36).
- El FT del Cu fue mayor a 1 en MV-1 y MV-2 (1.60 y 3.23 respectivamente); en MV-3 fue menor a 1 (0.39).
- El FT del Pb fue mayor a 1 en MV-1 y MV-2 (3.26 y 1.13 respectivamente), fue menor a 1 en MV-3 (0.36).
- La especie de *Euphorbia cyparissias* supera > 1 en todos excepto en As y presenta mayor capacidad de traslocación en Cd y Cr que superan > 7. El *Bacharis tricuneata* supera > 1 en todos los metales y presenta mayor capacidad de traslocación en Cd y Pb superan > 3. El *Epilobium tetragonum* en el Cd y As superan > 1 en los demás no superan a 1 esto debido a que acumula mayor parte de metales en las raíces.

4.2.2 Interpretación y análisis de bioacumulación de metales pesados en las especies vegetales adaptados en la desmontera Rumiallana.

A. Análisis de la especie *Euphorbia cypariassias* (Lechetrezna) en sus tejidos vegetales (Raíz, Tallo y Hoja)

Figura N° 9 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal de Euphorbia cypariassias



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 6 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal de Euphorbia cypariassias

Concentración de metales pesados (mg/kg) en el tejido vegetal							
Especie vegetal	Código	Tejido Vegetal	Metales pesados				
			As	Cd	Cr	Cu	Pb
<i>Euphorbia Cypariassias</i>	(MV-2)	RAÍZ	2.46	1.21	0.13	7.54	36.31
		TALLO	0.62	4.83	0.24	3.58	7.37
		HOJA	0.97	4.13	0.18	4.95	13.57

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: de los resultados obtenidos podemos observar en la figura N° 9 y en la tabla N° 6 la especie vegetal de *Euphorbia cypariassias* (Lechetrezna) acumuló mayor cantidad de metales en la Raíz la cual están

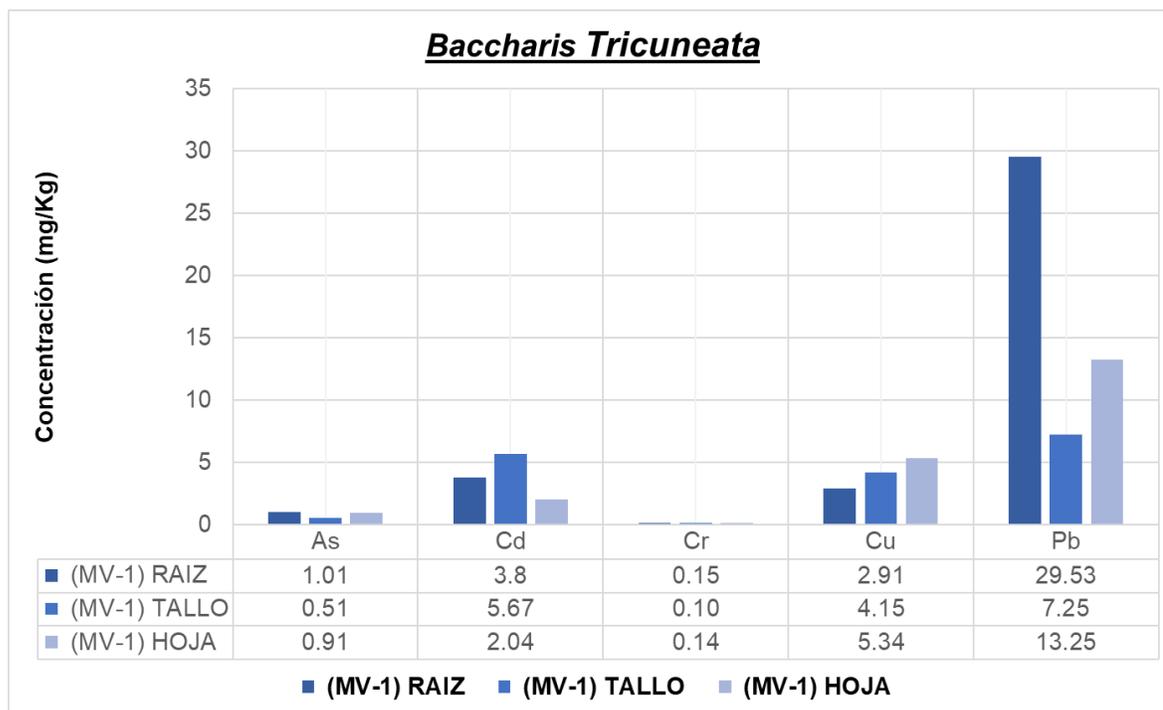
en el orden de (1^{ro} **Pb**- [36.31]; 2^{do} **Cu**- [13.57]; 3^{ro} **As**- [7.37]; 4^{to} **Cd**- [1.21] y 5^{to} **Cr**- [0.13]) mg/Kg, seguidamente en las Hojas la cual esta en el orden de (1^{ro} **Pb**- [13.57]; 2^{do} **Cu**- [4.95]; 3^{ro} **Cd**- [4.13]; 4^{to} **As**- [0.97] y 5^{to} **Cr**- [0.18]) mg/Kg y por último en el Tallo en el orden de (1^{ro} **Pb**- [7.37]; 2^{do} **Cd**- [4.83]; 3^{ro} **Cu**- [3.58]; 4^{to} **As**- [0.62] y 5^{to} **Cr**- [0.24]) mg/Kg.

Afirmaciones:

- La especie *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) acumula mayor cantidad de metales en la raíz seguido en las hojas y por último en el tallo.
- A esta especie podemos considerar para el uso en la **Fitoestabilización** (reducir la biodisponibilidad de los contaminantes) y **Fitoimmobilización** (fijación de los distintos contaminantes del suelo), por acumular mayor cantidad de los metales (Pb) en sus raíces y se puede utilizar para la **Fitoextracción** (retira del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables) por acumular mayor a 7.5 mg/Kg, de Pb, Cd y Cu en sus partes cosechables tallo y hojas.
- El metal que mayor concentración encontramos en esta especie en todo su tejido vegetal es el Pb seguido por el Cu y Cd.
- El metal que menor cantidad acumuló en todo su tejido vegetal es el Cr.

B. Análisis de la especie *Bacharis tricuneata* (Taya) en sus tejidos vegetales (Raíz, Tallo y Hoja)

Figura N° 10 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal de *Baccharis tricuneata*



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 7 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal de *Baccharis tricuneata*

Concentración de metales pesados (mg/Kg) en el tejido vegetal							
Especie vegetal	Código	Tejido Vegetal	Metales pesados				
			As	Cd	Cr	Cu	Pb
<i>Baccharis Tricuneata</i>	(MV-1)	RAÍZ	1.01	3.8	0.15	2.91	29.53
		TALLO	0.51	5.67	0.10	4.15	7.25
		HOJA	0.91	2.04	0.14	5.34	13.25

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: de los resultados obtenidos podemos observar en la figura N° 10 y en la tabla N° 7 la especie vegetal de *Baccharis tricuneata* (Taya) acumuló mayor cantidad de metales en la Raíz la cual están en el orden de (1^{ro} **Pb**- [29.53]; 2^{do} **Cd**- [3.8]; 3^{ro} **Cu**- [2.91]; 4^{to} **As**- [1.01] y 5^{to} **Cr**- [0.15]) mg/Kg, seguidamente en las Hojas la cual esta en el orden de (1^{ro}

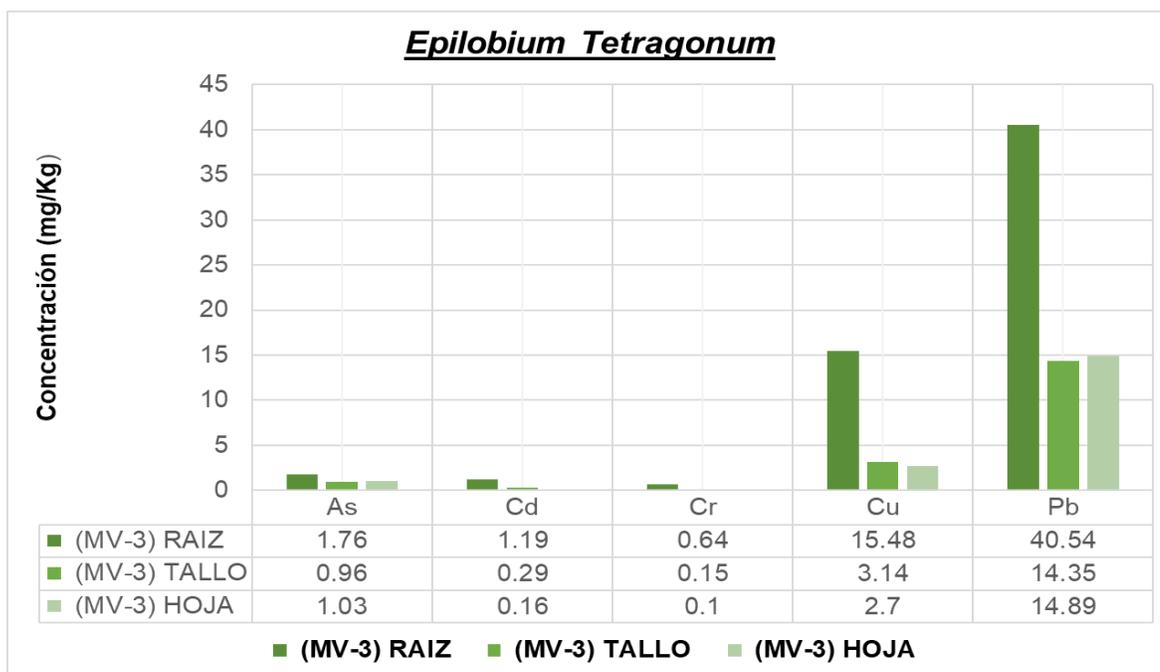
Pb- [13.25]; 2^{do} **Cu**- [5.34]; 3^{ro} **Cd**- [2.04]; 4^{to} **As**- [0.91] y 5^{to} **Cr**- [0.14]) mg/Kg y por último en el Tallo en el orden de (1^{ro} **Pb**- [7.25]; 2^{do} **Cd**- [5.67]; 3^{ro} **Cu**- [4.15]; 4^{to} **As**- [0.51] y 5^{to} **Cr**- [0.10]) mg/Kg.

Afirmaciones:

- La especie *Bacharis tricuneata* (Taya) acumula mayor cantidad de metales en la raíz seguido en las hojas y por último en el tallo.
- A esta especie podemos considerar para el uso en la **Fitoestabilización** (reducir la biodisponibilidad de los contaminantes) y **Fitoimmobilización** (fijación de los distintos contaminantes del suelo), por acumular mayor cantidad de los metales (Pb) en sus raíces y se puede utilizar para la **Fitoextracción** (retira del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables) por acumular mayor a 7.5 mg/Kg, de Pb, Cd y Cu en sus partes cosechables tallo y hojas.
- El metal que mayor concentración encontramos en esta especie en todo su tejido vegetal es el Pb seguido por el Cu y Cd.
- El metal que menor cantidad acumuló en todo su tejido vegetal es el Cr.

C. Análisis de la especie *Epilobium tetragonum* (Adefillas) en sus tejidos vegetales (Raíz, Tallo y Hoja).

Figura N° 11 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal de *Epilobium tetragonum*



Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 8 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal de *Epilobium Tetragonum*

Concentración de metales pesados (mg/Kg) en el tejido vegetal							
Especie vegetal	Código	Tejido Vegetal	Metales pesados				
			As	Cd	Cr	Cu	Pb
<i>Epilobium Tetragonum</i>	(MV-3)	RAIZ	1.76	1.19	0.64	15.48	40.54
		TALLO	0.96	0.29	0.15	3.14	14.35
		HOJA	1.03	0.16	0.1	2.7	14.89

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: de los resultados obtenidos podemos observar en la figura N° 11 y en la tabla N° 8 la especie vegetal de *Epilobium tetragonum* (Adefillas) acumuló mayor cantidad de metales en la Raíz la cual están en el orden de (1^{ro} **Pb**- [40.54]; 2^{do} **Cu**- [15.48]; 3^{ro} **As**- [1.76]; 4^{to} **Cd**- [1.19] y 5^{to} **Cr**- [0.64]) mg/Kg, seguidamente en el Tallo la cual esta en el orden de (1^{ro}

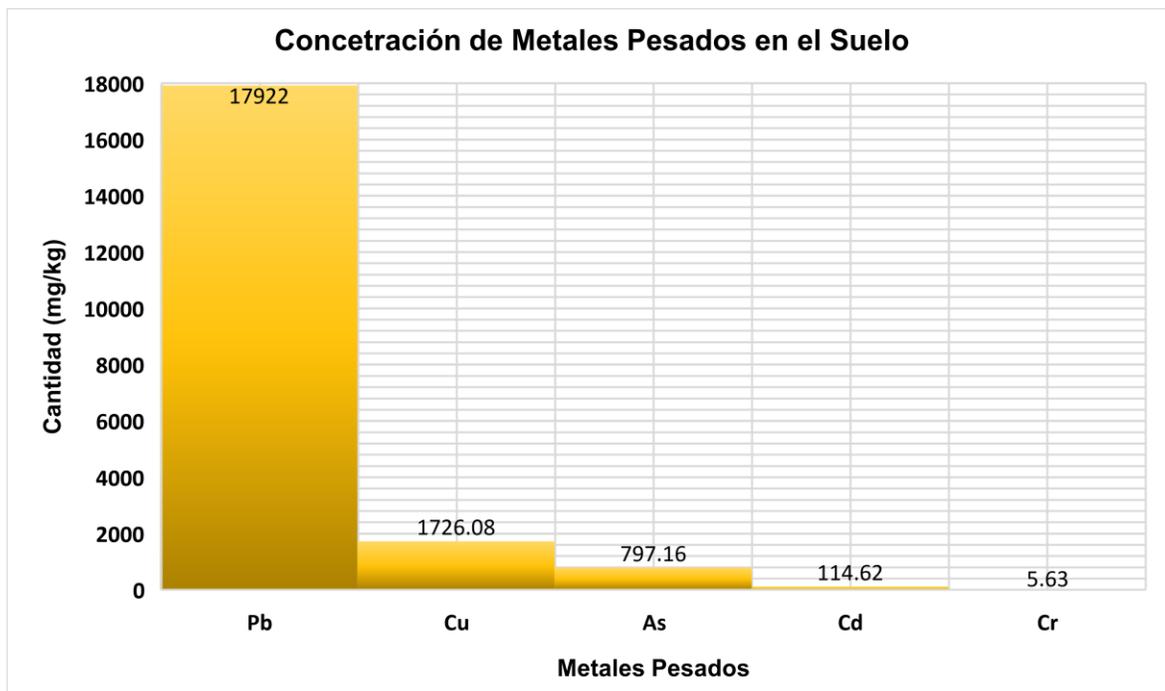
Pb- [14.35]; 2^{do} **Cu**- [3.14]; 3^{ro} **As**- [0.96]; 4^{to} **Cd**- [0.29] y 5^{to} **Cr**- [0.15]) mg/Kg y por último en las Hojas en el orden de (1^{ro} **Pb**- [14.89]; 2^{do} **Cd**- [2.7]; 3^{ro} **As**- [1.03]; 4^{to} **Cd**- [0.16] y 5^{to} **Cr**- [0.10]) mg/Kg.

Afirmaciones:

- La especie *Epilobium tetragonum* (Adefillas) acumula mayor cantidad de metales en la raíz seguido en el tallo y por último en las hojas.
- A esta especie podemos considerar para el uso en la **Fitoestabilización** (reducir la biodisponibilidad de los contaminantes) y **Fitoimmobilización** (fijación de los distintos contaminantes del suelo), por acumular mayor cantidad de los metales (Pb, Cu, Cd, As y Cr) en las raíces, también se puede usar para la **Fitoextracción** (retira del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables) por acumular mayor a 14 mg/Kg, de Pb en sus partes cosechables tallo y hojas.
- El metal que mayor concentración encontramos en esta especie en todo su tejido vegetal es el Pb que supera en un buen porcentaje a los demás.
- El metal que menor cantidad acumuló en todo su tejido vegetal es el Cr.

4.2.3 Interpretación y análisis de la concentración de metales pesados identificados en el suelo de la Desmontera Rumiallana.

Figura N° 12 Concentración de Metales Pesados en el Suelo



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: los resultados obtenidos de la concentración de metales pesados en el suelo en la Desmontera Rumiallana como se puede apreciar en la figura N° 9 en el suelo se encuentra en mayor cantidad es el Plomo (Pb) con una concentración de (**17922** mg/kg) seguido por el Cu (**1726.08** mg/kg), tercero As (**797.16** mg/kg), cuarto Cd (**114.62** mg/kg) y por último el Cr natural con (**5.63** mg/kg).

La cantidad de concentración de estos metales en el suelo esta en relación directamente proporcional con la bioacumulación de la especie de *Epilobium tretragonum* (Adefillas) que acumula en el mismo orden la concentración de los metales que se encuentran en el suelo (Pb, Cu, As, Cd y Cr) a diferencia de las especies de *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) y *Bacharis tricuneata* (Taya) que acumulan los dos primeros metales el Pb y

Cu en relación a la concentración del suelo y varía en el tercer orden la cual en el suelo es el As, sin embargo, en las especies es el Cd seguido por el As y Cr acumulando en el orden de (Pb, Cu, Cd, As y Cr).

Tabla N° 9 Comparación de la concentración de Metales Pesados en el suelo vs el ECA-suelo

Metales Pesados	Concentración en el Suelo en (mg/Kg)	Valores Máximos Establecidos Para Suelo Industrial en el D.S. N° 011-2017-MINAM
Pb	17922	800
Cu	1726.08	---
As	797.16	140
Cd	114.62	22
Cr	5.63	---

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación: en la tabla N° 9 podemos observar que la concentración de los metales pesados (Pb, As y Cd) en la Desmontera Rumiallana supera ampliamente las concentraciones máximas establecidos en el ECA – Suelo del D.S. N° 011-2017-MINAM para suelo industrial, estos metales en altas concentraciones son altamente tóxicos y difícilmente se degradan naturalmente se mantienen en el ambiente por mucho tiempo, además, tienen la propiedad de inhibir el crecimiento de algunas especies que no tienen las características de asimilar y bioacumular estos metales.

En cuanto a los metales de Cr y Cu en nuestro país no contamos con una normativa promulgada que regula las concentraciones de estos en el suelo. De acuerdo a investigaciones realizadas mencionan que estos en altas concentraciones son nocivos para la salud y el medio ambiente.

4.3. Prueba de Hipótesis

Finalizada los análisis de la investigación realizaremos la prueba de hipótesis que planteamos al inicio, de la cual validaremos la asertividad de ello como hipótesis general tenemos:

Hipótesis General: La Bioacumulación de Metales Pesados en las especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana es eficiente debido a la capacidad de absorción y adaptabilidad de las especies.

Posterior a la evaluación y análisis de los resultados podemos afirmar que se cumple nuestra hipótesis general ya que se determinó una eficiente bioacumulación de metales pesados en las 3 especies vegetales. Así mismo se cumple nuestras hipótesis específicas ya que:

La especie que mayor porcentaje de metales pesados (Pb, Cd, As, Cu y Cr) acumuló en toda su estructura vegetal (raíz, tallo y hojas) es el *Epilobium tetragonum* (Adefillas) con **97.38** mg/Kg, seguido por la *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) con **88,09** mg/Kg y por último el *Bacharis tricuneata* (Taya) con **76.33** mg/Kg.

La especie *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) acumula mayor cantidad de metales en la raíz (**47.67** mg/kg) seguido en las hojas (**23.8** mg/kg) y por último en el tallo (**16.64** mg/kg). La especie *Bacharis tricuneata* (Taya) acumula mayor cantidad de metales en la raíz (**37.4** mg/kg) seguido en las hojas (**21.68** mg/kg) y por último en el tallo (**17.68** mg/kg). La especie *Epilobium tetragonum* (Adefillas) acumula mayor cantidad de metales en la raíz (**59.61** mg/kg) seguido en el tallo (**18.89** mg/kg) y por último en las hojas (**18.88** mg/kg)

Los metales identificados en el suelo de la Desmontera Rumiallana son: Pb, Cu, Cd, As y Cr encontrándose en mayor concentración el Plomo (Pb) con una concentración de (17922 mg/kg) seguido por el Cu (1726.08 mg/kg), tercero As (797.16 mg/kg), cuarto Cd (114.62 mg/kg) y por último el Cr natural con (5.63 mg/kg), estos metales superan ampliamente los ECA-Suelo para uso de suelo industrial.

4.4. Discusión de resultados

Concluida nuestra investigación "Bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las Especies: *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna), *Bacharis tricuneata* (Taya) y *Epilobium tetragonum* (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023" expresamos las siguientes discusiones:

1. Al iniciar la investigación no se contaba con fuente de información sobre la capacidad de bioacumulación de estas especies que lograron adaptarse en la Desmontera Rumiallana un suelo muy adverso para la sobrevivencia de las especies, por las características y concentración de metales que inhiben el crecimiento de las plantas como son el As, Cd, Pb, etc. Estas especies lograron adaptarse y acumular en su estructura metales pesados como son: Pb, As, Cd, Cu y Cr.
2. Determinado la bioacumulación de metales pesados en las especies podemos afirmar que las especies tienen características muy especiales y son eficientes en la bioacumulación de metales pesados, hallándose mayor concentración de metales en sus raíces de todas las especies siendo el plomo el metal más predominante seguido por el cobre, la cual se confirma el uso de estas especies para la fitoinmovilización y fitoestabilización, en cuanto a las especies de *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) y *Bacharis tricuneata* (Taya) también se

puede usar para la fitoextracción en metales como Pb y Cd, en la especie *Epilobium tetragonum* (Adefillas) se puede usar en la fitoextracción solo para el metal de Pb.

3. De los metales estudiados en el suelo (Pb, Cd, As, Cu y Cr) el que mayor concentración se pudo evidenciar es el plomo seguido por el cobre, arsénico, cadmio y cromo; la bioacumulación de la especie *Epilobium tetragonum* es directamente proporcional al suelo acumula los metales en el mismo orden, a diferencia de las especies *Euphorbia cyparissias* y *Bacharis tricuneata* que acumulan en diferente orden al de la concentración del suelo. Es necesario la extensión de estas especies con la finalidad de estabilizar el suelo y la concentración de metales presente en ello, a fin de que pueda menguar la concentración de metales en los lixiviados que escurren aguas abajo.

CONCLUSIONES

Concluido con la investigación y los respectivos análisis de los resultados de bioacumulación de metales pesados en las tres especies vegetales y la muestra de identificación de metales pesados en el suelo concluimos:

1. Es eficiente la bioacumulación de metales en las especies la especie que mayor porcentaje de metales pesados (Pb, Cd, As, Cu y Cr) acumula en toda su estructura vegetal (raíz, tallo y hojas) es el *Epilobium tetragonum* (Adefillas) con **97.38** mg/kg, seguido por la *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) con **88,09** mg/kg y por último el *Bacharis tricuneata* (Taya) con **76.33** mg/kg. A las tres especies podemos considerar en suelos contaminados con plomo para uso en la Fitoestabilización y Fitoimmobilización, por acumular mayor porcentaje en sus raíces, y también, en la Fitoextracción las especies de *Euphorbia cyparissias* y *Bacharis tricuneata* para metales como Pb, Cd y Cu por acumular mayor porcentaje es sus partes cosechables y el *Epilobium tetragonum* solo para Pb.
2. La especie *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna) acumula mayor cantidad de metales en la raíz (**47.67** mg/kg) seguido en las hojas (**23.8** mg/kg) y por último en el tallo (**16.64** mg/kg). La especie *Bacharis tricuneata* (Taya) acumula mayor cantidad de metales en la raíz (**37.4** mg/kg) seguido en las hojas (**21.68** mg/kg) y por último en el tallo (**17.68** mg/kg). La especie *Epilobium tetragonum* (Adefillas) acumula mayor cantidad de metales en la raíz (**59.61** mg/kg) seguido en el tallo (**18.89** mg/kg) y por último en las hojas (**18.88** mg/kg).
3. El factor de traslocación (TF) de la especie *Euphorbia cyparissias* supera > 1 en todos excepto en As y presenta mayor capacidad de traslocación en Cd y Cr que superan > 7 . El *Bacharis tricuneata* supera > 1 en todos los metales y presenta mayor capacidad

de traslocación en Cd y Pb superan > 3 . El *Epilobium tetragonum* en el Cd y As superan > 1 en los demás no superan a 1 esto debido a que acumula mayor parte de metales en las raíces.

4. El Arsénico (As) se acumula en mayor concentración en la especie *Euphorbia cyparissias*, el Cadmio (Cd) se acumula en mayor concentración en la especie *Bacharis tricuneata* y en Cromo (Cr), Plomo (Pb) y Cobre (Cu) se acumulan en mayor concentración en la especie *Epilobium tetragonum*.
5. La concentración de metales en el suelo en cuanto a los parámetros de Pb, As y Cd exceden ampliamente a los valores establecidos en el D.S. N° 011-2017-MINAM – ECA-Suelo para uso de suelo industrial.

RECOMENDACIONES

Concluida con la investigación proponemos las siguientes recomendaciones para las futuras investigaciones que se ejecutarán con la finalidad de sumar mayor fuente de información:

1. Se recomienda realizar estudios de bioacumulación de metales pesados con estas especies *Euphorbia cyparissias*, *Bacharis tricuneata* y *Epilobium tetragonum* en condiciones netamente controladas a fin de determinar el factor de bioconcentración (BCF), teniendo como antecedentes la gran capacidad de adaptabilidad a suelos con pH ácidos y con buena concentración de metales que inhiben el crecimiento de las especies como vienen a ser el Cd, As, Pb.
2. Se recomienda las tres especies: *Euphorbia cyparissias*, *Bacharis tricuneata* y *Epilobium tetragonum* para el uso en la fitoestabilización y fitoinmovilización especialmente en el metal Pb por acumularse en mayor concentración en las raíces de estas especies.

BIBLIOGRAFÍA

- Cahuana, L., & Aduviri, O. (16 de Diciembre de 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*, 14. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2519-53522019000200002#:~:text=Las%20plantas%20capaces%20de%20absorber,ge%20o%20contaminaci%C3%A9n%20antropog%C3%A9nica.
- Carpena, R., & Bernal, P. (16 de Noviembre de 2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas - Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 4. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/540/54016201.pdf>
- Espinoza Pincay, A. Y. (2019). *Absorción y bioacumulación de metales pesados de tres especies vegetales introducidas en las amazonía ecuatoriana en relaves mineros*. Riabamba, Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Fernandez Ecobar, A. T. (2019). *Identificación de especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de picuruyacu, distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco*. Huánuco, Perú: Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos Por Metales Pesados. *Conferencia de plata*, 13. Recuperado el 26 de 03 de 2023, de https://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=Macla10_48.pdf

- García, I., & Dorronsoro, C. (2010). Contaminación por Actividades Mineras. *Edafología*.
Obtenido de <http://edafologia.ugr.es/conta/tema16/introd.htm>
- Huaman Ventura, E. (2019). *Fitoacumulación de metales pesados (Pb, Fe, y Zn) por Phalaris aquatica en el relave de unidad minera Morococha - Junin*. Junin, Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Jaramillo Ortiz, G. M., & Trujillo Herrera, D. M. (2021). *Uso de especies vegetales bioacumuladoras como alternativa sustentable en procesos de fitorremediación*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Kai Li, J., Zhang, D., Zhou, P., & Lu Liu, Q. (2018). *Evaluación de la contaminación por metales pesados en el suelo y su bioacumulación por plantas dominantes en un área minera de plomo y zinc, Nanjing*. Nanjing, China: Universidad Jiao Tong de Shanghai. doi:10.13227/j.hjcx.201712086
- LABOR, S. I. (2018). *Estudios en Poblaciones Afectadas por Metales Pesados en Pasco*. Cerro de Pasco, Pasco, PERÚ. Obtenido de <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/4957.pdf>
- Lenntech. (26 de 08 de 2020). Propiedades Químicas del Metales y Metaloides. *LENNTECH*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/cd.htm>
- León Atachagua, G. R. (2019). *Análisis de metales pesados presentes en las especies nativas de flora adaptas dentro de la relavera de Quiulacocha - Distrito de Simón Bolívar - 2019*. Cerro de Pasco, PERÚ. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2717/1/T026_71724369_T.pdf
- Megías, M., Molist, P., & Pombal, M. (Noviembre de 2020). Tejidos vegetales. *Atlas de Histología Vegetal y Animal*, 16. Obtenido de <https://mmegias.webs.uvigo.es/descargas/v-sosten.pdf>
- Mendiete Webster, C., & Taisigüe López, K. (2014). *Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales*:

Implicaciones para el potencial de fito-remediación. Chontales, NICARAGUA.

Obtenido de

https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants_Extended-abstract.pdf

Ministerio del Ambiente. (2014). *Guía Para Muestreos de Suelos.* Obtenido de

<https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2015). Metales pesados. *Mi.Argentina.* Obtenido de

<https://www.argentina.gob.ar/ambiente/control/productos-quimicos/metales-pesados#:~:text=Los%20metales%20pesados%20son%20aquellos,de%20productos%20de%20uso%20cotidiano.>

Morales Mego, A. P. (2019). *Absorción y acumulación de metales pesados en las especies*

Distichia muscoides y Juncus articus en el humedal uquian, Canrey Chico - Recuay - Ancash en el periodo agosto 2018 - marzo 2019. Ancash, Perú: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Morales Vargas, S. G. (2014). *Tejidos vegetales.* México. Obtenido de

https://www.uaeh.edu.mx/docencia/VI_Lectura/bachillerato/documentos/2014/LECT108.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (05 de 02 de

2018). *La Contaminación de Suelos está Contaminando Nuestro Futuro.* FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>

Pancorbo Arias, S. A., & Ruiz Sandoval, M. C. (2020). *Revisión sistemática:*

Fitoestabilización de Cadmio para la recuperación de suelo. Lima, Perú: Universidad Cesar Vallejo.

- Papuico Huayta, K. (2018). *Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (senecio rudbeckiaefolius) en la relavera de Quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas*. Cerro de Pasco, Pasco, PERÚ. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/457/1/TESIS%20KARITO.pdf>
- Peláes Peláes, M. J., Bustamante Cano, J. J., & Gómez López, E. D. (2016). *Presencia de cadmio y plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos en especies de Brachiaria en el Magdalena Medio Colombiano*. Magdalena Medio Colombiano, Colombia: Universidad de Caldas. doi:10.17151/luaz.2016.43.5
- Prieto, J., Gonzales, C., & Roman, A. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93911243003.pdf>
- PUGA , Soraya; SOSA, Manuel; QUINTANA , Cesar. (16 de 08 de 2006). Contaminación por metales pesados en el suelo provocado por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 7. Obtenido de <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/eau/article/view/329/324>
- Raul, L. (2016). Daños Ambientales de la Minería en el Perú: ¿Qué Hacer con Ellos? Obtenido de <http://www.metasbicentenario.consortio.edu.pe/mineria-y-ambiente/extenso-danos-ambientales-de-la-mineria-en-el-peru-que-hacer-con-ellos/>
- Reyes Roa, Y. C. (2020). *Estudio de Bioacumulación de Metales Pesados en Plantas de Consumo Humano para Sensato Molecular in situ*. Bogotá, COLOMBIA. Obtenido de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/54953/Documento%20final%20Tesis%20doctoral%20Yulieth%20Reyes%20Roa.pdf?sequence=1>

- Reynel, C. (2012). *Guía de Identificación de las Plantas Comunes del Derecho de Vía del Ducto del Perú*. Huancavelica, PERÚ. Obtenido de https://perulng.com/wp-content/uploads/2016/06/Guia_identificacion_plantas.pdf
- Romero Arribasplata, M. B., & Bravo Thais, S. C. (2021). *Estudio del potencial de acumulación de metales pesados de plantas nativas peruanas para la fitorremediación de pasivos mineros*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica de Perú.
- Schwarz, M. (27 de Marzo de 2013). Gestión de Operaciones y Proyectos Mineros. *BLOG MAX*. Obtenido de <http://max-schwarz.blogspot.com/>
- Wang, J., Xiong, Y., Zhang, J., Lu, X., & Wei, G. (2020). *Malezas dominantes seleccionadas naturalmente como acumuladores y excluidores de metales pesados asistidos por bacterias de la rizosfera en un área minera*. Guangdong, China: South China Agricultural University. doi:10.1016/j.chemosphere.2019.125365
- Xing, W., Liu, H., Banetb, T., Wang, H., Hipólito, J. A., & Li, L. (2020). *Acumulación de cadmio, cobre, plomo y zinc en especies de plantas silvestres cerca de una fundición de plomo*. Henan, China: Henan University of Technology. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.110683

ANEXOS

ANEXO N° 01: Instrumento de Recolección de Información Análisis de Laboratorio



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-951



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



INFORME DE ENSAYO N° 175864-2023 CON VALOR OFICIAL

RAZÓN SOCIAL : RIVERA VELASQUEZ ANTONY STALIN
DOMICILIO LEGAL : AV. CIRCONVALACIÓN TUPAC AMARU N°341 - CHAUPIMARCA - PASCO - PASCO
SOLICITADO POR : RIVERA VELASQUEZ ANTONY STALIN
REFERENCIA : RESERVADO POR EL CLIENTE
PROCEDENCIA : DESMONTERA - CERRO DE PASCO
FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS : 2023-08-11
FECHA(S) DE ANÁLISIS : 2023-08-11 AL 2023-08-22
FECHA(S) DE MUESTREO : 2023-08-10
MUESTREADO POR : EL CLIENTE
CONDICIÓN DE LA MUESTRA : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	Unidades
TEJIDO		
Total Metals (In Vegetable Tissues): Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Uranium (U), Vanadium (V), Zinc (Zn).	EPA Method 200.3, Rev. 1, April, 1991. Metals, Total Recoverable in Biological Tissues / EPA Method 200.7, Rev.4.4. EMMC Version 1994.	mg/Kg
SUELO		
Metales: Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estahio, Titanio, Vanadio, Zinc.	EPA 3050-B (1996) / Method 200.7 Rev. 4.4 EMMC Version (1994). Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

Mari Lu Tello Paucar
**ING. TELLO PAUCAR
MARILU
SERVICIOS ANALÍTICOS
GENERALES SAC**
 Firmado con www.tocapu.pe
 DIRECTOR TÉCNICO DE LABORATORIO

**EXPERTS
WORKING
FOR YOU**

Este informe de ensayo al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA y del Organismo Internacional de Acreditación-IAS, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/multaño de los miembros firmantes de IAC e IAC.

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

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puede comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá un aviso: "Validez de firma: firma válida", de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorio: INACAL-DA (Sede Lima 1): Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Organismo Internacional de Acreditación (IAS-951) y INACAL-DA (Sede Lima 2): Pasaje Dorinda Mato de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima.

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-951



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



INFORME DE ENSAYO N° 175864-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido Vegetal - Tallo	Tejido Vegetal - Tallo	Tejido Vegetal - Tallo
Matriz analizada	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Fecha de muestreo	2023-08-10	2023-08-10	2023-08-10
Hora de inicio de muestreo (h)	12:40	12:45	01:00
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Descripción del Punto de Muestreo	Captación Bocharis Tricuneata	Euphorbia Cyparissias	Epilobium Tetragonum
Código del Cliente	MV-01	MV-02	MV-03
Código del Laboratorio	23080556	23080557	23080558
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829			
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metas pesadas			
Silver / Plata (Ag)	0.05	mg/kg	0.08
Aluminium / Aluminio (Al)	0.7	mg/kg	44.26
Arsenic / Arsénico (As)	0.07	mg/kg	0.51
Boron / Boro (B)	0.10	mg/kg	7.47
Barium / Bario (Ba)	Imp	mg/kg	4.02
Beryllium / Berilio (Be)	0.04	mg/kg	<0.04
Calcium / Calcio (Ca)	1.4	mg/kg	3246.8
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	5.67
Caesium / Cesio (Cs)	0.14	mg/kg	0.26
Cobalt / Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	0.04
Chromium / Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	0.10
Copper / Cobre (Cu)	0.05	mg/kg	4.15
Iron / Hierro (Fe)	0.12	mg/kg	156.29
Mercury / Mercurio (Hg)	0.05	mg/kg	<0.05
Potassium / Potasio (K)	1.8	mg/kg	8388.6
Lithium / Litio (Li)	0.14	mg/kg	0.21
Magnesium / Magnesio (Mg)	1.9	mg/kg	446.0
Manganese / Manganeso (Mn)	0.04	mg/kg	40.73
Molybdenum / Molibdeno (Mo)	0.07	mg/kg	0.07
Sodium / Sodio (Na)	1.6	mg/kg	32.9
Nickel / Níquel (Ni)	0.05	mg/kg	0.89
Phosphorus / Fósforo (P)	0.13	mg/kg	898.35
Lead / Plomo (Pb)	0.04	mg/kg	7.25
Antimony / Antimonio (Sb)	0.10	mg/kg	<0.10
Selenium / Selenio (Se)	0.16	mg/kg	<0.16
Tin / Estaño (Sn)	0.05	mg/kg	0.13
Siliconium / Silicio (Si)	0.04	mg/kg	8.88
Titanium / Titanio (Ti)	0.04	mg/kg	1.70
Tellurium / Teluro (Te)	0.15	mg/kg	<0.15
Vanadium / Vanadio (V)	0.05	mg/kg	0.89
Zinc (Zn)	0.14	mg/kg	198.02
Uranium / Uranio (U)	0.15	mg/kg	<0.15

L.D.M.: Límite de detección del método

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Este Informe de ensayo al estar en el marco de la acreditación de INACAL-DA y del Organismo Internacional de Acreditación-IAS, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento mutuo lateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

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

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puede comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, será un aviso: "validez de firma: firma válida", de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su Informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorias: INACAL-DA (Sede Lima 1): Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Organismo Internacional de Acreditación (IAS-951) y INACAL-DA (Sede Lima 2): Pasaje Dionisia Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima.



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-951



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



INFORME DE ENSAYO N° 175864-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido Vegetal - Hojas	Tejido Vegetal - Raíz	Tejido Vegetal - Hojas
Matriz analizada	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Fecha de muestreo	2023-08-10	2023-08-10	2023-08-10
Hora de inicio de muestreo (h)	01:00	01:00	01:00
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	MV-01	MV-01	MV-01
Código del Laboratorio	23080559	23080560	23080561
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829			
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Silver / Plata (Ag)	0.05	mg/kg	0.26
Aluminum / Aluminio (Al)	0.7	mg/kg	95.30
Arsenic / Arsénico (As)	0.07	mg/kg	0.91
Boron / Boro (B)	0.10	mg/kg	0.27
Barium / Bario (Ba)	0.05	mg/kg	1.57
Beryllium / Berilio (Be)	0.04	mg/kg	<0.04
Calcium / Calcio (Ca)	1.4	mg/kg	2363.5
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	2.04
Caesium / Cesio (Cs)	0.14	mg/kg	0.28
Cobalt / Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	0.05
Chromium / Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	0.14
Copper / Cobre (Cu)	0.05	mg/kg	5.39
Iron / Hierro (Fe)	0.12	mg/kg	352.96
Mercury / Mercurio (Hg)	0.05	mg/kg	<0.05
Potassium / Potasio (K)	1.8	mg/kg	8570.9
Lithium / Litio (Li)	0.14	mg/kg	0.14
Magnesium / Magnesio (Mg)	1.9	mg/kg	789.35
Manganese / Manganeso (Mn)	0.04	mg/kg	66.56
Molybdenum / Molibdeno (Mo)	0.07	mg/kg	0.68
Sodium / Sodio (Na)	1.6	mg/kg	15.0
Nickel / Níquel (Ni)	0.05	mg/kg	0.10
Phosphorus / Fósforo (P)	0.15	mg/kg	819.51
Lead / Plomo (Pb)	0.04	mg/kg	13.25
Antimony / Antimonio (Sb)	0.10	mg/kg	0.20
Selenium / Selenio (Se)	0.16	mg/kg	<0.16
Tin / Estaño (Sn)	0.05	mg/kg	0.17
Strontium / Estroncio (Sr)	0.04	mg/kg	3.01
Titanium / Titanio (Ti)	0.04	mg/kg	2.49
Tellurium / Teluro (Te)	0.15	mg/kg	<0.15
Vanadium / Vanadio (V)	0.05	mg/kg	0.13
Zinc (Zn)	0.14	mg/kg	159.84
Uranium / Uranio (U)	0.15	mg/kg	<0.15

L.D.M.: Límite de detección del método

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Este informe de ensayo es válido en el marco de la acreditación del INACAL-DA y del Organismo Internacional de Acreditación-IAS, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/multio de los miembros firmantes de IAAC e IAC. **DESCRIPCIONES:** • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento sólo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al período de preservabilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego será eliminadas. **IMPORTANTE:** • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puede comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá un aviso: Validez de firma: firma válida, de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: INACAL-DA (Sede Lima 1): Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Organismo Internacional de Acreditación (IAS-951) e INACAL-DA (Sede Lima 2): Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2679 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima.

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 3 de 5



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-951



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



INFORME DE ENSAYO N° 175864-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Tejido Vegetal - Raíz	Tejido Vegetal - Hojas	Tejido Vegetal - Raíz
Matriz analizada	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal	Tejido Vegetal
Fecha de muestreo	2023-08-10	2023-08-10	2023-08-10
Hora de inicio de muestreo (h)	01:00	01:00	01:00
Condiciones de la muestra	Conservada	Conservada	Conservada
Código del Cliente	MV-02	MV-03	MV-03
Código del Laboratorio	23080562	23080563	23080564
ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-B29			
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales totales			
Silver / Plata (Ag)	0.05	mg/kg	0.40
Aluminum / Aluminio (Al)	0.7	mg/kg	50.3
Arsenic / Arsénico (As)	0.07	mg/kg	2.46
Boron / Boro (B)	0.10	mg/kg	2.46
Barium / Bario (Ba)	0.09	mg/kg	5.10
Beryllium / Berilio (Be)	0.04	mg/kg	<0.04
Calcium / Calcio (Ca)	1.4	mg/kg	1094.3
Cadmium / Cadmio (Cd)	0.04	mg/kg	1.21
Cerium / Cerio (Ce)	0.14	mg/kg	0.25
Cobalt / Cobalto (Co)	0.04	mg/kg	<0.04
Chromium / Cromo (Cr)	0.04	mg/kg	0.13
Copper / Cobre (Cu)	0.05	mg/kg	7.54
Iron / Hierro (Fe)	0.12	mg/kg	431.74
Mercury / Mercurio (Hg)	0.05	mg/kg	<0.05
Potassium / Potasio (K)	1.8	mg/kg	4389.1
Lithium / Litio (Li)	0.14	mg/kg	<0.14
Magnesium / Magnesio (Mg)	1.9	mg/kg	786.4
Manganese / Manganeso (Mn)	0.04	mg/kg	122.44
Molybdenum / Molibdeno (Mo)	0.07	mg/kg	<0.07
Sodium / Sodio (Na)	1.6	mg/kg	5.1
Nickel / Níquel (Ni)	0.05	mg/kg	0.05
Phosphorus / Fósforo (P)	0.15	mg/kg	592.19
Lead / Plomo (Pb)	0.04	mg/kg	36.31
Antimony / Antimonio (Sb)	0.10	mg/kg	0.52
Selenium / Selenio (Se)	0.16	mg/kg	<0.16
Tin / Estaño (Sn)	0.05	mg/kg	0.14
Strontium / Estroncio (Sr)	0.04	mg/kg	3.57
Titanium / Titanio (Ti)	0.04	mg/kg	0.80
Tellurium / Teluro (Te)	0.15	mg/kg	0.63
Vanadium / Vanadio (V)	0.05	mg/kg	0.15
Zinc (Zn)	0.14	mg/kg	311.55
Uranium / Uranio (U)	0.15	mg/kg	<0.15

L.D.M.: Límite de detección del método

EXPERTS
WORKING FOR YOU

Este informe de ensayo es válido en el marco de la acreditación del INACAL-DA y del Organismo Internacional de Acreditación-IAS, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/multinacional de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

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

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puede comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá un aviso: "Válida la firma: firma válida", de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: INACAL-DA (Sede Lima 1): Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima y Organismo Internacional de Acreditación (IAS-951) e INACAL-DA (Sede Lima 2): Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima.

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION
SERVICE, INC. - IAS
CON REGISTRO TL-951



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



INFORME DE ENSAYO N° 175864-2023 CON VALOR OFICIAL

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo		
Matriz analizada	Suelo		
Fecha de muestreo	2023-08-10		
Hora de inicio de muestreo (h)	12:30		
Condiciones de la muestra	Conservada		
Código del Cliente	MS-01		
Código del Laboratorio	23080565		
ENSAYO ACREDITADO ANTE INACAL-DA (SEDE LIMA 1)			
Ensayo	L.D.M.	unidades	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	0,06	mg/kg	92,76
Aluminio (Al)	1,4	mg/kg	4615
Arsénico (As)	0,29	mg/kg	797,16
Boro (B)	0,2	mg/kg	<0,2
Bario (Ba)	0,23	mg/kg	282,9
Berilio (Be)	0,021	mg/kg	0,629
Calcio (Ca)	2,4	mg/kg	21390
Cadmio (Cd)	0,03	mg/kg	114,62
Cerio (Ce)	0,3	mg/kg	27,1
Cobalto (Co)	0,03	mg/kg	0,82
Cromo (Cr)	0,05	mg/kg	5,63
Cobre (Cu)	0,07	mg/kg	3725,08
Hierro (Fe)	0,24	mg/kg	>40000
Mercurio (Hg)	0,10	mg/kg	25,29
Potasio (K)	0,5	mg/kg	429
Litio (Li)	0,3	mg/kg	1,55
Magnesio (Mg)	3,7	mg/kg	>10000
Manganeso (Mn)	0,08	mg/kg	>6000
Niobio (Nb)	0,14	mg/kg	<0,14
Sodio (Na)	3,9	mg/kg	296
Níquel (Ni)	0,06	mg/kg	6,04
Fósforo (P)	0,3	mg/kg	1628
Plomo (Pb)	0,08	mg/kg	17922,66
Antimonio (Sb)	0,22	mg/kg	73,42
Selenio (Se)	0,4	mg/kg	<0,4
Estaño (Sn)	0,10	mg/kg	17,08
Stroncio (Sr)	0,07	mg/kg	43,4
Titanio (Ti)	0,03	mg/kg	20,0
Talio (Tl)	0,4	mg/kg	37,27
Vanadio (V)	0,05	mg/kg	11,11
Zinc (Zn)	0,23	mg/kg	>5000

L.D.M.: límite de detección del método.

Resultados de Suelo reportados en base seca.

Lima, 22 de Agosto del 2023

EXPERTS
WORKING
FOR YOU

Este informe de ensayo al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA y del Organismo Internacional de Acreditación-IAS, se encuentran dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/multiaño de los miembros firmantes de IAAC e ILAC.

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

IMPORTANTE: • Este documento fue emitido con firma electrónica de valor legal en formato PDF. Debe solicitar su documento electrónico para verificar la autenticidad. Puede comprobar la validez del mismo haciendo clic sobre la firma, saldrá un aviso: "Válida la firma: firma válida", de no validarse el documento es falso. Notifique al correo: laboratorio@sagperu.com si su informe ha sido adulterado.

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.

Laboratorios: INACAL-DA (Sede Lima 1): Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacarita Norte - Lima y Organismo Internacional de Acreditación (MS-951) y INACAL-DA (Sede Lima 2): Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 Urb. Chacarita Norte - Lima.

• Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 5 de 5



CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

FR-005
Versión: 07
F.E: 12/2022

Página.....de

Cliente: RIVERA VELASQUEZ Antony Contacto: Melina MORENO E-mail: Stalinrivera26@gmail.com Telef.(s) 917585485

Lugar: DESMONTERA - CERRO DE PASCO Empresa: _____ Planta: _____ Proyecto: _____

Carta/Cotización: COTIZACIÓN N° 2023-07VF-66-7 MUESTREADO POR SAG MUESTREADO POR CLIENTE

PUNTO DE MUESTREO o CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU	ANÁLISIS DE LABORATORIO	N° Informe: <u>175864.423</u>	
	FECHA	HORA				CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
MV-01	10-08-23	12:40	CAPTACIÓN (tallo) <u>Baccharis TRICUNEATA</u>	<u>Redu f.</u> /		23080556	
MV-02	10-08-23	12:45	Euphorbia (tallo) <u>CYPARISSIAS</u>	/		23080557	
MV-03	10-08-23	1:00	EPILobium (tallo) <u>TETRAGONUM</u>	/		23080558	
MV-01	"	"	(tejido vegetal) (hojas)	/		23080559	
MV-01	"	"	" (raíz)	/		23080560	
MV-02	"	"	(hojas)	/		23080561	
MV-02	"	"	(raíz)	/		23080562	
MV-03	"	"	(hojas)	/		23080563	
MV-03	"	"	(raíz)	/		23080564	



Observaciones de Muestreo: MUESTRAS DE ESPECIES VEGETALES

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: ALARCON ROMERO DAIR

Firma(s): [Firma]

Recibido en laboratorio: KP

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: _____

Firma(s): _____

Día/Hora: 14:00

ANEXO N° 02: Matriz de Consistencia

Bioacumulación de Metales Pesados en las Especies: <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023		
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
<p>¿Cuál es la Eficiencia de Bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las Especies: <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023?</p>	<p>Determinar la Eficiencia de Bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las especies: <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana – Yanacancha – Pasco – 2023</p>	<p>La Bioacumulación de Metales Pesados en tejidos de vegetación en las especies: <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) adaptados en la Desmontera Rumiallana – es eficiente debido a la capacidad de absorción y adaptabilidad de las especies.</p>
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS
<p>1. ¿Cuál de estas especies <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) es el que acumula mayor cantidad de metales</p>	<p>1. Determinar cual de estas especies <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) es el que acumula mayor</p>	<p>1. De las especies de <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) el que acumula mayor cantidad de metales pesados</p>

<p>pesados en la desmontera Rumiallana?</p> <p>2. ¿En qué parte de las especies de: <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) acumulan mayor cantidad de metales pesados, ¿si en las raíces, tallos u hojas?</p> <p>3. ¿Qué metales pesados se encuentran en la Desmontera de Rumiallana?</p>	<p>cantidad de metales pesados en la Desmontera Rumiallana</p> <p>2. Determina que parte de las especies de: <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna), <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) acumulan mayor cantidad de metales pesados, si en las raíces, tallos u hojas.</p> <p>3. Determinar los metales pesados que se encuentran en la Desmontera Rumiallana.</p>	<p>es el <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) en la Desmontera Rumiallana.</p> <p>2. La especie de <i>Euphorbia cyparissias</i> (Lechetrezna) acumula mayor cantidad de metales en sus raíces, el <i>Bacharis tricuneata</i> (Taya) acumula mayor cantidad de metales en sus raíces y <i>Epilobium tetragonum</i> (Adefillas) acumula mayor cantidad de metales en sus raíces.</p> <p>3. El Plomo (Pb), Cadmio (Cd), el Arsénico (As), Cromo (Cr), Cobre (Cu), etc. Son los metales pesados que se encuentran en la Desmontera Rumiallana</p>
---	--	--

ANEXO Nº 03

Fotografía de la especie *Euphorbia cyparissias* (Lechetrezna)



Fuente: Fotografía Propia

Fotografía de la especie *Bacharis tricuneata* (Taya)



Fuente: Fotografía Propia

Fotografía de la especie *Epilobium tetragonum* (Adefillas)



Fuente: Fotografía Propia

Tabla de valoración de los metales pesados analizados en el laboratorio de acuerdo a sus distintas características

TABLA N° 01 RELACIÓN DE ESPECIE - RAÍZ					
	Plata -Metales transicionales	Ag	0.320		
	Aluminio -Metales Postransicionales	Al	0.830		
	Arsénico - Metaloides	As	0.025		
	Boro - Metaloides	B	0.040		
	Bario - M. Alcalinotérreos	Ba	0.090		
	Berilio - M. Alcalinotérreos	Be	0.012	% menor a límite de detección	
	Calcio - M. Alcalinotérreos	Ca	0.100	No tóxico	
	Cadmio -Metales transicionales	Cd	0.150		
	Cerio -Lantánidos	Ce	0.180	No Metal	
	Cobalto -Metales transicionales	Co	0.223	% menor a límite de detección	
	Cromo - M. Alcalino	Cr	0.650		
	cobre -Metales transicionales	Cu	0.303		
	hierro -Metales transicionales	Fe	0.343		
Euphorbia Cyparissias	Mercurio -Metales transicionales	Hg	0.383	% menor a límite de detección	
	Potasio - M. Alcalino	K	0.423	No tóxico	
	Litio - M. Alcalino	Li	0.012	% menor a límite de detección	
	Magnesio - M. Alcalinotérreos	Mg	0.100	No tóxico	
	Manganeso -Metales transicionales	Mn	0.320		
	Molibdeno -Metales transicionales	Mo	0.830	% menor a límite de detección	
	Sodio - M. Alcalino	Na	0.040	No tóxico	
	Niquel -Metales transicionales	Ni	0.090		
	Fosforo - No metal reactivo	P	0.012	No Metal	
	Plomo -Metales postransicionales	Pb	0.100		
	Antimonio - Metaloides	Sb	0.150	% menor a límite de detección	
	Selenio - No metal Reactivo	Se	0.180	No Metal	
	Estaño - Metales Postransicionales	Sn	0.223	No tóxico	
	Estroncio - M. Alcalinotérreos	Sr	0.263	No tóxico	
	Titanio -Metales transicionales	Ti	0.320		
	Talio -Metales transicionales	Tl	0.830	% menor a límite de detección	
	Vanadio -Metales transicionales	V	0.040		
	Zinc -Metales transicionales	Zn	0.090		
	Uranio - Actinoides	U	0.012	% menor a límite de detección	

Fuente: Elaboración Propia en Microsoft Excel