UNIVERSIDAD
SAN IGNACIO
DE LOYOLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE TRASLOCACIÓN Y BIOCONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA PLANTA *Stipa ichu* EN EL PAM QUIULACOCHA - PASCO

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

MARLITH JASMIN CASTRO BLAS
(0000-0002-9434-8088)

EDITH KARIN SOTO RAMOS
(0000-0003-0080-2524)

Asesor:
Dr. Jesús Marino Falcón Roque
(0000-0002-1750-1923)

Lima – Perú
2023

DETERMINACION DEL FACTOR DE TRASLOCACION Y BIOCONCENTRACION

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	10%	2%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.fao.org Fuente de Internet	1%
2	cienciadigital.org Fuente de Internet	1%
3	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	www.scielo.org.pe Fuente de Internet	1%
7	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
8	baixardoc.com Fuente de Internet	1%
9	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	

DEDICATORIA

A nuestros padres y hermanos por su confianza y apoyo incondicional durante nuestra formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por sus bendiciones y a nuestros padres por darnos su apoyo durante nuestra formación académica y profesional.

Al Programa de Becas y Créditos por la oportunidad que nos brindó para continuar con nuestros estudios universitarios.

A los docentes de la Universidad San Ignacio de Loyola, quienes nos brindaron sus conocimientos, que hoy en día se ve reflejado en cada uno de nosotros.

RESUMEN

El trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en plantas altoandinas para suelos provenientes del Pasivo Ambiental Minero (en adelante PAM); ubicado en Pasco (Quiulacocha). Las altas concentraciones de ciertos metales pesados hacen del PAM un sustrato altamente desfavorable para el desarrollo de la vida vegetal. No obstante, algunas especies vegetales son capaces de desarrollarse en estas zonas, siendo una alternativa para dar solución a problemas de contaminación ambiental.

Esta investigación es de tipo básica, tiene un enfoque mixto (enfoques cualitativo y cuantitativo) y el diseño es no experimental transversal descriptivo. El muestreo de campo fue NO PROBABILÍSTICO también conocido como muestreo no aleatorio. El tipo de muestreo no probabilístico que se realizó fue el muestreo de selección experta denominada también como muestreo de juicio. Para el muestreo de suelo se consideró la técnica mediante hoyos para la toma de muestras superficiales de acuerdo a la Guía para el Muestreo de Suelos del Ministerio del Ambiente; las muestras de suelo fueron recolectados en tres puntos (una muestra por cada suelo rizosférico de la planta) posteriormente se procedió a cuartear la muestra para obtener una muestra representativa del PAM. El muestreo de la planta se realizó de acuerdo al método de criterio, de manera que cada planta fue elegida por su visible ausencia de síntomas de fitotoxicidad (clorosis) y similar altura de la planta. Las muestras de tejidos vegetales fueron recolectadas del PAM de Quiulacocha (Pasco). Se tuvo 6 muestras de la parte aérea y 6 muestras de la parte raíz de la planta *Stipa ichu*.

Las muestras fueron llevadas para su análisis químico al laboratorio, obteniéndose los siguientes resultados promedio de la planta *Stipa ichu*, los cuales son: en la parte aérea es 6.8 mg/kg de As, 0.6 mg/kg de Cd, 12.2 mg/kg de Cu, 20.7 mg/kg de Pb y 86.6 mg/kg de Zn; en

la parte raíz 83.9 mg/kg de As, 6.4 mg/kg de Cd, 278.6 mg/kg de Cu, 219.2 mg/kg de Pb y 748.9 mg/kg de Zn; y en el suelo 749.99 mg/kg de As, 22.91 mg/kg de Cd, 256.61 mg/kg de Cu, 1474.84 mg/kg de Pb y 2076 mg/kg de Zn. Posteriormente se determinó el factor de biococentración y factor de traslocación. En función a los cálculos del factor de traslocación se clasificó, a la planta *Stipa ichu* como Fitoacumuladora para Cu en la parte raíz.

Palabra Claves: Factor de Traslocación, Factor de Biococentración, Metales Pesados, *Stipa ichu*,

ABSTRAC

The objective of the research work is to determine the translocation and bioconcentration factor of heavy metals in high Andean plants for soils from the Mining Environmental Passive (hereinafter PAM); located in Pasco (Quiulacocha). The high concentrations of certain heavy metals make PAM a highly unfavorable substrate for the development of plant life. However, some plant species are capable of developing in these areas, being an alternative to solve environmental pollution problems.

This research is basic, has a mixed approach (qualitative and quantitative approaches) and the design is non-experimental cross-sectional descriptive. The field sampling was NON-PROBABILISTIC also known as non-random sampling. The type of non-probabilistic sampling that was carried out was expert selection sampling, also known as judgment sampling. For soil sampling, the technique was considered using holes for taking surface samples according to the Guide for Soil Sampling of the Ministry of the Environment; The soil samples were collected at three points (one sample for each rhizospheric soil of the plant) and the sample was then quartered to obtain a representative sample of the PAM. Plant sampling was carried out according to the criterion method, so that each plant was chosen for its visible absence of phytotoxicity symptoms (chlorosis) and similar plant height. The plant tissue samples were collected from the PAM of Quiulacocha (Pasco). There were 6 samples of the aerial part and 6 samples of the root part of the *Stipa ichu* plant.

The samples were taken for chemical analysis to the laboratory, obtaining the following average results from the *Stipa ichu* plant, which are: in the aerial part it is 6.8 mg/kg of As, 0.6 mg/kg of Cd, 12.2 mg/kg of Cu, 20.7 mg/kg of Pb and 86.6 mg/kg of Zn; in the root part 83.9 mg/kg of As, 6.4 mg/kg of Cd, 278.6 mg/kg of Cu, 219.2 mg/kg of Pb and 748.9 mg/kg of Zn; and in the soil 749.99 mg/kg of As, 22.91 mg/kg of Cd, 256.61 mg/kg of Cu, 1474.84

mg/kg of Pb and 2076 mg/kg of Zn. Subsequently, the bioconcentration factor and translocation factor were determined. Based on the calculations of the translocation factor, the *Stipa ichu* plant was classified as a Phytoaccumulator for Cu in the root part.

Keywords: Translocation Factor, Bioconcentration Factor, Heavy Metals, *Stipa ichu*,

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

2.1. Situación Problemática 3

2.2. Formulación del Problema 4

2.2.1. Problema General 4

2.2.2. Problemas Específicos 4

2.3. Justificación de la Investigación 6

2.4. Objetivos de la Investigación 8

2.4.1. Objetivo General 8

2.4.2. Objetivos Específicos 9

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO 10

3.1. Antecedentes del Problema 10

3.1.1. Antecedentes Internacionales 10

3.1.2. Antecedentes Nacionales 14

3.2. Bases Teóricas 18

3.2.1. Pasivos Ambientales Mineros (PAMs) 18

3.2.2. Diagnóstico de la Contaminación por Presencia de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú 21

3.2.3. Estrategias para Remediar Pasivos Ambientales Mineros 26

3.2.4. Acumulación de Metales Pesados en Plantas Altoandinas. 30

3.2.5. Factor de Bioconcentración y Factor de Traslocación 30

3.2.6. Categorización de plantas en función a su concentración y factores de biococentración y traslocación 31

3.2.7. Movilización de Metales en Suelo 33

3.2.8. Los metales pesados y su comportamiento en el sistema suelo-planta 33

3.2.9. Factores que inciden en el proceso de fitorremediación 34
3.2.10. Caracterización de las Plantas *Stipa ichu*.....39
3.2.11. Ruta de Traslocación (Transporte a través del floema) 40
3.3. Marco Conceptual.....41
CAPÍTULO IV: HIPÓTESIS Y VARIABLES 52
4.1. Hipótesis.....52
4.1.1. Hipótesis General 52
4.1.2. Hipótesis Específicas.....52
4.2. Identificación de Variables 53
4.2.1. Variable Independiente 53
4.2.2. Variable Dependiente.....53
4.3. Operalización de Variables 54
CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....55
5.1. Tipo de Investigación.....55
5.2. Enfoque de la Investigación.....55
5.3. Diseño de Investigación.....56
5.4. Paradigma de la Investigación 57
5.5. Área de Estudio.....57
5.5.1. Ubicación Geográfica 57
5.5.2. Condiciones Meteorológicas.....59
5.6.3. Caracterización del Suelo del PAM de Quiulacocha.....65
5.6. Población y Muestra 66
5.6.1. Población.....66
5.6.2. Muestra 66
5.7. Determinación de los Metales Pesados a ser analizados según su significancia y toxicidad.....67
5.8. Plan de Relaciones Comunitarias.....71

5.8.1. Consideraciones Generales 71
5.8.2. Planificación de Actividades de Relaciones Comunitarias 72
5.8.3. Actividades Antes de Iniciar Actividades de Fitorremediación 72
5.8.4. Actividades Durante el Desarrollo del Proyecto 73
5.8.5. Actividades Después del Desarrollo del Proyecto 74
5.8.6. Programa de Capacitación y Educación Ambiental 75
5.9. Tratamiento de la Planta *Stipa ichu* Después de la Actividad de Fitorremediación 75
CAPÍTULO VI: PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE ANÁLISIS 76
6.1. Técnicas y Caracterización de Datos 76
6.1.1. Técnica para la Recolección de Datos 76
6.1.2. Técnica para el Análisis e Interpretación de Datos 77
6.2. Procedimientos de Recolección de Datos 77
6.2.1. Muestreo de Suelo y Planta 77
CAPÍTULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIÓN 82
7.1. Resultados 82
7.1.1. Análisis químico de metales en suelo y planta 82
7.1.2. Concentración de Metales en suelo del PAM de Quiulacocha 82
7.1.3. Concentración de Metales en Tejidos Vegetales de los PAM de Quiulacocha 85
7.1.4. Categorización de Plantas Altoandinas en Función a su Concentración y Factores de Traslocación y Biococentración 89
7. 2. Discusión de Resultados 95
7.2.1. Concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn en el Suelo de PAM Quiulacocha – Pasco 95
7.2.2. Concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn en la planta *Stipa ichu* 98
7.2.3. Factor de Traslocación y Bioconcentración 101
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 103

8.1. Conclusiones 103
8.2. Recomendaciones 104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 105
ANEXOS 117

Índice de Tabla

Tabla 1 Inventario de PAMs 22

Tabla 2 PAMs incluidos en el inventario según daño 23

Tabla 3 Clasificación de PAMs al 2020 24

Tabla 4 Ventajas y desventajas de la fitorremediación 27

Tabla 5 Parámetros del FBC y FT 33

Tabla 6 Escala de clasificación de los suelos según su pH 36

Tabla 7 Escala de clasificación de suelo según Materia Orgánica 37

Tabla 8 Escala de clasificación de la Capacidad de intercambio catiónico (CIC) 38

Tabla 9 Caracterización de la planta *Stipa ichu* 40

Tabla 10 Operacionalización de Variables 54

Tabla 11 Ubicación del Pasivo Minero Ambiental de Quiulacocha 57

Tabla 12 Estación Meteorológica Cerro de Pasco 59

Tabla 13 Temperaturas máximas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023) 61

Tabla 14 Temperaturas mínimas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023) 62

Tabla 15 Humedad Relativa Mensual (%) de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023)……63

Tabla 16 Precipitación promedio acumulada de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023)……..…….. 64

Tabla 17 Caracterización del suelo del PAM de Quiulacocha 66

Tabla 18 Determinación de metales pesados a ser analizados según su significancia y toxicidad 67

Tabla 19 Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos 76

Tabla 20 Técnicas del procesamiento y análisis de datos 77

Tabla 21 Coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo del PAM de Quiulacocha…….……80

Tabla 22 Concentración de metal pesado en PAM Quiulacocha.....82

Tabla 23 Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo en el Perú y Directrices sobre la Calidad del Suelo para la Protección del Medio Ambiente y la Salud Humana (CEQG) 83

Tabla 24 Concentración de metales en la Raíz de la planta *Stipa ichu* - PAM Quiulacocha.....86

Tabla 25 Resumen estadístico descriptiva – Raíz de la planta *Stipa ichu* 87

Tabla 26 Concentración de metales en la Parte Aérea de la planta *Stipa ichu* (PAM Quiulacocha) 88

Tabla 27 Resumen estadístico descriptiva – Parte Aérea de la planta *Stipa ichu*.....89

Tabla 28 Factor de Traslocación (FT) de la planta *Stipa ichu* (Aérea/Raíz) 91

Tabla 29 Factor de Bioconcentración Promedio de la planta *Stipa ichu* – Raíz.....93

Tabla 30 Factor de Bioconcentración Promedio de la planta *Stipa ichu* – Parte Aérea…….……93

Índice de Figuras

Figura 1 Número de PAM por regiones y niveles de riesgo “ALTO” y “MUY ALTO”……...…….. 23

Figura 2 Porcentaje de PAM “Sin gestionar” Calificados con riesgo “Muy Alto” y “Alto” del inventario actualizado el 2020 25

Figura 3 Mecanismos involucrados en la tecnología de la fitorremediación 27

Figura 4 Los mecanismos de absorción de metales pesados por planta a través de la tecnología de fitorremediación 29

Figura 5 Diseño de la investigación Pasco (Quiulacocha) 56

Figura 6 Mapa de Ubicación del Pasivo Minero Quiulacocha 58

Figura 7 Ubicación de la Estación Meteorológica Cerro de Pasco 60

Figura 8 Temperaturas Máximas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023) 61

Figura 9 Temperaturas Mínimas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023) 62

Figura 10 Humedad Relativa Mensual (%) de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023)……64

Figura 11 Precipitación Promedio Acumulada de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023) 65

Figura 12 Modelo de Etiquetado de la Muestra de Suelo 78

Figura 13 Modelo de Etiquetado de la Muestra de Tejido Vegetal 80

Figura 14 Ubicación de los Puntos de Muestreo del PAM de Quiulacocha 81

Figura 15 Concentración de Metales en el Suelo de Áreas Contaminadas del PAM Quiulacocha y las Normas CEQG 84

Figura 16 Concentración de Metales en el Suelo de Áreas Contaminadas del PAM Quiulacocha y los ECAs para Suelo Industrial/Extractivo 85

Figura 17 Concentración de Metales en la Raíz de la Planta *Stipa ichu* - PAM Quiulacocha.....86
Figura 18 Concentración de Metales en la Parte Aérea de la Planta *Stipa ichu* - PAM Quiulacocha.....88
Figura 19 Límites Requeridos de Concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn – Parte Aérea en la Planta *Stipa ichu*.....90
Figura 20 Factor de Traslocación Promedio – Planta *Stipa ichu*.....92
Figura 21 Factor de Bioconcentración de la Planta *Stipa ichu* – Raíz.....94
Figura 22 Factor de Bioconcentración de la Planta *Stipa ichu* – Parte Aérea.....95

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La contaminación de suelos es un tema alarmante (Rodriguez et al., 2019). La contaminación de los suelos por metales pesados es una problemática que genera estrés abiótico debido a las altas concentraciones de contaminantes, aunque en muchos casos los metales pesados se encuentran de manera natural en el suelo, las actividades antropogénicas contribuyen al aumento de las concentraciones de estos contaminantes (Shehata et al., 2019).

Una de las actividades que ha tenido un gran impacto en el suelo desde hace años es la minería y actividades asociadas, los cuales generan una gran cantidad de residuos ricos en metales pesados que son depositados en la superficie del entorno minero. Así, el suelo original de la mina se degrada o se pierde irreversiblemente (FAO, 2015).

La consecuencia directa de la contaminación del suelo, es la falta de nutrientes necesarios para el desarrollo de la vegetación, el bajo contenido de materia orgánica, un pH de bajo/alto y un alto contenido de elementos tóxicos (Rodriguez et al., 2019). Sin embargo, existen las denominadas plantas metalófitas, que han desarrollado los mecanismos fisiológicos para resistir, tolerar y sobrevivir en suelos degradados, siendo una interesante alternativa para remediar suelos contaminados (Munive et al., 2018).

En base a los antecedentes y revisión bibliográfica, a través de la presente investigación; se determinará el factor de traslocación y bioconcetración de metales pesados de la planta *Stipa ichu* en el PAM Quiulacocha - Pasco

El presente trabajo de investigación consta de 8 capítulos. En el Capítulo I se detalla la introducción. En el Capítulo II se trata sobre el planteamiento del problema, donde se describe la situación problemática, se formula el problema y se justifica el desarrollo de la investigación. En el Capítulo III se desarrolla el marco teórico, el cual abarca los

antecedentes del problema, bases teóricas y marco conceptual. En el Capítulo IV se trata sobre las Hipótesis y Variables, en el cual se describe las hipótesis, se identifica las variables y se desarrolla la operalización de variables. En el Capítulo V se desarrolla la Metodología de la Investigación, donde se describe el tipo de investigación, el enfoque de investigación, el diseño de investigación, el paradigma de investigación, el área de estudio, la población, muestra, técnicas y caracterización de datos. En el Capítulo VI se trata sobre el procedimiento y método de análisis, donde se desarrolla el procedimiento de recolección de datos. En el Capítulo VII se trata sobre los resultados y discusiones. En el Capítulo VIII se finaliza con las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Situación Problemática

Los problemas que la contaminación causa en el suelo y en la biodiversidad son preocupantes y sus efectos son estudiados con la finalidad de controlar y prevenir daños a la homeostasis ambiental (Guzmán-Castro, et al. 2022). La contaminación del suelo ha sido reconocida internacionalmente como una gran amenaza para la salud del suelo y su capacidad de proporcionar servicios ecosistémicos (FAO Y PNUMAM 2022).

Dentro de la gran variedad de contaminantes que son liberados al ambiente, los metales pesados representan uno los grupos más investigados, ya que poseen características físicas y químicas que lo hacen muy persistente en el ambiente (Ali et al., 2019). Una de las actividades que ha tenido un gran impacto en el suelo desde hace años es la minería y actividades asociadas, los cuales generan una gran cantidad de residuos ricos en metales pesados que son depositados en la superficie del entorno minero (Rodriguez et al., 2019).

En el Perú, la minería es una actividad económica importante pero debido a los inadecuados planes de cierre y biorremediación, especialmente de las minas antiguas, numerosos residuos mineros han sido abandonados a lo largo de todo el país, constituyéndose un riesgo para la salud y los ecosistemas (Muñoz-Silva et al., 2019).

El manejo inadecuado de estos PAMs, sumado a la falta de un marco normativo que regule su tratamiento, ha propiciado que estos produzcan un impacto significativo al ambiente. Estos impactos están constituidos principalmente por la contaminación de los cuerpos de agua de los ríos, lagos, la contaminación de suelo, degradación del suelo, flora, fauna y paisaje; lo cual puede poner en riesgo a la salud pública (Defensoría del Pueblo, 2015).

Pasco es una de las regiones con serios problemas ambientales generados por la presencia de PAMs, los cuales son preocupantes debido, a los daños que generan en el ambiente y la salud de las personas, por lo que es necesario plantear soluciones a esta realidad, para lo cual existen diferentes alternativas de biorremediación; siendo una de ellas la fitorremediación, el cual es una tecnología que utiliza especies vegetales para remediar suelos contaminados con metales pesados, de preferencia nativas de la zona. No obstante, las altas concentraciones de metales pesados y bajo contenido de materia orgánica, más un pH bajo hacen de los PAMs un sustrato altamente desfavorable para el desarrollo de la vida vegetal. A pesar de ello, diversas investigaciones desarrolladas en zonas mineras a nivel mundial han demostrado que algunas especies vegetales son capaces de desarrollarse en estas zonas, pues estas especies tienen una alta tolerancia a la presencia de metales pesados. En tal sentido, en el presente estudio se determinará el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en la planta *Stipa ichu* en el PAM Quiulacocha – Pasco.

2.2. Formulación del Problema

2.2.1. Problema General

¿Cuál es el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco?

2.2.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en la parte aérea de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco?

- ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en la raíz de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco?
- ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en suelos de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco?

2.3. Justificación de la Investigación

- **Justificación Teórica**

La biorremediación es el proceso de limpieza del medio contaminado en el que los organismos vivos, generalmente plantas y microrganismos, transforman las sustancias peligrosas en otras menos tóxicas (Conde, 2019; López y Fernández, 2020).

De otro lado, Montenegro et al. (2019) indican que la fitorremediación es una alternativa para descontaminar; la palabra proviene del latín y significa planta que remedia. La Fitorremediación es un proceso, en el cual las plantas son seleccionadas principalmente por su potencial fisiológico, como en el caso de enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces y su habilidad para bioacumular y/o degradar contaminantes, es una estrategia biológica que puede ser utilizada para facilitar la recuperación de suelos afectados por diferentes contaminantes (Guevara et al., 2018).

Para la categorización de la planta *Stipa ichu* se tiene en cuenta los siguientes criterios:

a) Concentración de metal en la parte aérea de la planta (Solis, 2020)

- Cd [concentración de metal pesado] > 100 mg/kg Planta Fitoacumuladora
- Cu, As y Pb [concentración de metal pesado] > 1000 mg/kg Planta Fitoacumuladora
- Zn [concentración de metal pesado] > 10,000 mg/kg Planta Fitoacumuladora

b) Factor de Biococentración (FBC) en la raíz y parte aérea de la planta (Mujica, 2018).

- Si el BCF raíz/parte aérea < 1 la planta es excluyente o fitoestabilizadora
- Si el 1 < BCF raíz/parte aérea > 10 la planta es Fitoacumuladora
- Si el BCF raíz/parte aérea > 10 la planta es hiperacumuladora

c. Si el Factor de Traslocación (FT) > 1 significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Munive et al., 2020), por lo que su potencial es acumulador.

- **Justificación Práctica**

En los últimos años la comunidad científica ha aumentado el interés por desarrollar tecnologías limpias, seguras, de bajo costo y poco impacto ambiental (Chandra y Souza-Alonso, 2018).

La fitorremediación, es uno de los métodos que más aceptación tiene en el mundo, ofreciendo una solución ecológica, utilizando especies vegetales nativas de lugar, para que en el futuro vuelva a tener características similares a la original, repoblando especies vegetales (Ramirez y Contreras, 2022)

Al desarrollar este trabajo de investigación se determinará el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en la planta *Stipa ichu* para suelos contaminados por el PAM de Quiulacocha ubicado en el departamento de Pasco, lo cual permitirá categorizar como fitoacumuladora o Fitoestabilizadora a la planta en estudio.

- **Justificación Social**

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20) los países resaltaron la necesidad de lograr el desarrollo sostenible en sus tres dimensiones, asimismo; se señaló que la minería ofrece la oportunidad de impulsar el desarrollo económico, reducir la pobreza y ayudar a los países a lograr los objetivos de desarrollo sostenible cuando se gestiona de manera efectiva y adecuada (Oblasser, 2016). Sin embargo, las labores mineras, en muchos lugares, han estado acompañados de numerosos sitios abandonados, conocidos como PAMs (Chappuis, 2019).

El período 2021-2030 fue proclamado el “Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas” por la Asamblea General de las Naciones Unidas mediante la resolución A/RES/73/284, de 1 de marzo de 2019, “a fin de apoyar y ampliar los esfuerzos encaminados a prevenir, detener e invertir la degradación de los ecosistemas en todo el mundo y concienciar sobre la importancia del éxito de la restauración de los ecosistemas”. Todas las iniciativas emprendidas en el contexto del Decenio de las Naciones Unidas tendrán, por tanto, un doble objetivo: evitar la degradación y restaurar los ecosistemas, ya que la restauración de suelos contaminados por PAMs es carente. (Comité Forestal, 2022)

La fitorremediación puede ser una alternativa para recuperar suelos contaminados (Montenegro et al., 2020). Así como mejorar la relación de las empresas mineras con las comunidades, generando confianza. De esa manera se evitarían los conflictos sociales y resistencia por parte de la población, pues la minería ha estado marcada por un pasado de malas prácticas, falta de normatividad ambiental y ausencia de la participación social (Sotomayor, 2015).

En este contexto, una de las maneras de recuperar estos PAMs es mediante fitorremediación, el cual se presenta como potencial para contribuir al desarrollo sostenible, en el ámbito de la solución de problemas de contaminación (Garzón et al., 2017).

2.4. Objetivos de la Investigación

2.4.1. Objetivo General

Determinar el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco.

2.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar la concentración de los metales pesados en la parte aérea de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco.
- Determinar la concentración de los metales pesados en la raíz de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco.
- Determinar la concentración de los metales pesados en suelos de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco.

CAPÍTULO III: MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes del Problema

3.1.1. Antecedentes Internacionales

Torri (2021) realizó un trabajo de investigación que tuvo por objetivo determinar la capacidad fitorremediadora de Cu y Zn que presenta dos especies vegetales. Se utilizaron dos especies vegetales: una gramínea (*Lolium perenne* L. P1) y una dicotiledónea (*discaria, Discaria americana, P2*). Las semillas de Ray grass (*Lolium perenne L.*) se adquirieron en un vivero. Las semillas de *Discaria americana* se recolectaron en su hábitat natural, las dunas costeras de La Lucila del Mar, provincia de Buenos Aires, Argentina. El ensayo se llevó a cabo en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (FAUBA), Argentina, bajo invernáculo, durante un lapso de seis meses. La actividad radical del Ray grass y la *Discaria* modificó los equilibrios entre las fracciones edáficas de Cu y Zn en los suelos enmendados con biosólidos. En general, ambas especies contribuyeron a incrementar las fracciones de Cu de menor biodisponibilidad, tanto en lo suelos enmendados con biosólidos como en los suelos enmendados con biosólidos adicionados con sus propias cenizas. Ambas especies vegetales contribuyeron a disminuir significativamente la concentración de Zn en los suelos enmendados con biosólido. Comparando ambas especies, la *Discaria* fue la especie vegetal que logró la mayor disminución en Zn, presentando diferencias significativas con los tratamientos con raigrás. Dicha disminución se observó en los suelos enmendados con biosólido.

Muro (2020) realizó un trabajo de investigación que tuvo por objetivo determinar el potencial de biocumulación y fitorremediación de *Prosopis laevigata* en los jales de Huautla, Morelos, así como evaluar el daño genético y los efectos morfológicos. La especie arbórea *Prosopis laevigata* fueron evaluados para determinar su potencial para reducción de metales

pesados en los jales mineros. Las mediciones de los parámetros se hicieron cada dos meses, se eligieron seis individuos al azar por cada tratamiento durante un año (72 individuos en total fueron evaluados). Los resultados mostraron que las raíces bioacumulan significativamente más metales pesados en comparación con el tejido foliar. La bioacumulación de Pb afectó significativamente los niveles de daño genéticos y el número de hojas, mientras que el Zn reduce significativamente la altura de las plantas. El porcentaje de plantas que tienen valores de factor de traslocación mayores a uno es el siguiente: Cu 92.9% > Fe 85.7% > Pb 75.0% > 64.3% Zn. *P. laevigata* es una especie con potencial de fitorremediar ambientes contaminados con Cu y Zn, debido a que presenta una amplia distribución geográfica, su habilidad de establecerse y ser dominante en jales mineros abandonados, su capacidad de bioacumular metal pesado en sus tejidos y no tener afectaciones en el desarrollo de las plantas, así como sus altos niveles de traslocación de metal pesado.

Díaz y Sierra (2017) realizaron una investigación que tuvo por objetivo establecer la viabilidad de emplear *Artemisia absinthium* y *Lupinus pubescens benth*, especies de ecosistemas andinos y alto andinos cundiboyacenses, para fitorremediar áreas contaminadas por plomo, cadmio y mercurio en zonas aledañas a minas de carbón; la investigación fue realizada en un área del municipio de Guachetá, Cundinamarca, Colombia. Las plantas se cultivaron durante 158 días y las tomas de muestras se realizaron a los 60, 102 y 158 días. A partir de los resultados determinaron que durante los primeros 60 días las plantas acumularon un mayor porcentaje de metales y en las muestras colectadas a los 102 días. Asimismo, se encontró que para *Lupinus pubescens benth* las concentraciones máximas acumuladas de cada metal fueron: 2015,5 mg/kg de cadmio, 72,2 mg/kg de plomo, y 0,16 mg/kg de mercurio, mientras que para *Artemisia absinthium* fueron: 13024,9 mg/kg de cadmio, 98,7 mg/kg de plomo y 0,12 mg/kg de mercurio. Entre las conclusiones se hallaron que las especies

evaluadas tienen un alto potencial de acumulación de metales pesados y son una alternativa para la recuperación de ecosistemas estratégicos.

Salazar (2019) realizó una investigación que tuvo por objetivo desarrollar una metodología y aportar conocimientos que permitan aplicar técnicas de fitorremediación en el tratamiento de suelos contaminados con plomo, basadas en la evaluación y empleo de especies nativas que crecen en la provincia de Córdoba, Argentina. Se realizó la evolución de las características del suelo y la contaminación de esta por metales pesados en un sitio afectado. Asimismo, se realizó el muestreo y evaluación de todas las especies nativas y silvestres, los cuales fueron seleccionados por su respuesta (tolerancia y acumulación de Pb) *Tagetes minuta L*. y *Bidens pilosa L*. como especies de interés. Se realizaron experimentos en invernadero a fin de profundizar el conocimiento sobre la incorporación y translocación de Pb, así como de los factores que podrían potenciarlo. Finalmente se estudió en campo el comportamiento de las variables estudiadas experimentalmente en invernadero y laboratorio. La variabilidad de respuesta de las especies evaluadas fue elevada, por lo que muestra la necesidad de ampliar el enfoque en las investigaciones sobre fitorremediación, integrando datos de concentración y biomasa en una tasa de extracción neta que indique eficacia y eficiencia de extracción de un metal, criterios no considerados en los índices que fijan los factores de acumulación tradicional.

Ibarra (2017) realizó una investigación que tuvo por objetivo evaluar la contaminación de metales potencialmente tóxicos a causa de los desechos mineros que existen en la cabecera municipal de Noria de Ángeles y sus alrededores en México, a diferentes distancias partiendo de la base de las Tepetateras hasta llegar a la presa de Jales y contribuir a la remediación del lugar utilizando plantas que den buenos resultados en su implementación en la zona mediante fitoextracción. Se realizó la caracterización del suelo mediante un trayecto que parte desde la tepetatera de mayor tamaño hasta la denominada presa de jales. Posterior al estudio se realizó

el análisis de contaminación que existe mediante las muestras recolectadas del suelo para el contenido de contaminantes que permitió conocer de forma detallada del impacto ambiental que existe. A partir de los resultados, se observó que la zona del jal rojo es la más contaminada, seguida de la presa de jales, rebasando los límites máximos permitidos, principalmente Zn, Pb y Cu, mientras que, en los suelos de los sitios correspondientes a la Tepetatera, en el poblado y en el Ejido los resultados indicaron que las concentraciones de estos metales, no se consideran aún contaminados. También se recolectaron diferentes tipos de plantas nativas en los diferentes sitios de los suelos estudiados, donde se determinó la concentración de estos metales tomando en cuenta el tipo de planta y sus características en cuanto a tamaño, juventud, resistencia y adaptación; asimismo, se seleccionaron las que mejor capacidad de bioacumulación presentaron para una fitoextracción metálica y de ser posible una fitorremediación de los suelos más contaminados. Se encontraron en toda la zona dos tipos de especies nativas que sobreviven a las condiciones del suelo, una corresponde a un tipo de arbusto, la gobernadora (*Larrea tridentata*) y los otros tres son árboles: el huizache (*Acacia pennatula*), el pirul (*Schinus molleL.*) y el mezquite (*Prosopis laevigata*), las cuales presentaron diversas concentraciones de metales en sus tejidos. Adicionalmente, utilizó pasto inglés para evaluar las posibilidades de fitoextracción del Cu, Pb y Zn, encontrándose que en todos los casos la extracción aumentó proporcionalmente con el número de días. La mayor eficiencia de extracción se obtuvo a los 180 días para los tres metales y las distintas mezclas de suelo, materia orgánica y suelo testigo, para el Cu se extrajeron en hasta 41 mg/kg con una eficiencia del 26.51% en las mezclas de jal rojo con suelo testigo y materia orgánica, las mezclas de Jal gris extrajeron hasta 39.4 mg/kg con una eficiencia del 29.1% y el suelo de la Tepetatera extrajo hasta 14.42 mg/kg con una eficiencia de 45.86%; para el caso de Pb se extrajeron en el mismo tiempo hasta 43.5 mg/kg con una eficiencia de 8.79% en las mezclas de jal rojo con suelo testigo y materia orgánica, las mezclas de jal gris extrajeron hasta 43

mg/kg con una eficiencia de 11.66% y el suelo de la Tepetatera extrajo hasta 5.93 mg/kg con una eficiencia de 5.22%, para el caso de Zn se extrajeron en el mismo tiempo hasta 17.42 mg/kg con una eficiencia de 3.27% en las mezclas de jal rojo con suelo testigo y materia orgánica, las mezclas de jal gris extrajeron hasta 14.87 mg/kg con una eficiencia de 3.19% y el suelo de la Tepetatera extrajo hasta 8.18 mg/kg con una eficiencia de 17.01%. En base a los resultados concluyó que el pasto inglés presentó buenos resultados en la fitoextracción de metales, la cual toleró los niveles de metales presentes en los suelos que se analizaron y demostró ser una planta ideal para su implementación en fitoextracción.

3.1.2. Antecedentes Nacionales

Vargas (2020) realizó un estudio titulado “asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en los relaves de Quiulacocha utilizando procesos de cobertura biológica”. En dicho estudio fue evaluado la capacidad de asimilación que posee cada planta fitorremediadora para absorber metales pesados como el Pb, Cd, Fe y Zn en la rehabilitación de suelos contaminados con relaves mineros procedentes de los depósitos de Quiulacocha. Dicha área fue fijada teniendo en cuenta el gran impacto ambiental que conlleva dicho relave minero en los suelos. Se utilizó el método Cuasi Experimental debido a que se tuvieron 3 barriles: Barril 01 (experimental), Barril 02 y 03 (de control). Las plantas utilizadas para este proceso fueron sido la *Stipa ichu* y *Festuca dolichophylla* a partir de los resultados, se ha demostrado: el análisis positivo de la tolerancia del *Stipa ichu* y la *Festuca dolichophylla* para metales pesados como el Pb, Cd, Fe y Zn; cuyas eficiencias de absorción fueron progresivos, al inicio del proceso de absorción, la *Festuca dolichophylla* demostró un valor porcentual de 0.93% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 17.32% lo que demuestra un incremento de 17 veces respecto al valor inicial. Al inicio del proceso de absorción, la *Stipa ichu* mostro un valor porcentual de 0.56% de absorción. Pasado los 6 meses, el valor porcentual de absorción es de 8.22% lo que demuestra un incremento de 16

veces respecto al valor inicial que se dan para sustratos contaminados. Se concluye recomendando dichas plantas de campo para planes de cierre. La efectividad de adsorción utilizando el *Stipa ichu* (Pb, 17.32%; Cd, 3.68%; Fe, 14.6% y Zn, 8.44%); la *Festuca dolichophylla* (Pb, 8.22%; Cd, 3.92%; Fe, 6.78% y Zn, 4.47%); lo que ha permitido una mejorara en la relavera Quiulacocha.

Solís (2020) realizó un estudio "Determinación de la Hiperacumulación de metales pesados Cd, Pb y As en la planta nativa TAYA *(Baccharis tola Phil*.) de la desmontera Minera Rumiallana entre los distritos de Yanacancha y Simón Bolívar, Pasco, 2019 - 2020". La metodología de la investigación fue mixta (enfoques cuantitativo y cualitativo). Así mismo, el nivel de investigación es descriptivo, porque se describió, analizó e interpretó la concentración de metales pesados Cd, Pb y As en la planta y su respectivo suelo rizósferico. Con un diseño no experimental transversal descriptivo, siendo así las muestras recolectadas por el método no probabilístico, y según criterio; en la cual se recolectó 03 muestras de la planta (parte aérea y raíz) y su respectivo suelo rizósferico. Por otra parte, se utilizó para el análisis de información la estadística descriptiva y el análisis de varianza (ANOVA) indicando que los datos de las tres repeticiones no tienen diferencias significativas. Las muestras fueron enviadas a ser analizadas al laboratorio de UNALM, obteniéndose los siguientes resultados promedios de la planta los cuales son: en la parte aérea es 7.61 mg/kg de Cd, 41.14 mg/kg de Pb y 4.64 mg/kg de As; en la raíz 7.48 mg/kg de Cd, 384.69 mg/kg de Pb y 7.55 mg/kg de As; y en el suelo rizósferico 32.12 mg/kg de Cd, 5369.44 mg/kg de Pb y 17.65 mg/kg de As. Posteriormente se determinó los tres criterios que debe cumplir la planta para ser considera como hiperacumuladora, comprobándose así que la planta no cumple con dichos criterios. Luego de la evaluación de los criterios se llegó a la conclusión que la planta nativa Taya (*Baccharis tola Phil*.) no se considera como hiperacumuladora, pudiéndose así considerar como una posible planta fitoestabilizadora.

Corpus (2018) evaluó la eficiencia de plantas altoandinas, como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados de una planta concentradora de Minerales Santa Rosa. En ello observó que; pese a las elevadas concentraciones de metales pesados en el suelo, existen especies vegetales que han desarrollado estrategias para prosperar bajo condiciones muy adversas con altas concentraciones de metales pesados. En este estudio, se evaluó la eficiencia de la planta *Calamagrostis recta* (*Kunth) Trin. Ex Steud*., *Cortaderia jubata* (Lemoine) *Stapf* y *Festuca glyceriantha Pilg*. La investigación tuvo etapas para su desarrollo. Esta etapa constó de 10 meses, 6 de propagación y 4 de tratamiento. Durante la etapa de propagación se evaluó el potencial de germinación de las semillas y la capacidad de propagación de las tres especies altoandinas. En la etapa de tratamiento, se evaluó la biomasa de las tres especies, así como, la concentración en el sustrato, la raíz y la parte aérea, la capacidad de acumulación y el factor de distribución a los diferentes órganos vegetativos de cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn; para lo cual se realizó el análisis químico de las muestras, el cálculo del Factor de Traslocación (TF) y el Factor de Bioconcentración (BCF). Para las 3 plantas la mayor concentración de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn se presentó en el sustrato y su menor concentración en la parte aérea tanto para el grupo T1 (suelo con metales pesados) como para el grupo T2 (suelo de mina). Al analizar el factor de bioconcentración (BCF) en la raíz, parte aérea y el factor de traslocación (TF) de Cd, Cu, Ni, Pb y Zn en *Calamagrostis recta* (*Kunth*) *Trin. Ex Steud., Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf y Festuca glyceriantha Pilg*. fue menor a 1. Del estudio se concluyó que recta (Kunth) *Trin. Ex Steud., Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf y Festuca glyceriantha Pilg*. tienen una buena capacidad de propagación, por el porcentaje de germinación obtenido 51%, 39% 28% respectivamente, y por su crecimiento, llegando a alcanzar en el sexto mes 46.3 cm, 43.5 cm y 29.4 cm respectivamente. Además, *Calamagrostis recta (Kunth) Trin. Ex Steud.,*

Cortaderia jubata (Lemoine) Stapf y *Festuca glyceriantha Pilg*. mostraron una alta eficiencia fitorremediadora para el mecanismo de fitoestabilización.

Chang Kee et al. (2018) realizo un estudio con la finalidad de caracterizar nueve especies de plantas nativas, previamente identificadas como potenciales hiperacumuladoras de áreas impactadas por relaves mineros en la región de Ancash, n este caso, fueron estudiados la capacidad de absorción de metales como: Cd, Cu, Ni, Pb y Zn, en plantas como la *Stipa ichu*, *Cortadeira Jubata*, o *Juncus bufonius*. Se calcularon los factores de bioacumulación (BAF) y translocación (TF) para determinar la cantidad de cada metal acumulado en raíces y brotes e identificar qué especies podrían ser más adecuadas para fines de fitorremediación. A partir de esta investigación, se concluyó que cada una de las plantas estudiadas presentaban un gran potencial para remediación, en base a su capacidad de transferencia de metales y tolerancia a los mismos. Asimismo, un aspecto que se resaltó en esta investigación fue que mucho de los especímenes crecían naturalmente en estos pasivos. Estas especies de plantas tienen un gran potencial para la fitorremediación de suelos, dada su capacidad para acumular y transferir metales y su tolerancia a ambientes altamente contaminados por metales en la región andina.

Martínez (2018) en su estudio Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal - Arequipa y propuesta de Fitorremediación determino el estado de conservación de suelos contaminados por la relavera “El Madrigal” y una propuesta de fitorremediación, ubicada en la margen derecha del río Colca en el Departamento de Arequipa, Provincia de Caylloma. En este relave se podía observar la presencia de diferentes metales pesados como Al, Fe, Mg o Mn. Se determinó el comportamiento de dos especies vegetales con distinto sistema radicular ante un evento de contaminación por mercurio en humedales artificiales mediante un seguimiento del suelo y las plantas con lo cual se calculó el factor de bioconcentración y traslocación de las dos

especies, con la finalidad de conocer su potencial de extracción y/o estabilización de metales pesados, obteniéndose resultados que muestran para el caso de *Baccharis salicifolia* que el factor de bioconcetración para la raíz es de 12.293, para el tallo/hojas de 17.711 y el factor de traslocación es de 0.345 y para *Schoenoplectus pungens* el factor de bioconcetración para la raíz es de 39.595, el factor de traslocación es de 1.441. Por lo que podemos afirmar que la especie *Baccharis salicifolia*, se puede utilizar como especie fitoestabilizadora; mientras que la especie *Schoenoplectus pungens* como fitoextractora pudiéndose utilizar ambas con fines de fitorremediación. En este caso, en base a los factores de Bioconcentración y Translocación, se determinó el potencial de remediación de ambas plantas.

3.2. Bases Teóricas

3.2.1. Pasivos Ambientales Mineros (PAMs)

Los pasivos ambientales mineros son todas aquellas instalaciones efluentes emisiones, restos o depósitos de residuos generados por actividades mineras abandonadas o inactivas (Cervantes y Quito, 2020).

Las labores mineras, en muchos lugares dentro del territorio peruano, han estado acompañadas de numerosos sitios abandonados en dónde no se llevaron a cabo labores de rehabilitación inmediata y propiciaron la aparición de PAMs (Chappuis, 2019).

3.2.1.1. Pasivos Ambientales Mineros (PAMs) y sus Efectos Sobre el Medio Ambiente y la Salud Humana.

De acuerdo a Cuentas et al. (2019) los PAMs presentan un riesgo de seguridad o de contaminación tanto para la salud humana como para el medioambiente; el riesgo por contaminación se debe a la presencia de substancias tóxicas, como por ejemplo el arsénico, el

cianuro o los metales pesados en los residuos mineros como son los relaves y los desmontes y la liberación de ellos al medio ambiente.

Los PAMs son considerados un riesgo potencial que pueden causar daño o efectos adversos a la salud humana, seguridad y medio ambiente. Entre los impactos ambientales más comunes de las minas abandonadas están: alteración física de los paisajes, pérdida de vegetación; asimismo, en las minas abandonadas hay numerosas fuentes de contaminación para aguas superficiales y subterráneas, así como para el suelo; por ejemplo: filtraciones de ácido, lavado de metales y aumento de sedimentos (Guzmán et al., 2020).

a. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas:

El mayor impacto ambiental de los PAMs se da por contaminación de las aguas superficiales y subterráneas (Cervantes y Quito, 2020). La contaminación de las aguas se debe a la liberación de contaminantes tóxicos contenidos en los residuos mineros, las obras mineras, los tajos abiertos y los socavones entre otros. Existen diferentes fuentes y mecanismos de liberación de estos contaminantes, el potencial de liberación de estos elementos y el riesgo asociado dependen de las condiciones específicas del sitio, incluyendo el diseño y la operación de la extracción, del procesamiento, la gestión de los residuos, la calidad de las medidas de mitigación, aspectos ambientales como el clima y la cercanía a posibles receptores (Guzmán et al., 2020).

b. Contaminación del suelo:

La contaminación del suelo resulta tanto de actividades planeadas como involuntarias, estas actividades pueden incluir la introducción directa de contaminantes en el suelo, así como procesos ambientales complejos que pueden llevar a una contaminación indirecta del suelo a través del agua o de la deposición atmosférica (Rodriguez et al., 2019).

c. Contaminación del aire:

Uno de los grandes problemas asociados a los PAMs es el arrastre de material particulado por ejemplo de los relaves, depósitos de desmontes y pilas de lixiviación- por acción del viento, que puede contaminar el suelo y afectar por inhalación, ingestión o contacto dérmico a las personas y animales. La dispersión del material particulado depende de las condiciones climáticas, del tamaño del material particulado y de la topografía del lugar (Guzmán et al., 2020).

d. Ecosistemas terrestres y acuáticos:

Los ecosistemas acuáticos pueden sufrir impactos por el ingreso de sedimentos y materiales a los cauces y cuerpos acuáticos, por la liberación de contaminantes y también por la modificación directa temporal o permanente del balance de agua y de la hidrología. Las consecuencias de dichos impactos pueden llegar a una degradación o pérdida de los ecosistemas, un impacto en la biodiversidad y en la flora o fauna acuática (Guzmán et al., 2020).

e. Afectación a la salud humana:

El uso de agua superficial y subterránea contaminada por los PAMs, por ejemplo, contaminación del agua de consumo, agua de riego o como objeto de recreación, implica un riesgo a la salud por la posible ingestión o contacto dérmico. Asimismo, existe el riesgo por el ingreso de los contaminantes a la cadena alimenticia. De igual modo, la inhalación de aire o polvo contaminado es un riesgo a la salud (Chávez, 2015).

f. Pérdida de bienes y funciones ambientales:

Comprende la pérdida de bosques, biodiversidad, suelos o fuentes de agua en ecosistemas donde los PAMs se encuentran. Para la inversión óptima en la recuperación de ambientes naturales degradados se requieren ejecutar evaluaciones ambientales y sociales, así

como estudios de valoración económica que permita, de alguna manera, compensar los daños (Chávez, 2015).

3.2.2. Diagnóstico de la Contaminación por Presencia de Pasivos Ambientales Mineros en el Perú

La actividad productiva de extracción de minerales es muy importante para el crecimiento de la economía; sin embargo, una de las presiones que la actividad minera ejerce en el ambiente tiene que ver con los riesgos y peligros asociados a los PAMs (Castillo et al., 2021).

De acuerdo al Resultados de la auditoría de desempeño sobre gobernanza para el manejo integral de los PAMs realizado el 2020, en el Perú existen 7,956 PAMs inventariados, de los cuales, 921 son de alto y muy alto riesgo; es decir, pueden afectar la salud, el ambiente y la propiedad en caso no se culmine con su remediación (Castillo et al., 2021). A través del tiempo los PAMs han ocasionado daños al ambiente, por lo que su identificación y evaluación es muy importante, teniendo en cuenta los criterios y priorización de los impactos a la salud humana y calidad de vida de las poblaciones aledañas, posibles fallas catastróficas, nivel de contaminación de suelo y agua, a la flora, fauna y al factor socioeconómico (Sotomayor, 2015).

El Perú ha tenido un avance institucional y normativo importante respecto a la gestión de los PAMs. Dentro del cual podemos destacar el establecimiento de la definición de PAMs mediante la Ley N° 28271 del año 2004, dicha Ley también regula la identificación de los PAMs, la responsabilidad y el financiamiento para la remediación de las áreas afectadas (Castillo et al., 2021).

Por otra parte, la Ley N° 28271 indica que el Ministerio de Energía y Minas identificará, elaborará y actualizará el inventario de los PAMs. Siendo así, en el 2006 el

Ministerio de Energía y Minas publicó el primer inventario con un registro de 850 PAMs; al año 2022 se tiene registrado 6,903 PAMs, distribuidos en diferentes ámbitos geográficos del país. El inventario se ha venido actualizando desde el año 2006 y de manera periódica se ha publicado, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1

Inventario de PAMs

Variable	2006	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2018	2019	2020	2021	2022
PAMs incluidos en el inventario del MINEM	850	5557	6855	7576	8206	8571	8616	8854	8794	8448	7956	7668	6903

Nota: Inventario de Pasivos Ambientales Mineros del Ministerio de Energía y Minas.

a) R.M. 290-2006-EM/DM
b) R.M. 939-2012-MEM/DM
c) R.M. 430-2013-MEM/DM
d) R.M. 234-2014-MEM/DM
e) R.M. 102-2015-MEM/DM
f) R.M. 535-2016-MEM/DM
g) R.M. 2242018-MEM/DM
h) R.M. 010-2019-MEM/DM
i) R.M. 238-2020-MINEM/DM
j) R.M. N° 200-2021-MINEM/DM, publicado el 30 de junio de 2021, se identificó 7,668 PAMs
k) R.M. N° 335-2022-MINEM/DM, publicado el 07 de setiembre de 2022, se identificó 6,903 PAMs.

Teniendo como referencia al Inventario de PAMs (agosto 2020), del total de 7,956 PAMs, las regiones que presentan mayor número de pasivos son: Ancash (15.5%), Cajamarca (14.5%) y Puno (11.6%). Asimismo, Cajamarca (30.7%), Ancash (17.5%) y Lima (11.6%) son las regiones con mayores PAMs de niveles de riesgo alto y muy alto del total registrado (921 PAM), tal como se muestra en la Tabla 2 y en la

Figura 1.

Tabla 2

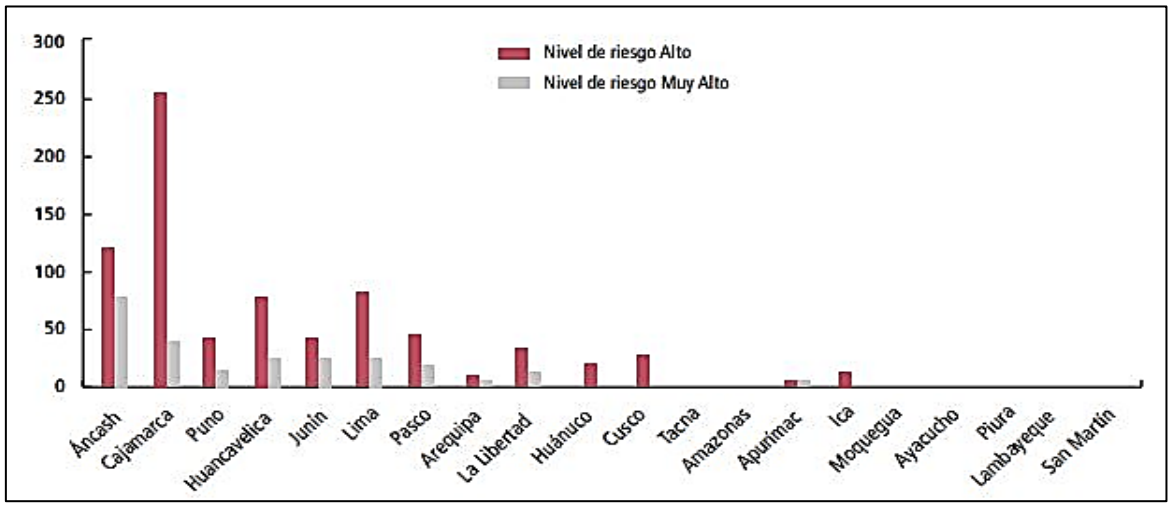
PAMs incluidos en el inventario según daño

Región	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Insignificante	Total	%
Ancash	54	107	385	535	154	1235	15.5%
Cajamarca	32	251	470	265	138	1156	14.5%
Puno	6	38	192	434	251	921	11.6%
Huancavelica	21	70	126	230	407	854	10.7%
Junín	22	45	122	246	234	669	8.4%
Lima	22	85	203	195	147	652	8.2%
Pasco	15	52	393	93	72	525	6.6%
Arequipa	2	7	45	104	159	317	4.0%
La Libertad	9	38	116	98	41	302	3.8%
Huánuco	1	13	143	124	14	295	3.7%
Cusco	1	16	76	130	68	291	3.7%
Tacna	0	1	3	63	98	165	2.1%
Amazonas	0	0	0	11	145	156	2.0%
Apurímac	2	2	13	71	23	111	1.4%
Ica	1	5	25	28	51	110	1.4%
Moquegua	0	1	6	57	43	107	1.3%
Ayacucho	0	1	7	19	34	61	0.8%
Piura	0	1	2	9	12	24	0.3%
Lambayeque	0	0	0	0	4	4	0.1%
San Martín	0	0	1	0	0	1	0.0%
Total	**188**	**733**	**2228**	**2712**	**2095**	**7956**	**100%**

Nota: Castillo et al., (2021, p. 13).

Figura 1

Número de PAM por regiones y niveles de riesgo "ALTO" y "MUY ALTO"



Nota: Resolución Ministerial N° 238-2020-MINEM/DM de 24 de agosto de 2020 Ministerio de Energía y Minas, elaborado por Contraloría General de la República.

La Dirección General de Minería (DGM) es el responsable de mantener actualizado el inventario de PAMs. En la actualización del inventario de PAMs, publicado en agosto de 2020 se han identificado 7,956 PAMs en el territorio Nacional, de los cuales 4,831 PAM se encuentran sin gestión, el cual representa 60.7% del total de PAMs. De esta última cantidad, 391 PAMs (8.1%) tienen como calificación de Alto y Muy Alto, en la Tabla 3 se muestra la clasificación de PAMs según categoría de riesgo, correspondientes a PAMs gestionados y sin gestión (Castillo et al., 2021).

Tabla 3

Clasificación de PAMs al 2020

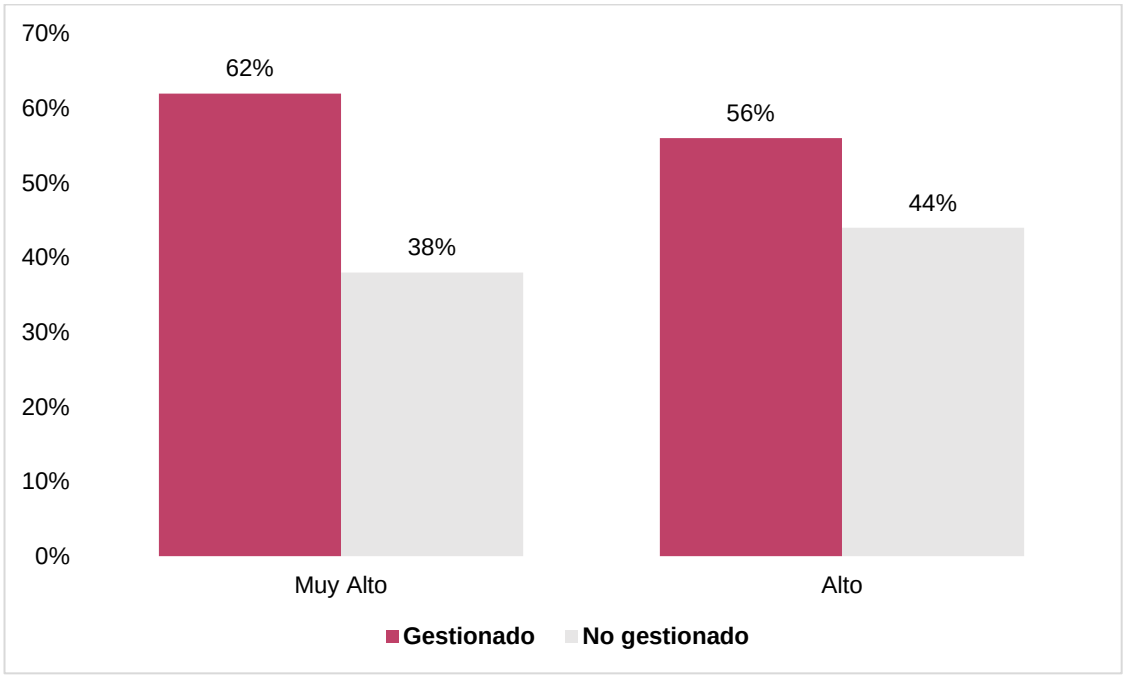
Estado	Muy Alto	Alto	Bajo	Insignificante	Medio	Total general
Gestionado	116	414	891	841	863	3,125
Sin gestión	72	319	1,821	1,254	1,365	4,831
Subtotal	188	733	2,712	2,095	2,228	7,956
Total	**921**		**732**			**7,956**

Nota: (Castillo et al., 2021).

Asimismo, se ha identificado que no se viene gestionando el 38% de 188 PAMs calificados con riesgo “Muy Alto” y el 44% de los 733 PAMs calificados con riesgo “Alto” tal como se muestra en la Figura 2.

Figura 2

Porcentaje de PAM "Sin gestionar" Calificados con riesgo "Muy Alto" y "Alto" del inventario actualizado el 2020



Nota: Resolución Ministerial N° 238-2020-MINEM/DM de 24 de agosto de 2020 Ministerio de Energía y Minas, elaborado por Contraloría General de la República.

3.2.2.1. Diagnóstico de la Contaminación por la Presencia de Pasivos Ambientales Mineros en Pasco.

De acuerdo a la R.M. N° 335-2022-MINEM/DM, en Pasco se identificó 379 PAMs (Muchos de ellos de Alto y Muy Alto Riesgo). Los impactos de la minería sobre el medio ambiente se han convertido rápidamente en una de las principales preocupaciones de la literatura académica de los últimos años (Manrique y Sanborn, 2021). El departamento de Pasco es una zona con múltiples ríos e industrias mineras, lo cual conlleva a un seguimiento por parte de las autoridades competentes (Gonzáles y Murga, 2020).

De acuerdo al Ministerio de Energía y Minas en el departamento de Pasco operan las empresas extractoras de minerales como las mineras Milpo, Minera Huarón, Minera Aurex, Atacocha, Volcán Compañía Minera y Sociedad Minera El Broncal. La minería, cuya

actividad es la extracción de minerales, tiende a generar daños en el medio ambiente y en la salud de las personas (Gonzáles y Murga, 2020).

3.2.3. Estrategias para Remediar Pasivos Ambientales Mineros

3.2.3.1. Fitorremediación.

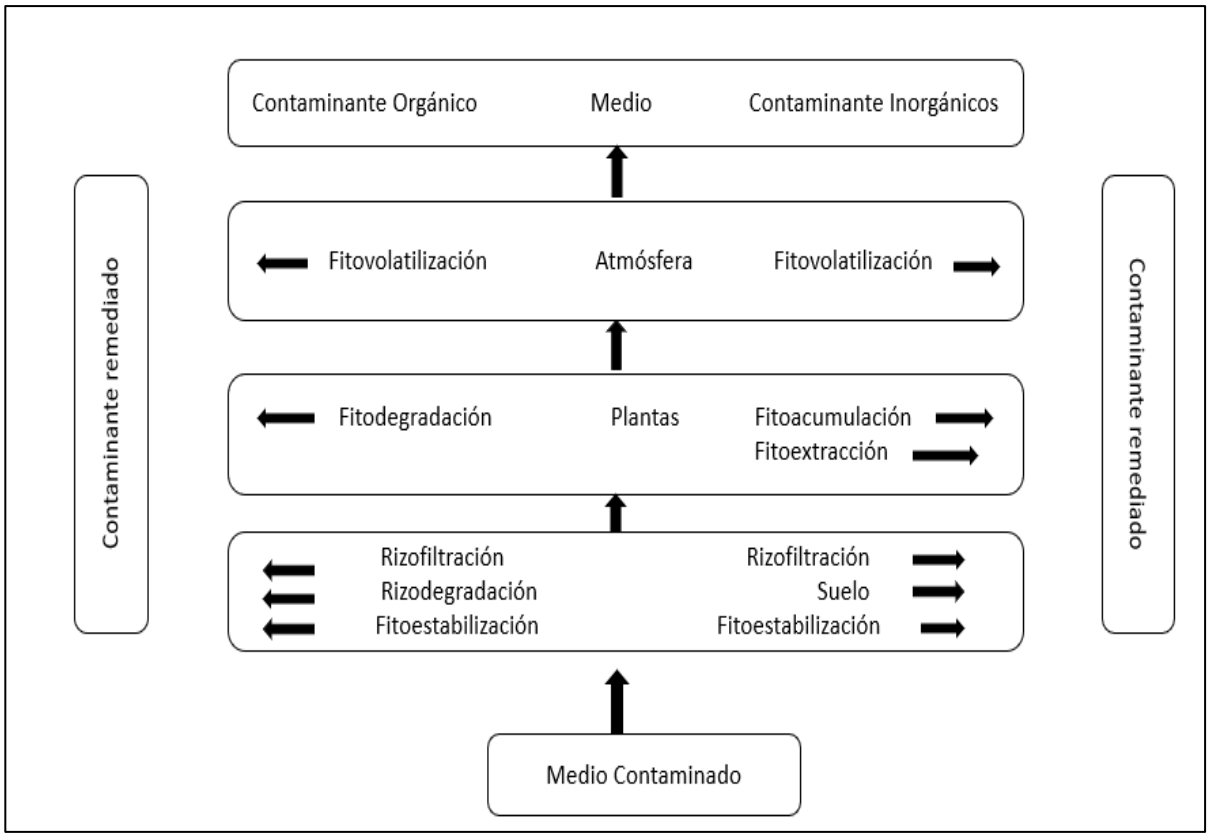
La fitorremediación es considerada como una técnica de tratamiento biológico, que permite la recuperación de suelos y aguas contaminadas mediante la utilización de plantas, para el tratamiento in situ de suelos, sedimentos y aguas contaminadas (Serna, 2021).

> Grison et al., indican que "La fitorremediación es una de las pocas soluciones interesante para la rehabilitación sostenible de suelos degradados o contaminados por metales pesados" (2021, p. 4).

En la Figura 3 se muestra los mecanismos de absorción de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos mediante la tecnología de la fitorremediación. Para los contaminantes orgánicos, implica fitoestabilización, rizodegradación, rizofiltración, fitodegradación y fitovolatilización, y para los contaminantes inorgánicos, los mecanismos que pueden estar involucrados son la fitoestabilización, la rizofiltración, la fitoacumulación y la fitovolatilización (Grison et al., 2021).

Figura 3

Mecanismos involucrados en la tecnología de la fitorremediación



Nota: Grison et al., (2021).

3.2.3.2. Ventajas y Desventajas de la Fitorremediación.

Álvarez (2019) señala que las diferentes técnicas de fitorremedicación, a pesar de ser eficientes, de bajo costo y respetuosas con el ambiente, también presentan numerosas limitaciones e inconvenientes (ver Tabla 4).

Tabla 4

Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Ventajas	Desventajas
- Es de bajo costo, no requiere personal especializado para su manejo ni consumo de energía - Las tecnologías de fitorremediación resultan eficientes aplicadas en	- Las técnicas fitorremediadoras son métodos lentos de descontaminación, puesto que requieren un tiempo de espera para

grandes áreas con niveles medios de contaminación. - Al ser técnicas de descontaminación in situ, no hay que transportar el medio contaminado, evitándose de esta manera la dispersión de los contaminantes por agua o aire. - La aplicación de las tecnologías de fitorremediación permite la recuperación de metales valiosos y agua. - Tiene una versatilidad potencial para tratar una gama diversa de materiales peligrosos. - Las tecnologías fitorremediadoras no consumen energía eléctrica, ni producen emisiones contaminantes de gases de efecto invernadero. - Son tecnologías que preservan suelos, aguas y atmósfera. - Constituyen los métodos de descontaminación de menor impacto ambiental.	el crecimiento de las plantas y microorganismos asociados a estas. - El crecimiento y la sobrevivencia de las plantas empleadas en estas técnicas se ven afectados por el grado de toxicidad de los contaminantes. - La aplicación de las técnicas de fitorremediación puede tener efectos negativos en los ecosistemas donde se implementan, debido a que los metales pesados lleguen a la cadena trófica si no se lleva un control adecuado de la parte cosechable. - No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras. - El suelo el clima pueden no ofrecer las condiciones más adecuadas para la germinación o el crecimiento de las plantas.

Nota: Adaptado de Álvarez (2019).

3.2.3.4. Mecanismos de Fitorremeciación de Suelos Contaminados.

De acuerdo a Grison et al., (2021) varios procesos de fitorremediación son posibles:

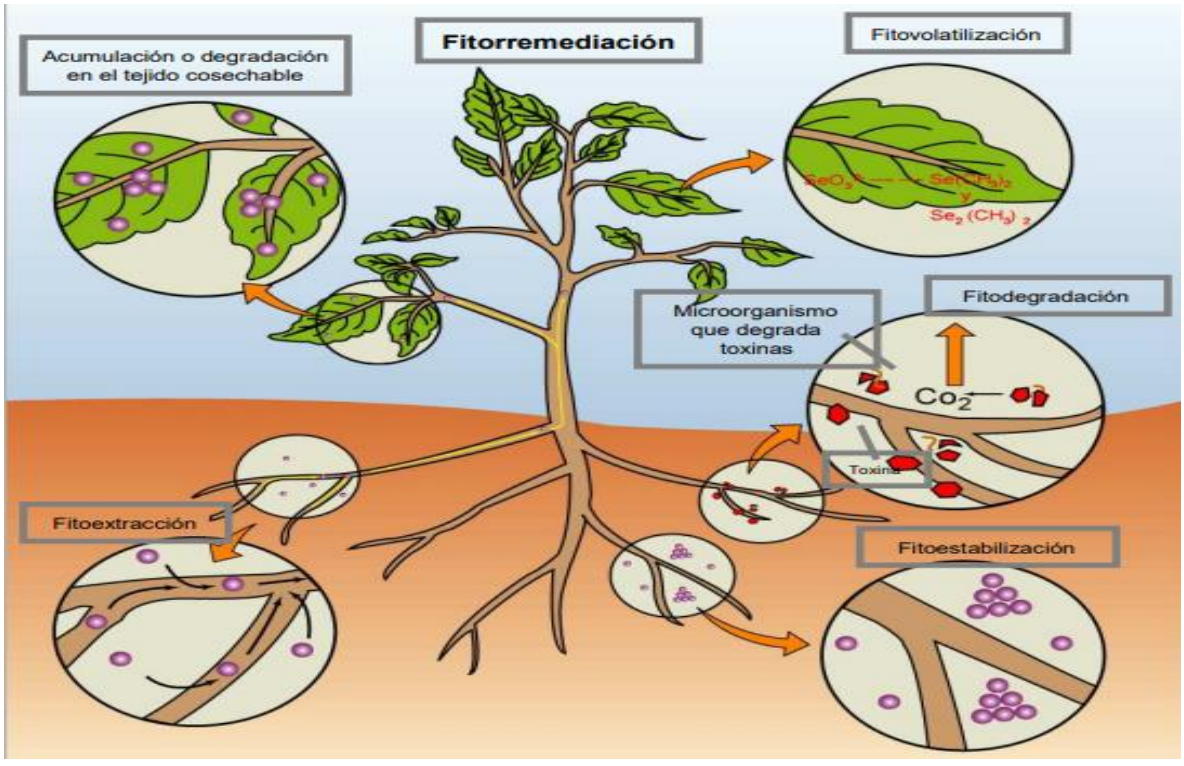
- **Fitoextracción:** los contaminantes son extraídos por las plantas y almacenados en sus tejidos, es decir tallos y hojas (Grison et al., 2021).
- **Fitoestabilización:** consiste en cubrir el suelo con especies vegetales capaces de inmovilizar la contaminación. Los contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas, donde son acumulados en formas inocuas (Montano et al., 2022).

- **Fitoestimulación:** los exudados radiculares favorecen el desarrollo de microorganismos (bacterias y hongos) capaces de biodegradas contaminantes (Grison et al., 2021).
- **Fitodegradación:** es el proceso mediante el cual las plantas toman el contaminante y lo metabolizan transformándolo en un material sin riesgos para el medio natural (Montano et al., 2022).
- **Fitovolatización:** las plantas captan y modifican los contaminantes o compuestos orgánicos y los liberan a la atmósfera con la transpiración (Montano et al., 2022).

En la Figura 4 **s**e muestra los mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados.

Figura 4

Los mecanismos de absorción de metales pesados por planta a través de la tecnología de fitorremediación



Nota: Chrobok, (2022).

3.2.4. Acumulación de Metales Pesados en Plantas Altoandinas.

Gonzáles et al. (2020) indican que más de 700 especies vegetales en el mundo son capaces de acumular en sus tejidos altas cantidades de elementos metálicos (Ni, Cu, Co, Cr, Mn y Zn, entre otros); este proceso fisiológico se ha interpretado como una adaptación de las plantas a los suelos metalíferos donde habitan. Algunas plantas controlan la entrada del metal en la raíz y su transporte a la parte aérea, y otras han desarrollado mecanismos para evitar el efecto nocivo de los iones en las células de las hojas.

Las plantas pueden absorber metales pesados por sus raíces, o incluso por tallos y hojas, y acumularlos, la acumulación depende del elemento metálico específico y la planta, así como la condición ambiental (Álvarez, 2019).

Algunos investigadores han realizado estudios en el Perú para encontrar especies vegetales que puedan acumular metales tóxicos en los tejidos de la raíz y la parte aérea con la finalidad de emplearlas en técnicas de remediación de lugares contaminados (Dextre, 2017).

3.2.5. Factor de Bioconcentración y Factor de Traslocación

La capacidad que tienen las especies vegetales para retener metales en su raíz o acumular metales en la parte aérea (tallo y hoja), son evaluados mediante el factor de bioconcentración (FBC) y factor de traslocación (FT) (Núñez, 2022; Orozco et al., 2021). Según Mujica (2018) dichos factores permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y translocar metales del suelo a la parte aérea.

3.2.5.1. Factor de Bioconcentración (FBC).

Se refiere a la relación entre la concentración de un metal que hay en la planta y su concentración en el suelo; se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales (Montano et al., 2022).

- **Factor de Bioconcentración en la Raíz de la Planta:** Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo (Montano et al., 2022).

$$\text{FBC} = \frac{\text{Concentración de metal}_{\text{parte raíz}}}{\text{Concentración de metal}_{\text{Suelo}}}$$

- **Factor de Bioconcentración en la Parte Aérea de la Planta:** Es la relación entre la concentración de un metal en la parte aérea de la planta (tallos y hojas) respecto a la concentración del mismo metal en el suelo (Montano et al., 2022).

$$\text{FBC} = \frac{\text{Concentración de metal}_{\text{parte aérea}}}{\text{Concentración de metal}_{\text{suelo}}}$$

3.2.5.2. Factor de Traslocación (FT).

Montano et al. (2022) señalan que el FT indica la eficiencia de la planta en la traslocación de los metales pesados acumulados de las raíces a la parte aérea; asimismo, permite identificar plantas que movilizan eficazmente el metal desde su raíz hacia la parte aérea (cuando el valor es mayor a 1). Se calcula de la siguiente manera:

$$FT = \frac{Concentración\ de\ Metal_{Parte\ aérea}}{Concentración\ de\ Metal_{Raíz}}$$

3.2.6. Categorización de plantas en función a su concentración y factores de biococentración y traslocación

a. Concentración de metal en la parte aérea de la planta (Solis, 2020)

- Cd [concentración de metal pesado] > 100 mg/kg Planta acumuladora
- Cu, As y Pb [concentración de metal pesado] > 1000 mg/kg Planta acumuladora
- Zn [concentración de metal pesado] > 10,000 mg/kg Planta acumuladora

b. Factor de Biococentración (FBC) en la raíz y parte aérea de la planta (Montano et al., 2022).

- Si el BCF raíz/parte aérea < 1 la planta es excluyente o fitoestabilizadora
- Si el 1 < BCF raíz/parte aérea > 10 la planta es Fitoacumuladora
- Si el BCF raíz/parte aérea > 10 la planta es hiperacumuladora

c. Si el Factor de Traslocación (FT) > 1 significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Montano et al., 2022), por lo que su potencial es acumulador. Si el Factor de Traslocación <1 significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces (Orozco et al., 2021).

Para evaluar el carácter acumulador de una planta, con respecto a un metal determinado tienen que considerarse ambos factores (FBC y FT), pues las plantas con FBC aéreo y FT mayor que uno tienen el potencial de ser utilizados en la fitoextracción o fitoacumulación. Mientras que las plantas con el FT < 1 tienen el potencial para la fitoestabilización. Además, las plantas hiperacumuladoras deben tener no solo FBC > 1 o FT > 1, si no también elevadas concentraciones de los metales en sus tejidos, cuyos valores umbrales varían dependiendo de uno u otro metal pesado, en función de su fitotoxicidad específica (Orozco et al., 2021).

En la Tabla 5 se muestra parámetros del FBC y FT, los cuales son evaluados para determinar si una especie vegetal utiliza técnicas de fitoextracción y/o fitoestabilización, en el proceso de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados (Núñez; Orozco et al., 2021).

Tabla 5

Parámetros del FBC y FT

Parámetros	Mecanismos de Fitorremediación	
	Fitoextracción/Fitoacumulación	**Fitoestabilizadora**
FBCraíz = Craíz / Csuelo FBCaérea = Caérea/Csuelo	FBCaérea/raíz > 1	FBCaérea/raíz < 1
FT = Caérea / Craíz	FT > 1	FT < 1
Características	Elevada translocación de metales desde la raíz hacia sus hojas y tallos, por lo que la acumulación es eficiente. Mientras que en la raíz no se acumula metales o si lo hace es en bajas cantidades. La planta es acumuladora	Nula o baja la translocación de metales desde la raíz hacia sus hojas y tallos, por lo que la acumulación es deficiente. Mientras que en la raíz inmoviliza o secuestra el metal. La planta es exclusora

Nota: Adaptado a partir de Núñez (2022); Orozco et al. (2021).

3.2.7. Movilización de Metales en Suelo

La movilización de metales pesados en los suelos de yacimientos mineros y su toxicidad ha sido estudiada en numerosas ocasiones durante las últimas décadas, poniendo en evidencia el grave riesgo ambiental asociado (Garcés, 2017).

Cuando los metales pesados ingresan al suelo, sufren procesos físicos, fisicoquímicos, microbiológicos y bioquímicos que los retienen, reducen o degradan. Entre las características más importantes del suelo que afectan el comportamiento de los contaminantes es la mineralogía del suelo y el contenido de arcilla (textura del suelo); la cantidad de materia orgánica del suelo, el pH del suelo, los niveles de humedad y la temperatura (Rodríguez et al., 2019).

3.2.8. Los metales pesados y su comportamiento en el sistema suelo-planta

Covarrubias et al. (2015) señalan que los metales pesados en el suelo pueden acumularse por: meteorización natural del material parental y actividad humana directa, por ejemplo, PAMs. En el suelo, una alta concentración de metales pesados no necesariamente significa un problema de toxicidad, no obstante, las formas químicas de los metales pesados que se

encuentran disponibles resultan tóxicas. La Fracción biodisponible es determinada por las características fisicoquímicas de cada tipo de suelo, así como la afinidad de los iones metálicos por la superficie de adsorción de los componentes del suelo como el humus.

Las plantas pueden absorber cantidades significativas de nutrientes a través del sistema radícula, de la misma manera es posible la incorporación de algunos elementos nutritivos mediante la absorción foliar. Los iones metálicos pesados al ser absorbidos tienen la capacidad de movilizarse a través de toda la planta, dependiendo de las características del metal, así como la especie de la planta y la edad vegetal. Los elementos tienen un movimiento en el interior de la planta de acuerdo a la siguiente relación: Cd>Zn>Cu>Pb (Juárez, 2020).

La problemática derivada de la alta disponibilidad de los metales pesados en el suelo es su acumulación en las plantas, debido al contacto directo del tejido raíz con el suelo contaminado. Una vez dentro de la planta los metales pesados pueden acumularse en su raíz o ser transportados a la parte aérea de la planta (tallo y hojas), donde pueden ser incorporados a la cadena trófica a través de la herbivoria (Covarrubias et al., 2015).

3.2.9. Factores que inciden en el proceso de fitorremedicación

Al considerar la aplicación de cualquier tecnología de fitorremediación, es importan te conocer ciertas características del suelo, debido a que existe la necesidad de utilizar especies vegetales con la capacidad de resistir los factores ambientales de los sitios a tratar, tales como un alto contenido de sales, temperaturas extremas y una baja disponibilidad de agua. Esto es esencial pues los factores antes mencionados condicionan el crecimiento y desarrollo de las plantas al limitar la cantidad de nutrientes que son absorbidos por las raíces, inhibir la actividad fotosintética, así como ocasionar marchitez por deshidratación, situaciones que, dificultan la continuidad y el éxito de los procesos de fitorremediación (Guzmán-Castro et al., 2022).

López y Morales (2022) indica que la fitorremediación de suelos contaminados depende mucho de la biodisponibilidad de metales en el suelo, la unión de los metales en el suelo hace que estos sean insolubles y por tal razón poco disponibles para las plantas, no obstante, muchas plantas han desarrollado mecanismos para solubilizar los metales, creando sustancias solubilizadoras de metales pesados llamadas fitosideróforos.

La fitodisponibilidad de los metales depende de las propiedades del suelo como pH, textura de suelo, materia orgánica, potencial redox, etc. (Singh Kanwar et al., 2020). Otros factores que afectan a la fitorremediación son las especies de plantas, la tasa de crecimiento y la capacidad de sus raíces para remover el contaminante, así como los indicadores geográficos de la zona tales como la altitud, condiciones climáticas, temperatura entre otros (López y Morales, 2022).

3.2.9.1. Factores del Suelo que Afectan la Acumulación de Metales Pesados.

Los principales factores del suelo que afectan la acumulación y disponibilidad de los metales son:

- **pH:** el pH del suelo es uno de los factores más significantes que influencian los elementos traza en solución (López y Morales, 2022). Los suelos pueden tener naturalmente un pH que varíe entre 3,5 y 10; este valor será resultado del material que origina ese suelo y de la intensidad con la que los procesos de formación de suelo (resultantes de la interacción del clima, la biota conformada por la vegetación y organismos del suelo, y el relieve, a lo largo del tiempo) actuaron sobre él (Cremona y Enríquez, 2020).

  La mayor parte de los metales tienen la tendencia de estar disponibles cuando el pH es ácido, ya que, al producirse un descenso de este, se produce una mejora en la solubilidad de los metales lo cual incrementa la capacidad de absorción por las raíces de las plantas (Juarez, 2020), asimismo, los metales son móviles en forma

de especies iónicas libres o como órgano-metales solubles. Dichos metales a pH alcalino forman carbonatos o fosfatos minerales insoluble (Covarrubias et al., 2015).

En la Tabla 6 se muestra la escala de clasificación de los suelos según su pH.

Tabla 6

Escala de clasificación de los suelos según su pH

pH	Clasificación	Efectos
<5	Fuertemente ácido	Condiciones muy desfavorables
5.1 – 6.5	Moderadamente ácido	Deficiente asimilación de algunos elementos
6.6 – 7.3	Neutro	Efectos tóxicos mínimos
7.4 – 8.5	Moderadamente alcalino	Existencia de carbonatos cálcico
>8.5	Fuertemente alcalino	Presencia de carbonato sódico

Nota: Briceño et al. (2020); Instituto Nacional de Innovación Agraria (2023).

- **Materia orgánica:** la materia orgánica del suelo se compone de sustancias húmicas y no húmicas, siendo las sustancias húmicas los compuestos más estables del suelo (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas), el contenido de materia orgánica en el suelo (especialmente el contenido de humus altamente reactivo) es el principal regulador de la adsorción (Rodríguez et al., 2019)

  Suelo con alto contenido de materia orgánica disminuyen la disponibilidad de metales pesados a través de la formación de complejos con las sustancias húmicas presentes en ella, lo cual puede ocasionar que los metales pesados cambien de una forma soluble e intercambiable a una forma insoluble asociada con materia orgánica o con los carbonatos presentes en la fracción residual del suelo (Covarrubias et al., 2015).

  La materia orgánica del suelo ofrece sitios cargados para las reacciones iónicas como estructuras altamente complejas que aumentan los procesos de adsorción (Rodríguez et al., 2019). Asimismo, el contenido de materia orgánica tiene una

relación directa a con el nivel de fertilidad del suelo, porque le proporciona los nutrientes que requieren los cultivos por medio de la descomposición o mineralización (Juarez, 2020).

En la Tabla 7 se muestra la escala de clasificación de los suelos según su materia orgánica.

Tabla 7

Escala de clasificación de suelo según Materia Orgánica

Materia Orgánica %	Clasificación
<0.5	Muy Bajo
0.6 – 1.5	Bajo
1.6 – 3.5	Normal
3.6 - 6	Alto
> 6	Muy alto

Nota: Briceño et al. (2020); Instituto Nacional de Innovación Agraria (2023).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC): La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de cantidad de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas) y representa la cantidad de cationes que las superficies pueden retener (Ca, Mg, Na, K, NH4 etc.), los cuáles serán intercambiados por otros cationes o iones de hidrogeno presentes en la solución del suelo y liberados por las raíces (FAO, 2023).

El nivel de CIC indica la habilidad de suelos a retener cationes, disponibilidad y cantidad de nutrientes a la planta, su pH potencial entre otras. Un suelo con bajo CIC indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (FAO, 2023).

La CIC está directamente relacionada a la capacidad de los suelos de absorber metales pesados, entre mayor sea la capacidad de intercambio catiónico hay mayor cantidad de

espacio para recibir cationes por ello es más fácil la retención de los metales pesados (Hincapié, 2019).

Tabla 8

Escala de clasificación de la Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

CIC (meq/100g)	Clasificación	Efectos
<5	Muy Bajo	Suelo muy pobre
5 – 15	Bajo	Suelo pobre
15 – 25	Normal	Suelo medio
25 – 40	Alto	Suelo rico
> 40	Muy alto	Suelo muy rico

Nota: Instituto Nacional de Innovación Agraria (2023).

- **Textura de suelos:** la textura del suelo está comprendida por pequeñas cantidades específicas de arcilla (0,002 mm de diámetro), limo (0,02 – 0,002 mm) y arena (2 – 0,02) (Juarez, 2020). Es un factor importante en la retención o liberación de elementos traza, el contenido de arcilla y la naturaleza de los minerales de arcilla tienen un fuerte control secundario sobre la adsorción. Investigaciones realizadas en todo el mundo han demostrado que la fracción fina del suelo muestra una mayor tendencia a la adsorción iónica que los suelos de grano grueso (Rodríguez et al., 2019). Asimismo, el tipo de arcilla afecta la CIC y el grado de retención de los cationes metálicos en el suelo (Hincapié, 2019).

  Generalmente los suelos arenosos suelen ser ligeros con poca inercia térmica y con alta penetración radicular, pero de difícil compactación por ser permeables y de gran facilidad de aireación, asimismo, por las características que presenta tiene baja capacidad de fijación de metales pesados, lo cual ocasiona que estos se sedimentes de manera más sencilla a los horizontes subyacentes contaminando así los niveles freáticos (Juarez, 2020).

3.2.10. Caracterización de las Plantas Stipa ichu

La planta *Stipa ichu*, también conocido como icho, paja brava o paja ichu, es un pasto de los andes peruanos, asimismo, están presentes en diferentes países como Venezuela, Bolivia, Colombia, Ecuador, Chile, Argentina, en la sierra de México y Guatemala (Mamani y Pinazo, 2019).

Briones y Estrada (2018) detalla que el *Stipa ichu* es resistente a los vientos del altiplano pues posee una serie de escamas, y su forma aguijonada y dura, así como la técnica de armado permite que se entrecruce efectivamente para el techado. También es utilizada en medicina natural. Asimismo, Santolalla (2016) indica que el *Stipa ichu* es empleado como forraje para el ganado, principalmente camélidos sudamericanos o auquénidos como la llama, la alpaca, la vicuña y el guanaco.

Para Becerra y Villar (2020) el *Stipa ichu* tiene un aspecto particular de las matas es de color pajizo por las láminas secas de los años anteriores. Laminas rectas involutivas, filiformes 1 de 10 - 40 cm de largo. Panícula oblonga, 5 - 40 cm de largo, en el ápice con un mechón de pelos en forma de pupas. La planta *Stipa ichu* es una especie que se adapta fácilmente a los suelos contaminados y muy resistente a los metales pesados ya que siempre se encuentran en suelos metalíferos (Prieto y Fernández, 2020).

Inicialmente la planta *Stipa ichu* fue identificada mediante revisión bibliográfica; asimismo, se corroboró la información del reino, clase, orden, tipo de familia, género y especie de cada planta, tal como se detalla en la Tabla 9.

Tabla 9

Caracterización de la planta Stipa ichu

	Stipa ichu
Autor	Kunth, (1829).
Reino	Plantae
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	Stipa L.
Especie	*Stipa ichu*
Nombre común	ichu

Nota: World Flora Online WFO, (2022).

En el Anexo N° 5 se adjunta constancia de identificación de la planta *Stipa ichu.*

3.2.11. Ruta de Traslocación (Transporte a través del floema)

Las plantas para nutrirse (por fotosíntesis) requiere de agua y los iones minerales que las raíces absorben del suelo. Durante la transpiración (pérdida de agua por las hojas en forma de vapor), las células de las hojas jalan hacia arriba el agua mediante de las traqueidas y vasos de xilema; de esa manera el líquido pasa desde la raíz hasta las hojas a través del tallo. La planta elimina el agua por transpiración principalmente a través de las estomas de la epidermis (Vázquez y Vázquez, 2020).

Las especies vegetales han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, asimismo, algunos metales y metaloides no esenciales para las plantas son absorbidos, traslocados y acumulados en la planta debido a que presentan comportamientos similares a los elementos requeridos. La absorción de metales por las plantas son generalmente el primer paso de su entrada a la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación depende del movimiento de los metales desde la solución suelo a la raíz de la planta, el paso de metales por las membranas de las células corticales de la raíz, el transporte de los metales desde las células corticales al xilema - transporte de raíz a tallos (Vázquez y Vázquez, 2020).

3.3. Marco Conceptual

- **Fitorremediación:** El término fitorremediación hace referencia a uno de los recursos de biorremediación más utilizados que se basa en el uso de plantas y aplica técnicas que combina las disciplinas de microbiología, química del suelo y fisiología de plantas (Montano et al., 2022).
- **Plantas Fitorremediadoras:** Plantas que tienen la capacidad de limpiar los ambientes contaminados. Pueden acumular o transformar sustancias tóxicas que aparecen en el suelo o el agua, ya sea por accidente, por la actividad del hombre o por cuestiones geológicas (Gonzales et al., 2018).
- **Metales pesados:** Según Navarro, Espíritu et al. (2022) los metales pesados son aquellos elementos químicos que tienen una densidad igual o superior a 5 g/cm^3, o cuyo número atómico es superior a 20 (descartando a los metales alcalinos y alcalinotérreos).
- **Plantas altoandinas:** Es cualquier vegetal ubicado en las alturas de la cordillera de los Andes, que taxonómicamente están agrupadas en el reino plantae y como tal constituyen un grupo monofilético eucariota conformado por plantas terrestres y las algas que se relacionan con ellas (Huaranga, 2019).
- **Pasivo Minero:** La denominación pasivo ambiental minero hace referencia a los impactos ambientales generados por la operación minera abandonada con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente. (Castillo et al., 2021).
- **Contaminación de suelo:** Rodriguez et al. (2019) indican que el término contaminación del suelo se refiere a la presencia en el suelo de un químico o una substancia es más alta de la que ocurriría de manera natural pero que no necesariamente causa daño.

CAPÍTULO IV: HIPÓTESIS Y VARIABLES

4.1. Hipótesis

4.1.1. Hipótesis General

Hi: El factor de traslocación y biococentración es mayor a 1 para metales pesados en la planta *Stipa ichu* en el PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco, Pasco.

Ho: El factor de traslocación y biococentración es menor a 1 para metales pesados en la planta *Stipa ichu* en el PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco, Pasco.

4.1.2. Hipótesis Específicas

- **Hi:** La parte aérea de la planta *Stipa ichu* tiene concentración de metales pesados provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco.
- **Hi:** La raíz de la planta *Stipa ichu* tiene concentración de metales pesados provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco.
- **Hi:** El suelo de la planta *Stipa ichu* tiene concentración de metales pesados provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco

4.2. Identificación de Variables

4.2.1. Variable Independiente

Concentración de metales pesados en la Planta *Stipa ichu* que se desarrolla en el PAM de Quiulacocha ubicado en el departamento de Pasco. Esta variable nos permitirá definir la condición bajo la cual se examinará a la variable dependiente.

4.2.2. Variable Dependiente

Factor de Traslocación y Bioconcentración de la planta *Stipa ichu* que se desarrolla en el PAM de Quiulacocha ubicado en el departamento de Pasco. Esta variable es de interés principal, ya que representa el resultado que nos permite clasificar si la planta podrá ser utilizada en la fitorremediación de ambientes contaminados motivo por el cual se realizó el presente estudio.

4.3. Operalización de Variables

Tabla 10

Operacionalización de Variables

	VARIABLE	INDICADOR	METRICA DE INDICADOR	INSTRUMENTO
Variable Independiente	Concentración de Metales pesados en la planta *Stipa ichu* (PAM Quiulacocha) Concentración de metales pesados en suelo	**Parte aérea** [concentración de metal pesado]mg/kg **Raíz** [concentración de metal pesado]mg/kg **Suelo** [concentración de metal pesado]mg/kg	mg/kg	Instrumentos documentarios: Cadena de custodia, Ficha de muestreo, papel Kraft, bolsas de polietileno, GPS, cámara fotográfica, guantes descartables, mascarillas, guardapolvo y Herramientas manuales. Instrumentos mecánicos: Instrumentos utilizados según el laboratorio que realizará el análisis
Variable dependiente	Factor de Traslocación y Bioconcentración de la planta *Stipa ichu* que se desarrolla en el PAM Quiulacocha en el departamento de Pasco	**Parte aérea** Factor de Bioconcentración > 1 Factor de Traslocación > 1	 NA* NA*	 NA* NA*

Nota: Elaboración propia.
*NA: No Aplica

CAPÍTULO V: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

5.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se realizó en el presente trabajo es de tipo básica debido a que se basa en la formulación de hipótesis con el propósito de incrementar el conocimiento científico de los principios fundamentales de la naturaleza o de la realidad (Rebollo y Ábalos, 2022).

Para Cevallos et al. (2017) la investigación básica busca el aumento del conocimiento para responder a preguntas o para que esos conocimientos puedan ser aplicados en otras investigaciones. El propósito de la investigación básica es formular nuevos conocimientos o modificar los principios teóricos ya existentes (Baena, 2014).

5.2. Enfoque de la Investigación

Este trabajo de investigación tiene un enfoque mixto, debido a que combina los enfoques cualitativo y cuantitativo.

Cualitativo, porque se ha realizado observaciones de las características de las plantas altoandinas acumuladoras de metales pesados con el fin de identificarlas para descubrir o afirmar preguntas de investigación en el proceso de interpretación (Hernández et al., 2015).

Cuantitativa, porque se ha recogido, procesado y analizado; datos cuantitativos o numéricos sobre las variables previamente determinadas para dar respuesta a las preguntas. Asimismo, Ramos (2015) menciona que la investigación de tipo cuantitativo utiliza la recopilación de información para poner a prueba o comprobar las hipótesis mediante el uso de estrategias estadísticas basadas en la medición numérica, lo cual permitiría al investigador proponer patrones de comportamiento y probar los diversos fundamentos teóricos que explicarían dichos patrones .Actualmente la investigación cuantitativa suele ser de mayor aplicación, esto en razón de su alto alcance explicativo y predictivo, así como su rigurosa

postura para tener presente el error propio de toda inferencia.

5.3. Diseño de Investigación

El diseño de este trabajo de investigación es no experimental transversal descriptivo debido a que los datos se recolectaron en un tiempo único, sin generar modificaciones en las variables (Hernández et al.,2015). Las muestras fueron recolectadas del PAM de Quiulacocha ubicado en el departamento de Pasco.

Figura 5

Diseño de la investigación Pasco (Quiulacocha)

Seis muestras de la planta nativa ichu (*Stipa ichu*) y su correspondiente suelo de cada Muestra → Metales pesados en el sistema: parte aérea, raíz y suelo

5.4. Paradigma de la Investigación

De acuerdo a Miranda y Ortiz (2020) el paradigma positivista se ubica dentro de la teoría positivista; debido a que plantea la posibilidad de llegar a verdades absolutas en la medida en que se abordan los problemas y se establece una distancia significativa entre el investigador y el objeto de estudio. Por otro lado, Vilches et al. (2020) el paradigma positivismo establece aquello que se debe de observar; el tipo de interrogantes que hay que formular para hallar la respuesta en relación al objetivo.

Este trabajo de investigación tiene como finalidad comprobar una hipótesis mediante la determinación del factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en planta alto andina para suelos provenientes de pasivos mineros en Pasco.

Este trabajo de investigación tiene como finalidad comprobar una hipótesis mediante la determinación del factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en plantas altoandinas para suelos provenientes de pasivos mineros en Pasco y Áncash.

5.5. Área de Estudio

5.5.1. Ubicación Geográfica

En el presente trabajo de investigación se muestreo la planta altoandina *Stipa ichu* que se desarrolla en el PAM ubicado en el departamento de Pasco (PAM Quiulacocha). En la siguiente Tabla 11 se muestra la ubicación del PAM.

Tabla 11

Ubicación del Pasivo Minero Ambiental de Quiulacocha

COORDENADAS UTM		**DISTRITO**	**PROVINCIA**	**DEPARTAMENTO**	**ALTITUD**
NORTE	**ESTE**				
8817786	359285	Simón Bolívar	Pasco	Pasco	4200 msnm

Nota: Elaboración propia

5.5.1.1. Pasivo Minero Quiulacocha.

El Pasivo Minero Quiulacocha se encuentra en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco. En la Figura 6 se muestra el Mapa de ubicación del Pasivo Minero Quiulacocha.

Figura 6

Mapa de Ubicación del Pasivo Minero Quiulacocha

5.5.2. Condiciones Meteorológicas

Para la descripción de los aspectos meteorológicos del área de estudio se ha empleado los datos de la estación meteorológica cerca al PAM de Quiulacocha, la Estación Cerro de Pasco (110037) que se ubica en distrito de Chaupimarca, provincia y departamento de Pasco, se encuentra a 2 km del PAM de Quiulacocha, la estación meteorológica está bajo la administración del SENAMHI y actualmente se encuentra activa. Se consideró información desde el 2017 a setiembre de 2023, en la Tabla 12 se detalla la ubicación de la estación y sus principales características.

Tabla 12

Estación Meteorológica Cerro de Pasco

ESTACIÓN		CERRO DE PASCO	PARÁMETROS
Código		110037	
Latitud		10°41'36.15"	
Longitud		76°15'51.1"	
Coordenadas	Norte	8817640.84	Temperatura (2017-2023)
WGS 84 – UTM	Este	361743.25	Humedad Relativa (2017-2023)
Zona		18 S	Precipitación (2017-2023)
Altitud		4357 msnm	
Departamento		Pasco	
Provincia		Pasco	
Distrito		Chaupimarca	

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI.

En la Figura 7 se visualiza la ubicación de la estación meteorológica y los puntos de muestreo en el PAM de Quiulacocha.

Figura 7

Ubicación de la Estación Meteorológica Cerro de Pasco

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, Mapa Base Google Earth.

5.5.2.1. Temperatura

Para la caracterización de la temperatura del área de estudio se empleó valores promedios mensuales de un rango de siete años, desde el 2017 hasta setiembre de 2023.

En la Tabla 13 se puede apreciar que el promedio de la temperatura máxima desde 2017 al 2023 varía de 11°C a 11.6°C, presentando la temperatura más elevada en el mes de agosto de 2020 con 13.1 °C, mientras que la temperatura más baja en marzo de 2017 con 9.9°C.

Tabla 13

Temperaturas máximas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023)

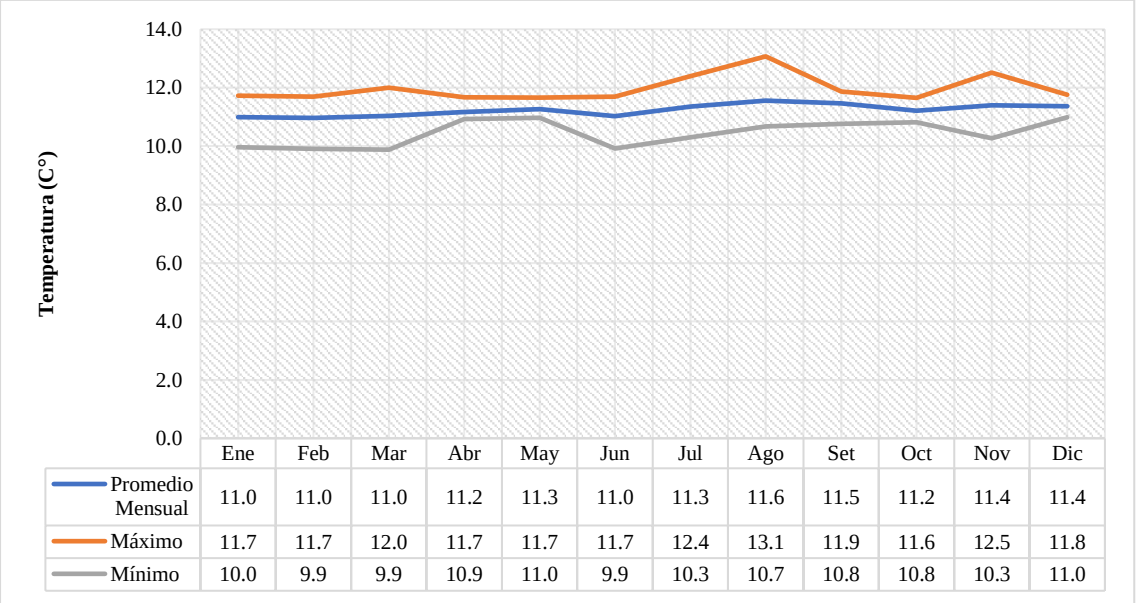
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
2017	10.0	9.9	9.9	*	*	9.9	10.3	10.7	10.8	11.0	11.0	11.0	10.4
2018	10.9	11.0	11.0	10.9	11.0	10.9	10.9	10.9	11.7	10.8	12.5	11.4	11.2
2019	10.8	10.8	10.8	11.1	11.3	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	11.2
2020	11.4	11.4	12.0	*	*	*	12.4	13.1	*	*	*	*	12.1
2021	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	10.3	11.3	10.8
2022	11.2	11.0	10.9	11.0	11.2	11.2	11.4	11.4	11.5	11.6	11.8	11.8	11.4
2023	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.8	11.8	11.9	*	*	*	11.7
Promedio Mensual	11.0	11.0	11.0	11.2	11.3	11.0	11.3	11.6	11.5	11.2	11.4	11.4	11.26
Máximo	11.7	11.7	12.0	11.7	11.7	11.7	12.4	**13.1**	11.9	11.6	12.5	11.8	12.06
Mínimo	10.0	9.9	**9.9**	10.9	11.0	9.9	10.3	10.7	10.8	10.8	10.3	11.0	10.43

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
(*) No hay información en este periodo.

En la *Figura 8* se observa que durante los meses de julio, agosto y noviembre se registraron las temperaturas máximas en la estación meteorológica de Cerro de Pasco.

Figura 8

Temperaturas Máximas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023)



Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

En la Tabla 14 se puede apreciar el promedio de la temperatura mínima desde 2017 al 2023 varía de -0.1°C a 1.5°C, presentando la temperatura más baja en agosto de 2020 con -2.3°C, mientras que la temperatura mínima más elevada en marzo de 2020 con 2.5°C.

Tabla 14

Temperaturas mínimas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023)

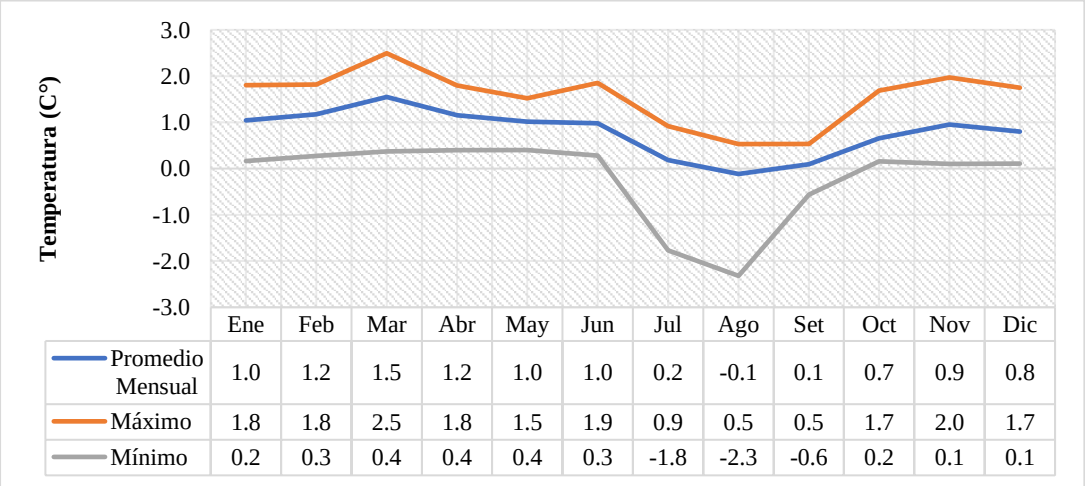
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
2017	1.8	1.8	1.9	*	*	1.9	0.9	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	1.1
2018	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.5	-0.6	1.7	2.0	0.9	0.8
2019	1.4	1.7	1.9	1.8	1.5	1.1	0.7	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8
2020	0.6	0.8	2.5	*	*	*	-1.8	-2.3	*	*	*	*	0.0
2021	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1.7	1.7	1.7
2022	1.6	1.6	1.7	1.5	1.3	0.9	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.7
2023	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	*	*	*	0.2
Promedio Mensual	1.0	1.2	1.5	1.2	1.0	1.0	0.2	-0.1	0.1	0.7	0.9	0.8	0.77
Máximo	1.8	1.8	**2.5**	1.8	1.5	1.9	0.9	0.5	0.5	1.7	2.0	1.7	1.71
Mínimo	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	-1.8	**-2.3**	-0.6	0.2	0.1	0.1	-0.05

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
(*) No hay información en este periodo.

En la Figura 9 se observa que durante los meses de julio, agosto y setiembre se registraron las temperaturas mínimas en la estación meteorológica de Cerro de Pasco.

Figura 9

Temperaturas Mínimas de la Estación de Cerro de Pasco (2017-2023)



Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

5.5.2.2 Humedad Relativa

Según Tejeda-Martinez (2018) la Humedad Relativa del aire hace referencia a la proporción de presión de vapor de agua en un momento dado en relación a la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad a la misma temperatura, llegando a un punto de saturación en la cifra del 100%. Depende de factores como la proximidad al mar y de la temperatura (disminuye cuando aumenta la temperatura).

En la estación meteorológica Cerro de Pasco se registró una humedad relativa promedio de 84.78% durante el periodo 2017 a setiembre de 2023. Asimismo, los promedios mensuales oscilaron entre 83.5% (setiembre) y 85.1% (marzo). El resumen de los registros de humedad relativa se presenta en la Tabla 15.

Tabla 15

Humedad Relativa Mensual (%) de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023)

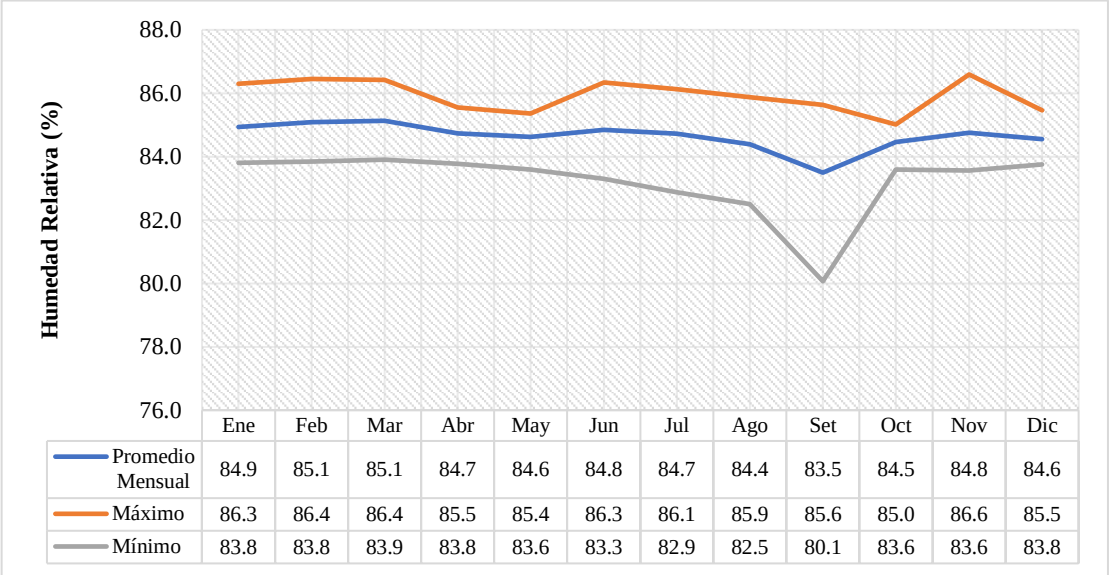
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Promedio Anual
2017	86.30	86.45	86.42	*	*	86.34	86.13	85.88	85.63	85.01	84.84	84.77	85.78
2018	84.87	84.86	84.89	84.81	84.69	84.33	83.87	83.55	80.07	83.60	83.56	83.75	83.73
2019	84.25	84.76	84.91	84.82	84.83	84.87	84.99	85.02	85.03	85.01	84.96	84.97	84.88
2020	84.96	84.99	84.94	*	*	*	85.42	84.53	*	*	*	*	84.97
2021	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	86.59	85.46	86.03
2022	85.44	85.62	85.73	85.55	85.36	85.38	85.09	84.87	84.52	84.22	83.83	83.79	84.85
2023	83.80	83.84	83.90	83.78	83.59	83.30	82.88	82.50	82.22	*	*	*	83.21
Promedio Mensual	84.9	85.1	**85.1**	84.7	84.6	84.8	84.7	84.4	**83.5**	84.5	84.8	84.6	84.78
Máximo	86.3	86.4	86.4	85.5	85.4	86.3	86.1	85.9	85.6	85.0	86.6	85.5	86.03
Mínimo	83.8	83.8	83.9	83.8	83.6	83.3	82.9	82.5	80.1	83.6	83.6	83.8	83.21

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)
(*) No hay información en este periodo.

Se observa que los valores menores de humedad coinciden con la temporada seca y con los meses más fríos. Esta situación se revierte durante los meses más cálidos, la cual coincide con la temporada húmeda (Ver Figura 10).

Figura 10

Humedad Relativa Mensual (%) de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023)



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Promedio Mensual	84.9	85.1	85.1	84.7	84.6	84.8	84.7	84.4	83.5	84.5	84.8	84.6
Máximo	86.3	86.4	86.4	85.5	85.4	86.3	86.1	85.9	85.6	85.0	86.6	85.5
Mínimo	83.8	83.8	83.9	83.8	83.6	83.3	82.9	82.5	80.1	83.6	83.6	83.8

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

5.5.2.3 Precipitación:

La estación meteorológica de Cerro de Pasco cuenta con registros de precipitación total mensual para el periodo 2017 a setiembre de 2023, los cuales se muestra en la Tabla 16 Considerando la información se puede observar que el valor promedio de precipitación anual es de 1230.42 mm; el mes con mayor precipitación fue febrero, con un valor promedio de 227 mm, mientras que en agosto se registró el menor valor promedio de precipitación, con un valor de 16.4 mm (ver Nota: Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

(*) No hay información en este periodo.

Figura 11).

Tabla 16

Precipitación promedio acumulada de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023)

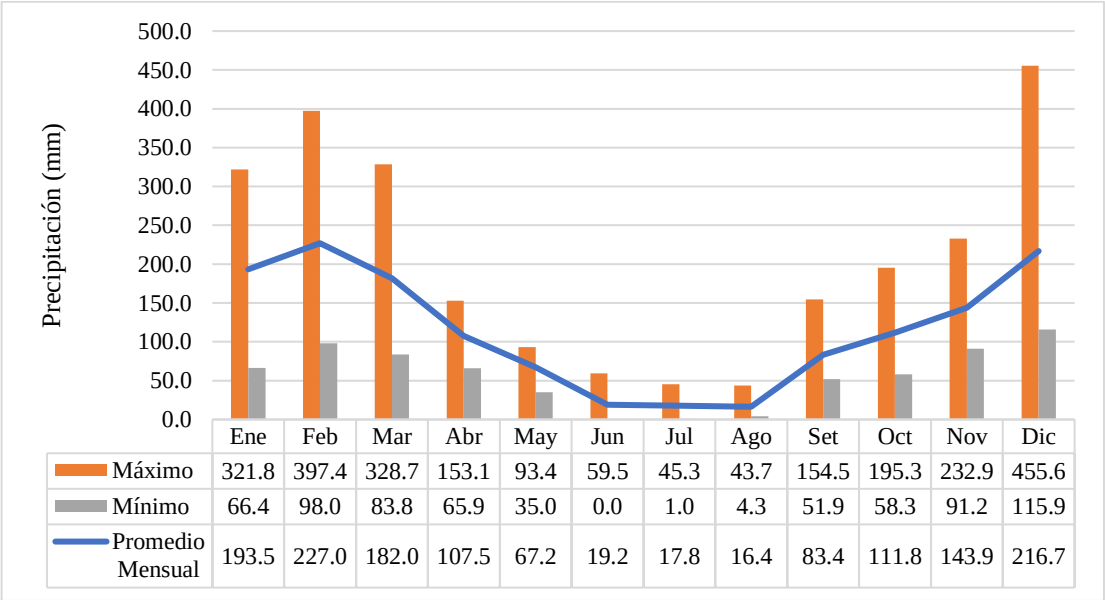
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total Anual

2017	160.30	180.20	132.20	*	*	0.00	7.70	4.30	57.10	58.30	122.00	115.90	838.00
2018	139.30	98.00	118.30	82.80	35.00	15.70	16.70	19.50	93.00	195.30	112.20	222.60	1148.40
2019	321.80	320.60	328.70	153.10	73.30	10.00	21.80	9.70	51.90	125.70	161.10	455.60	2033.30
2020	215.70	232.10	83.80	*	*	*	45.30	8.00	*	*	*	*	584.90
2021	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	232.90	126.20	359.10
2022	257.20	397.40	303.30	128.20	93.40	59.50	14.00	43.70	154.50	67.80	91.20	163.10	1773.30
2023	66.40	133.50	125.70	65.90	67.00	10.60	1.00	13.20	60.70	*	*	*	544.00
Promedio Mensual	193.5	**227.0**	182.0	107.5	67.2	19.2	17.8	**16.4**	83.4	111.8	143.9	216.7	1230.42
Máximo	321.8	397.4	328.7	153.1	93.4	59.5	45.3	43.7	154.5	195.3	232.9	455.6	2033.30
Mínimo	66.4	98.0	83.8	65.9	35.0	0.0	1.0	4.3	51.9	58.3	91.2	115.9	359.10

Nota: Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).
(*) No hay información en este periodo.

Figura 11

Precipitación Promedio Acumulada de la Estación Cerro de Pasco (2017-2023)



	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Máximo	321.8	397.4	328.7	153.1	93.4	59.5	45.3	43.7	154.5	195.3	232.9	455.6
Mínimo	66.4	98.0	83.8	65.9	35.0	0.0	1.0	4.3	51.9	58.3	91.2	115.9
Promedio Mensual	193.5	227.0	182.0	107.5	67.2	19.2	17.8	16.4	83.4	111.8	143.9	216.7

Nota: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

5.6.3. Caracterización del Suelo del PAM de Quiulacocha

Se analizó el pH, la materia orgánica (MO), la Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) y la textura de suelo (ver Tabla 17).

Tabla 17

Caracterización del suelo del PAM de Quiulacocha

Parámetro	Unidad	Resultado	Clasificación
pH	Unid. pH	2.13	Fuertemente ácido (Condiciones muy desfavorables)
Materia Orgánica	%	2.56	Medio
Capacidad de Intercambio Catiónico	meq/100g	5.49	Bajo (Suelo Pobre)
Análisis de textura			
Arena	%	51.64	-
Limo	%	27.28	-
Arcilla	%	21.08	-
Clase textural		Franco Arcillosa Arenosa	-

Nota: Informe - Instituto Nacional de Innovación Agraria (2023).

5.6. Población y Muestra

5.6.1. Población

En el presente trabajo de investigación la población está conformado por todas las especies vegetales y sus respectivos suelos que se desarrollan en el PAM de Quiulacocha ubicado en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco.

5.6.2. Muestra

Las muestras recolectadas son:

- Especie vegetal y su respectivo suelo: *Stipa ichu*, el cual se recolectó del PAM de Quiulacocha ubicado en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco.

5.7. Determinación de los Metales Pesados a ser analizados según su significancia y toxicidad

Los metales pesados son aquellos cuya densidad es igual o mayor a 5 g/cm^3 o que tienen un número atómico por encima de 20; los más importantes son: cadmio, plomo, zinc, cobalto, cromo, mercurio, etc. (Huerta, 2022).

Existen elementos como los metaloides, los cuales son considerados como metales pesados debido a sus efectos tóxicos, por ejemplo, el arsénico; aunque sus propiedades químicas son intermedias entre metales y no metales (Muro, 2020)

La muestra de suelo y tejido vegetal del PAM Quiulacocha fue analizado por un laboratorio acreditado. Los 28 elementos que fueron evaluados se muestran en la Tabla 18; de los cuales 17 elementos son metales pesados, 7 elementos son metales pesados esenciales y 17 elementos son contaminantes; sin embargo, algunos elementos no fueron detectados o se encontraron en bajas concentraciones.

Tabla 18

Determinación de metales pesados a ser analizados según su significancia y toxicidad

Elemento	Densidad (g/cm^3)	Masa Atómica (g/mol)	Número atómico	Metal pesado	Metal pesado esencial	Contaminante vegetal/animal	Elemento detectado en el estudio
Aluminio (Al)	2.70	26.98	13	No	-	Si	Si
Antimonio (Sb)	6.67	121.76	51	Si	No	Si	No
Arsénico (As)	**5.72**	**74.92**	**33**	**Si[d]**	**No**	**Si**	**Si**
Bario (Ba)	3.50	137.34	56	No	-	-	Si
Berilio (Be)	1.85	9.01	4	No	-	-	Si
Cadmio (Cd)	**8.65**	**112.40**	**48**	**Si**	**No**	**Si**	**Si**
Cobalto (Co)	8.90	58.93	27	Si	Si	Si	Si[a]
Cobre (Cu)	**8.96**	**63.54**	**29**	**Si**	**Si**	**Si**	**Si**
Cromo (Cr)	7.19	52	24	Si	No	Si	Si[b]
Estroncio (Sr)	2.60	87.62	38	No	-	-	Si
Fósforo (P)	1.82	30.97	15	No	-	-	Si
Hierro (Fe)	7.86	55.85	26	Si	Si	Si	Si
Litio (Li)	0.53	6.94	3	No	-	-	Si
Magnesio (Mg)	1.74	24.31	12	No	-	-	Si
Manganeso (Mn)	7.43	54.94	25	Si	Si	-	Si
Mercurio (Hg)	13.69	200,59	80	Si	-	Si	No

Molibdeno (Mo)	10.20	95.94	42	Si	Si	Si	No
Níquel (Ni)	8.90	58.71	28	Si	Si	Si	Si[c]
Plata (Ag)	10.49	107,87	47	Si	-	Si	No
Plomo (Pb)	**11.30**	**207,2**	**82**	**Si**	**No**	**Si**	**Si**
Potasio (K)	0.97	39.10	19	No	-	-	Si
Selenio (Se)	4.79	78.96	34	No	-	-	No
Sodio (Na)	0.97	22.99	11	No	-	-	Si
Talio (Tl)	11.85	204.37	81	Si	-	Si	No
Torio (Th)	11.32	232	90	Si	-	Si	No
Uranio (U)	19.05	238.03	92	Si	-	Si	No
Vanadio (V)	4.51	50.94	23	No	-	-	No
Zinc (Zn)	**7.14**	**65.37**	**30**	**Si**	**Si**	**Si**	**Si**

Nota: elaborado a partir Rodriguez, McLaughlin, y Pennock (2019)

[a]El Co se detectó en el PAM Quiulacocha (solo en dos muestras de raíz: R02 Y R03)

[b]El Cr no se detectó en muestras de suelo

[c]El Ni se detectó en PAM Quiulacocha (solo en las tres muestras de raíz; R01, R02 Y R03).

[d]Metaloide

Según Aguirre et al. (2022) algunos metales pesados como el K, Cu, Ca, Zn y Mn son fundamentales para el desarrollo y el metabolismo microbiano y son requeridos en bajas concentraciones, mientras que el Na es un elemento benéfico solo para algunas plantas; no obstante, otros como el Pb, As, Ag, Hg y Cd no son necesarios, por lo tanto, son elementos muy tóxicos y fácilmente disponibles en suelos, en concentraciones que exceden los valores de toxicidad.

Los metales pesados, ya sean esenciales o no, pueden llegar a ser tóxicos cuando su aporte es excesivo, afectando negativamente el desarrollo y reproducción de los organismos, pudiendo incluso causar la muerte, reduciendo la diversidad de las poblaciones de flora, e incrementando los procesos erosivos (Fernandez, et al., 2022).

En el presente trabajo de investigación se realizó el análisis de la concentración de los siguientes 5 elementos, debido a su significancia y toxicidad (Ver Tabla 18).

- **Arsénico (As):** el As es un elemento que se encuentra ampliamente distribuido en todo el mundo. Las especies arsenicales varían en su grado de toxicidad, siendo los

compuestos inorgánicos más tóxicos que los orgánicos, y los compuestos trivalentes más tóxicos que los pentavalentes (Medina-Pizzali et al., 2018).

El arsénico existe en cuatro estados de oxidación: -3, 0, +3 y +5; la mayoría de los compuestos arsenicales en organismos y en alimentos están en el estado de oxidación pentavalente ((Medina-Pizzali et al., 2018). Aunque su forma tóxica no suele encontrarse en el suelo ($As^{3+),}$ el As es un elemento potencialmente dañino para las plantas (Álvarez, 2019).

- **Cadmio (Cd):** El cadmio también se presenta como subtítulo del calcio en la apatita y la calcita, pudiendo aumentar sus impurezas en los fertilizantes fosforados. El cadmio puede ser absorbido por las plantas como Cd2+, pudiéndose encontrar en aquellas hortalizas como lechuga, espinacas y apio, que finalmente son consumidas por el hombre (Fernandez, 2019)

  Para Valles (2012) el Cadmio puede ser encontrado mayoritariamente en la corteza terrestre. Este siempre ocurre en combinación con el Zinc; es un inevitable subproducto en las industrias de extracción de Zinc, plomo y cobre. Este entra en el ambiente mayormente a través del suelo, debido a que se encuentra en estiércoles y pesticidas. El cadmio tiene los siguientes usos: baterías (83%), pigmentos (8%), recubrimientos electrolíticos (7%), estabilizadores de plásticos (1.2%), aleaciones sin fierro, instrumentos fotovoltaicos y otros usos (0.8%).

  El comportamiento del cadmio incorporado al suelo; está en función del tipo de reacción química y en los diversos procesos físicos y biológicos que ocurren en el suelo. Las principales reacciones involucradas en las interacciones entre los metales y los componentes del suelo son las de adsorción, precipitación y formación de complejos (Fernandez, 2019).

- **Cobre (Cu):** el Cu es un micronutriente que se encuentra en el suelo principalmente en la forma de Cu+2, donde las plantas lo absorben como tal, habiendo en mayor cantidad en rocas ígneas que en rocas silicatadas (Rolón et al., 2022; Criado et al., 2018).
- **Plomo (Pb):** en el suelo, el Pb se encuentra, generalmente, en forma iónica, óxidos e hidróxidos. Su movilidad en el suelo es limitada, por lo que se acumula en la parte superficial. Dicha movilidad depende del contenido de materia orgánica, la CIC, entre otras características del suelo. Al reaccionar el Pb puede formar compuestos insolubles en forma de fosfatos, carbonatos e hidróxidos de plomo, El plomo es obtenido generalmente de la galena (PbS) y la anglesita (PbSO4) (Sarmiento-Sarmiento y Febres-Flores, 2021).

  En el suelo el Pb tiene una gran afinidad con las sustancias húmicas y el pH; y depende de ellos para fijarse, pero debido a que es poco móvil permanece en los horizontes superiores y no es asimilado en grandes cantidades por las plantas; y la distribución del Pb en suelos minerales tiene una correlación positiva con la fracción granulométrica fina, y al aumentar la cantidad de arcilla se incrementan los valores de Pb en el suelo. Asimismo, el Pb^{+2} tiene características geoquímicas similares a los metales alcalinotérreos divalentes, por lo que puede sustituir fácilmente al K, Ba, Sr y Ca, como también a minerales en sitios de adsorción (Hincapié, 2019).
- **Zinc (Zn):** el Zn es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre y suele aparecer en las formas químicas $Zn^{2+,}$ Zn^{0} y Zn^{1+} (Álvarez, 2019).

  El Zn se encuentra en el suelo bajo formas químicas diferentes: solubles en el agua, complejado, cambiable, extraíble de posiciones no cambiables, precipitado, en organismos y restos orgánicos y constituyendo minerales primarios o secundarios (Vilcapoma, 2019).

Álvarez señala:

> "Que las concentraciones de Zn en el aire, agua y suelo están aumentando, debido a actividades humanas como la minería, su disponibilidad se ve reducida a pH básicos, siendo adsorbido por constituyentes orgánicos, minerales de arcilla y óxidos metálicos en formas hidrolizadas de Zn. Su disponibilidad aumenta con la acidez y en condiciones oxidantes (2019, p.13).

5.8. Plan de Relaciones Comunitarias

5.8.1. Consideraciones Generales

Es necesario que el personal, responsables de la supervisión de relaciones comunitarias que labora en las actividades del plan de remediación del PAM de Quiulacocha lleve a cabo reuniones periódicas con las comunidades para lograr su identificación con comuneros y líderes que permita determinar y priorizar las necesidades de la sostenibilidad del proyecto.

La información que se transmita a los líderes y pobladores de las comunidades sobre el desarrollo de las actividades de remediación deberá de ser oportuna, veraz y objetiva. El comunicarse con los líderes y pobladores de las comunidades generalmente es una forma importante de comprometerlos con el desarrollo de los proyectos y de su comunidad, así como también en el manejo de quejas.

El personal debe de contar con buena condición física para realizar trabajos en zonas de altura y capacidad para trabajar e interrelacionarse con pobladores y comunidades aledañas.

5.8.2. Planificación de Actividades de Relaciones Comunitarias

a) El especialista de relaciones comunitarias emite informes semanales sobre las actividades realizadas y los resultados obtenidos de la gestión social del proyecto de fitorremediación.
b) El supervisor de relaciones comunitarias emite un informe mensual sobre las actividades realizadas y los resultados obtenidos de la gestión social de la empresa, dirigido a la gerencia de operaciones.
c) El supervisor de relaciones comunitarias emite un informe anual sobre la evaluación del Plan de Relaciones Comunitarias, en el que se describen las actividades realizadas y los resultados obtenidos de la gestión social, dirigido a la gerencia de operaciones.
d) La gerencia de operaciones, en coordinación con el supervisor de relaciones comunitarias, define as acciones necesarias para la mejora de la gestión social en los proyectos.
e) El supervisor de las relaciones, en coordinación con el especialista de relaciones comunitarias elabora el Programa de capacitación dirigido al personal del proyecto de fitorremediación y pobladores de comunidades aledañas.

5.8.3. Actividades Antes de Iniciar Actividades de Fitorremediación

a) El especialista de relaciones comunitarias evalúa y diagnostica la situación social en la zona de influencia del proyecto con la finalidad de conocer el escenario social que afectaría la ejecución y la sostenibilidad del proyecto.
b) El supervisor de relaciones comunitarias, en coordinación con el especialista de relaciones comunitarias, define las acciones necesarias para la mejora de la gestión social en los proyectos de la empresa, dirigido a la gerencia de operaciones.
c) El especialista de relaciones comunitarias se contacta con los líderes de las comunidades y las autoridades regionales y locales de la zona de influencia del

proyecto, con la finalidad de dar a conocer la misión, los objetivos y los alcances del proyecto de fitorremediación del PAM de Quiulacocha que se desarrollará en la localidad.

d) El especialista de relaciones comunitarias identifica posiciones e intereses de los líderes de las comunidades, las autoridades regionales y locales, y los actores sociales frente al tema socio-ambiental (opuesta/favorable) en la zona de la influencia del proyecto.

e) El especialista de relaciones comunitarias presta atención a las inquietudes y los problemas que manifiesta los líderes y pobladores de las comunidades, las autoridades regionales y locales, los actores sociales, y sus posibles causas, que podrían ser originados por situaciones políticas, ambientales, sociales, desastres naturales, proveedores y contratistas.

f) El supervisor de relaciones comunitarias, en coordinación con el especialista de relaciones comunitarias, define las acciones necesarias de gestión social en la zona de influencia del proyecto de fitorremediación.

g) El supervisor de las relaciones, en coordinación con el especialista de relaciones comunitarias implementa el Programa de capacitación dirigido al personal del proyecto de fitorremediación y pobladores de comunidades aledañas.

5.8.4. Actividades Durante el Desarrollo del Proyecto

a) El especialista de relaciones comunitarias ejecuta las acciones necesarias para la implementación de la estrategia de intervención social e informa al supervisor de relaciones comunitarias, considerando los siguientes aspectos:

- Reuniones informativas en las comunidades sobre el desarrollo del proyecto (objetivos, avances y resultados).
- Reuniones con los líderes de las comunidades y las autoridades regionales y locales:

- Se realiza el seguimiento al cumplimiento de los acuerdos establecidos en las actas de reunión.
- Los acuerdos no ejecutados en los plazos pactados deben reprogramarse a la brevedad posible de manera documentada, así como debe de hacerse el seguimiento hasta su cumplimiento.

- Recepción, evaluación y atención de las cartas de solicitudes de apoyo social o quejas presentadas por los líderes de las comunidades y las autoridades regionales y locales.
- Atención a las inquietudes, los problemas y/o quejas que manifiestan los líderes y pobladores de las comunidades y las autoridades regionales y locales; de presentarse estos casos, el especialista de relaciones comunitarias, quién define las acciones necesarias de gestión social.

5.8.5. Actividades Después del Desarrollo del Proyecto

a) El especialista de relaciones comunitarias continúa con la ejecución de la estrategia de intervención social, manteniendo las relaciones que permitan la convivencia armoniosa con las comunidades e informa al supervisor de relaciones comunitarias, considerando los siguientes aspectos:

- Reuniones informativas en las comunidades sobre las actividades post término del proyecto de fitorremediación.
- Reuniones con los líderes de las comunidades y las autoridades regionales y locales.
- Recepción, evaluación y atención de las cartas de solicitudes de apoyo social o quejas presentadas por los líderes de las comunidades y las autoridades regionales y locales, en caso que sean procedentes.
- Atención a las inquietudes, los problemas y/o quejas que manifiestan los líderes y pobladores de las comunidades y las autoridades regionales y locales.

5.8.6. Programa de Capacitación y Educación Ambiental

La capacitación del personal que labora en las actividades del plan de remediación y los pobladores de comunidades aledañas al PAM de Quiulacocha es uno de los aspectos fundamentales, ya que es considerado como instrumento de prevención de impactos muy eficaz.

En el Anexo N° 6 se detalla el Programa de Capacitación.

5.9. Tratamiento de la Planta *Stipa ichu* Después de la Actividad de Fitorremediación

Al plantear como el tratamiento del PAM de Quiulacocha con la planta *Stipa ichu*, también se tiene que evaluar la disposición final de esta planta al ser usado como tecnología limpia que minimice el impacto medioambiental, el cual podría ser:

- **Disposición final en un Relleno Sanitario:** en caso que la planta presente alto contenido de metales pesados, se dispone como residuo peligroso en un relleno sanitario que se encuentra en el centro poblado de Villa de Pasco Tinyahuarco- Pasco.
- **Uso de la planta para techado de viviendas**, verificando que porcentaje de metales pesados existe en la parte aérea.

CAPÍTULO VI: PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE ANÁLISIS

6.1. Técnicas y Caracterización de Datos

6.1.1. Técnica para la Recolección de Datos

Los instrumentos que se utilizaron para la recolección de datos se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19

Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos

TÉCNICA	MATERIALES
Muestreo de suelo y planta	**Materiales de Campo:** - Lampa - Pico - Barreta - Tijeras - Mascarillas - Guantes de Nitrilo - Cámara fotográfica - Termo conservador - Bolsas ziplot - Cinta de embalaje - Bolsa Triplast - Guardapolvo - Cadena de custodia - Cuaderno de apuntes - Aplicación “Mis coordenadas” - Lapiceros **Materiales de Gabinete:** - Revistas, libros, tesis, etc. - Materiales de escritorio

6.1.2. Técnica para el Análisis e Interpretación de Datos

Las técnicas para el procesamiento de datos se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20

Técnicas del procesamiento y análisis de datos

Etapa	Técnica	Elemento
Ensayo en laboratorio Tejido Vegetal	EPA Method 200.3 Rev.1.0 1991 / EPA Method 200.7	Concentración de Metales Pesados (As, Cd, Cu, Pb y Zn)
Ensayo en laboratorio Suelo	EPA METHOD 6020B, Rev2, 2014 / EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996 / EPA METHOD 6020B, Rev.2, 2014 / EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996. VALIDATED (Applied out of reach), 2020.	Concentración de Metales Pesados (As, Cd, Cu, Pb y Zn)
Análisis e interpretación de resultados	El análisis de datos se llevó a cabo utilizando Microsoft Excel, tanto para el cálculo de los índices de valoración de tolerancia (FBC y FT) y para los cálculos estadísticos descriptivos.	-

6.2. Procedimientos de Recolección de Datos

6.2.1. Muestreo de Suelo y Planta

El muestreo de campo fue NO PROBABILÍSTICO también conocido como muestreo no aleatorio, este muestreo es la técnica donde los elementos son elegidos a juicio del investigador (Parra y Vázquez, 2017). El tipo de muestreo no probabilístico que se realizó fue de selección experta, para Barrera (2021) este tipo de muestreo también es llamado como muestreo de juicio representada por muestras en porciones. Sus principales ventajas son la facilidad de realización y sus bajos costos (Porras, 2014).

6.2.1.1. Muestreo de Suelo.

Para el muestreo de suelo se consideró la técnica mediante hoyos para la toma de muestras superficiales de acuerdo a la Guía para el Muestreo de Suelos (MINAM, 2014).

En este tipo de muestras superficiales es permisible tomar muestras compuestas. Las muestras de suelos, son los suelos que están en contacto directo con las raíces de la planta, y fueron recogidas a una profundidad entre 0 y 30 cm, tal como lo realizó Solís (2020). Las muestras de suelo fueron recolectadas en seis puntos diferentes (suelo correspondiente a la planta), en cada punto se procedió a realizar el cuarteo para obtener una cantidad representativa según la Guía de muestreo de suelos (MINAM, 2014). Posteriormente se mezcló las muestras y nuevamente se realizó el cuarteo obteniendo una cantidad representativa de muestra, de acuerdo a lo solicitado por el laboratorio.

a. Envasado e identificación de la muestra de suelo

La muestra fue envasada en bolsa plástica Ziplot de boca ancha con cierre hermético, el cual fue colocada en un termo conservador proporcionado por el laboratorio. La muestra fue etiquetada en un lugar visible con la siguiente información: Punto de muestreo, código de la muestra, tipo de muestra, lugar, fecha, hora; tal como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Modelo de Etiquetado de la Muestra de Suelo

CÓDIGO DE LA MUESTRA:	
TIPO DE MUESTRA:	
LUGAR:	
FECHA:	**HORA:**

Adicionalmente, se hizo el respectivo llenado de la cadena de custodia (Ver Anexo N° 4). Luego la muestra de suelo fue enviada a un laboratorio acreditado.

6.2.1.2. Muestreo de Planta

El muestreo de la planta se realizó de acuerdo al método de criterio, de manera que cada planta fue elegida por su visible ausencia de síntomas de fitotoxicidad (clorosis) y similar altura de la planta (Dextre,2017). Por lo tanto, se ubicó muestras más representativas de las especies vegetales en estudio que se desarrollan dentro del área de interés en seis puntos diferentes, juntamente con las muestras respectivas del suelo, tal como realizaron en un estudio parecido Solís (2020).

a. Colecta de Muestras de Planta.

Se tomó seis muestras de planta de la misma especie, en diferentes puntos para ser analizadas en el PAM Quiulacocha.

Las muestras de la planta *Stipa ichu* fueron tomadas con mucho cuidado, para evitar algún daño al momento de su extracción y para separar la parte aérea y raíz de la planta se utilizó una tijera inoxidable (Solís, 2020).

b. Envasado e identificación de las muestras de plantas.

Las muestras recolectadas tanto de la parte aérea como raíz, fueron colocados en bolsas de plástico Ziplot de boca ancha, con cierre hermético, etiquetado y almacenado en un termo conservador proporcionado por el laboratorio. Las muestras fueron etiquetadas en un lugar visible con la siguiente información: Punto de muestreo, código de la muestra, tipo de muestra, lugar, fecha, hora; tal como se muestra en la siguiente Figura 13.

Figura 13

Modelo de Etiquetado de la Muestra de Tejido Vegetal

CÓDIGO DE LA MUESTRA:	
TIPO DE MUESTRA:	
LUGAR:	
FECHA:	**HORA:**

Adicionalmente, se hizo el respectivo llenado de la cadena de custodia (Ver Anexo N° 4). Posteriormente, las muestras de tejido vegetal fueron enviadas a un laboratorio acreditado.

2.2.1.3. Ubicación de los puntos de muestreo de suelo y planta

Las coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo en el PAM de Quiulacocha se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Coordenadas de ubicación de los puntos de muestreo del PAM de Quiulacocha

Ítem	Este	Norte
PAM-QUIU-M01	0231921	8920522
PAM-QUIU-M02	0231923	8920555
PAM-QUIU-M03	0231921	8920521
PAM-QUIU-M04	0359825	8816532
PAM-QUIU-M05	0359903	8816561
PAM-QUIU-M06	359917	8816568

En la Figura 14 se muestra la ubicación de los puntos de muestreo de suelo y tejidos vegetales en el PAM de Quiulacocha.

Figura 14

Ubicación de los Puntos de Muestreo del PAM de Quiulacocha

CAPÍTULO VII: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Resultados

7.1.1. Análisis químico de metales en suelo y planta

El análisis químico de metales en suelo y la planta *Stipa ichu* procedente del PAM Quiulacocha, Pasco; fue realizados por un laboratorio acreditado **(**resultados en el Anexo N° 2 y Anexo N° 3).

7.1.2. Concentración de Metales en suelo del PAM de Quiulacocha

La concentración de metales en suelos del PAM Quiulacocha se muestran en la Tabla 22. La muestra S-01 tiene 793.88 mg/kg de As, 28.137 mg/kg de Cd, 296.556 mg/kg de Cu, 1233.3 de Pl y 2718.29 de Zn, mientras que la muestra S-02 tiene 706.09 mg/kg de As, 17.683 mg/kg de Cd, 216.67 mg/kg de Cu, 1716.38 mg/kg de Pb y 1435.56 de Zn.

Tabla 22

Concentración de metal pesado en PAM Quiulacocha

MUESTRA	**As (mg/kg)**	**Cd (mg/kg)**	**Cu (mg/kg)**	**Pb (mg/kg)**	**Zn (mg/kg)**
S-01	793.88	28.137	296.556	1233.3	2718.29
S-02	706.09	17.682	216.67	1716.38	1435.56
Promedio	**749.99**	**22.91**	**256.61**	**1474.84**	**2076.93**

En la Tabla 23 se muestra el ECA para suelo Industrial/ Extractivo[1] de acuerdo al Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Asimismo, se muestra las directrices sobre la calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana (CEQG) de acuerdo a la Norma de Calidad Ambiental Canadiense; siendo las normas canadienses más

[1] Suelo industrial/extractivo: Suelo en el cual la actividad principal que se desarrolla abarca la extracción y/o aprovechamiento de recursos naturales (actividades mineras, hidrocarburos, entre otros) y/o, la elaboración, transformación o construcción de bienes

exigentes que las peruanas al considerar 12 mg/kg frente a 140 mg/kg de As y 600 mg/kg frente a 800 mg/kg de Cd en el Suelo Industrial/ Extractivo.

Tabla 23

Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo en el Perú y Directrices sobre la Calidad del Suelo para la Protección del Medio Ambiente y la Salud Humana (CEQG)

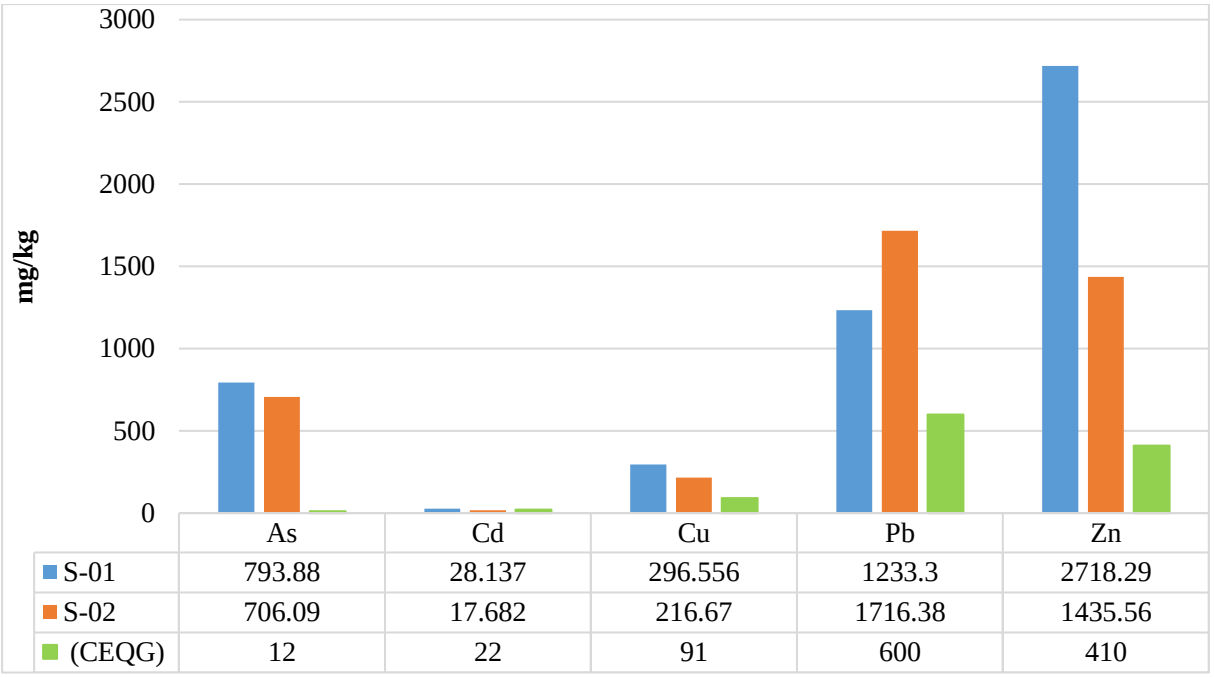
Metal Pesado	**[a]ECA Suelo Industrial/ Extractivo**	**Directrices sobre la calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana (CEQG)[b]**
Arsénico	140	12
Cadmio	22	22
Plomo	800	600
Cobre	-	91
Zinc	-	410

Nota*:*
[a]ECA: Estándares de Calidad Ambiental
[b]CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines (Normas de Calidad Ambiental Canadienses)

En la Figura 15 se muestra las concentraciones de metales en el suelo del PAM de Quiulacocha, los cuales fueron comparados con la Normativa Ambiental Canadiense (CEQG). La concentración de Zn, Pb, As y Cu superan significativamente el límite establecido por la Normativa Ambiental Canadiense CEQG tanto en la muestra S-01 y s-02. De otro lado, la concentración de Cd en la muestra S-02 se encuentra dentro del Límite de la Normativa Ambiental Canadiense.

Figura 15

Concentración de Metales en el Suelo de Áreas Contaminadas del PAM Quiulacocha y las Normas CEQG



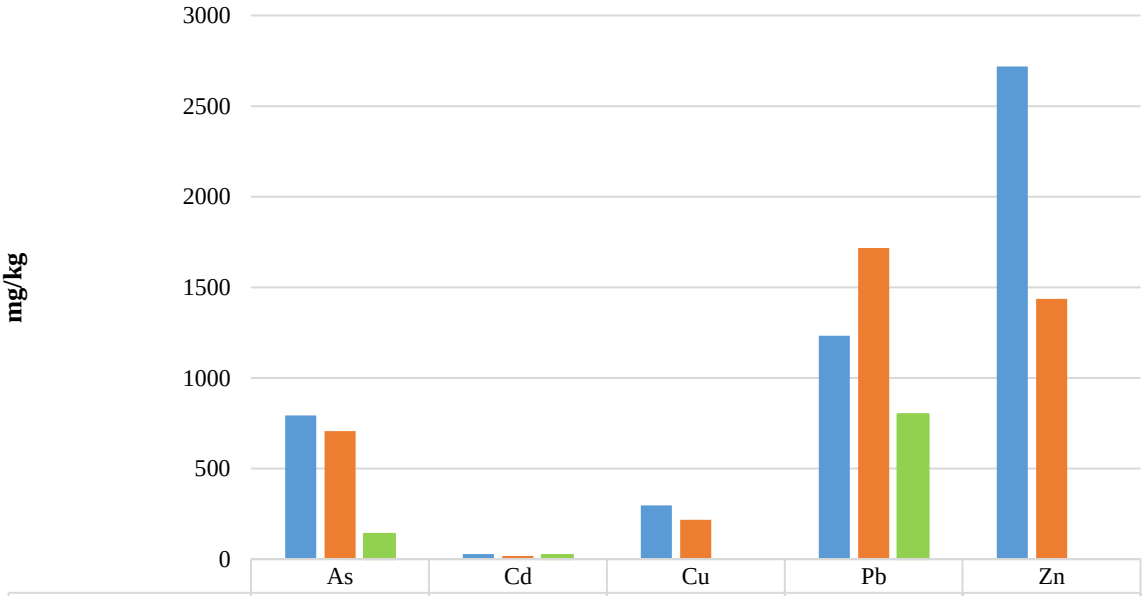
	As	Cd	Cu	Pb	Zn
S-01	793.88	28.137	296.556	1233.3	2718.29
S-02	706.09	17.682	216.67	1716.38	1435.56
(CEQG)	12	22	91	600	410

En la Figura 16 se muestra la comparación de las concentraciones con la normativa peruana, ECA para suelo Industrial/ Extractivo de acuerdo al Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. Cabe mencionar que en dicha normativa no se contempla el ECA suelo para los metales pesados de Cu y Zn.

Como se observa las concentraciones de As y Pb superan el ECA para suelo industrial/extractivo. Asimismo, la concentración de Cd en la muestra S-01 superó el ECA establecido para suelo industrial/extractivo; mientras que la concentración de Cd en la muestra S-02 se encuentra dentro del límite del ECA.

Figura 16

Concentración de Metales en el Suelo de Áreas Contaminadas del PAM Quiulacocha y los ECAs para Suelo Industrial/Extractivo



	As	Cd	Cu	Pb	Zn
S-01	793.88	28.137	296.556	1233.3	2718.29
S-02	706.09	17.682	216.67	1716.38	1435.56
Suelo Industrial/ Extractivo	140	22		800	

7.1.3. Concentración de Metales en Tejidos Vegetales de los PAM de Quiulacocha

7.1.3.1. Concentración de Metales en Tejidos Vegetales en el PAM Quiulacocha.

En la Tabla 24 se visualiza las concentraciones de metales en las muestras de la parte raíz de la planta *Stipa ichu*. La muestra R-01 tiene 55.3 mg/kg de As, 4.9 mg/kg de Cd, 223 mg/kg de Cu, 119.5 mg/kg de Pb y 707.6 mg/kg de Zn; la muestra R-02 tiene 40.3 mg/kg de As, 5.2 mg/kg de Cd, 378.6 mg/kg de Cu, 99.8 mg/kg de Pb y 917.9 mg/kg de Zn; la muestra R-03 tiene 187 mg/kg de As, 13.7 mg/kg de Cd, 314.3 mg/kg de Cu, 426 mg/kg de Pb y 1056 mg/kg de Zn; la muestra R-04 tiene 72.38 mg/kg de As, 3.2 mg/kg de Cd, 241.98 mg/kg de Cu, 251.94 mg/kg de Pb y 494.9 mg/kg de Zn; la muestra R-05 tiene 64.45 mg/kg de As, 4.8 mg/kg de Cd, 234.87 mg/kg de Cu, 198.87 mg/kg de Pb y 567.89 mg/kg de Zn; finalmente en la muestra R-06 tiene 59.09 mg/kg de As, 3.59 mg/kg de Cd, 357.89 mg/kg de Cu, 230.56 mg/kg de Pb y 673.89 mg/kg de Zn.

Tabla 24

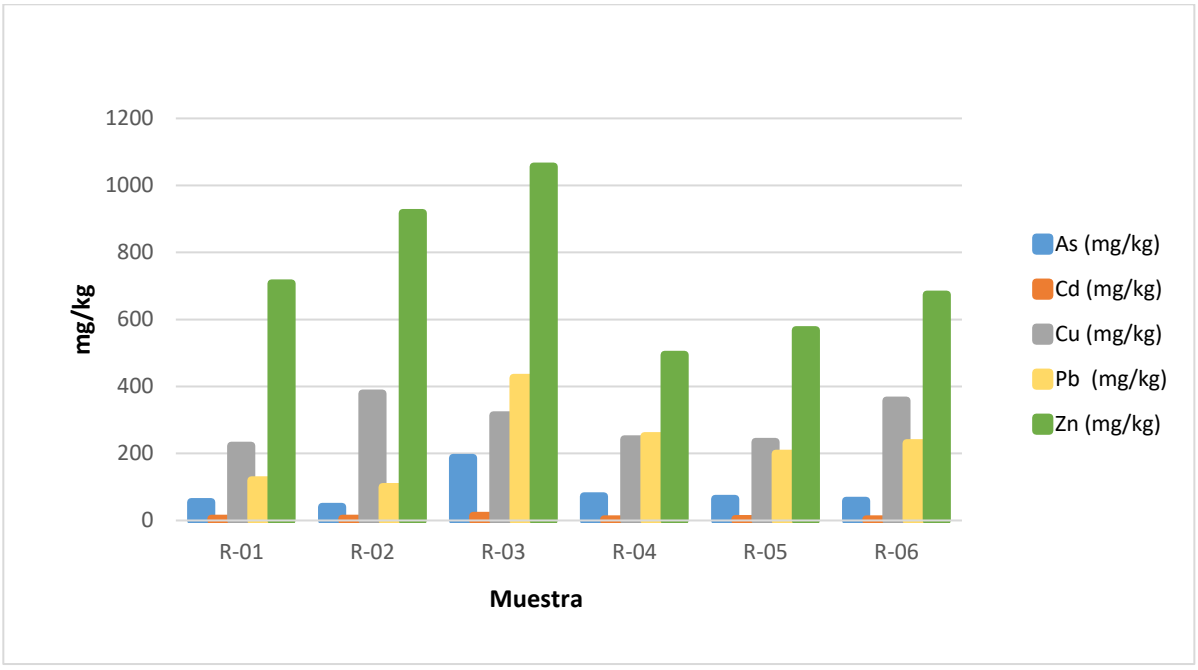
Concentración de metales en la Raíz de la planta Stipa ichu - PAM Quiulacocha

N° DE MUESTRAS	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
R-01	55.3	4.9	223	119.5	707.6
R-02	40.3	5.2	378.6	99.8	917.9
R-03	187	13.7	314.3	426	1056
R-04	72.38	3.2	241.98	251.94	494.9
R-05	64.45	4.8	234.87	198.87	567.89
R-06	59.09	3.59	357.89	230.56	673.89
Promedio	**83.9**	**6.4**	**278.6**	**219.2**	**748.9**

En la Figura 17 se observa que el Zn tuvo mayor concentración en las seis muestras de la parte raíz de la planta *Stipa ichu*: R-01, R-02, R-03, R-04, R-05 y R-06 con 707.6 mg/kg, 917.9 mg/kg, 1056 mg/kg, 494.9 mg/kg, 567.89 mg/kg y 673.89 mg/kg respectivamente. Por otro lado, el Cd tuvo menor concentración en las seis muestras de raíz.

Figura 17

Concentración de Metales en la Raíz de la Planta Stipa ichu - PAM Quiulacocha



En la Tabla 25, se presenta el resumen estadístico descriptivo para la raíz de la planta *Stipa ichu*, se observa que la media para las concentraciones de As, Cd, Cu, Pb y Zn es de 79.75, 5.90, 291.77, 221.11 y 736.36 mg/kg respectivamente; asimismo, la desviación estándar para los metales As, Cd, Cu, Pb y Zn es de 53.61, 3.90, 67.62, 117.09 y 212.86 mg/kg respectivamente.

Tabla 25

Resumen estadístico descriptiva – Raíz de la planta Stipa ichu

Metales Pesados	N	Media	Desviación estándar	Desviación error	Alfa	Intervalo	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
							Límite Inferior	Límite Superior		
As	6	79.75	53.61	21.89	0.05	42.90	36.85	122.65	40.3	187
Cd	6	5.90	3.90	1.59	0.05	3.12	2.78	9.02	3.2	13.7
Cu	6	291.77	67.62	27.61	0.05	54.11	237.66	345.88	223	378.6
Pb	6	221.11	117.09	47.80	0.05	93.69	127.42	314.80	99.8	426
Zn	6	736.36	212.86	86.90	0.05	170.32	566.04	906.68	494.9	1056

En la Tabla 26 se visualiza las concentraciones de metales pesados en las muestras de la parte aérea de la planta *Stipa ichu*. Donde la muestra PA-01 tiene 3.1 mg/kg de As, 12.1 mg/kg de Cu, 19.2 mg/kg de Pb y 90.2 mg/kg de Zn; la muestra PA-02 tiene 4,2 mg/kg de As, 0.5 mg/kg de Cd, 10.8 mg/kg de Cu, 24.5 mg/kg de Pb y 98.5 mg/kg de Zn; la muestra PA-03 tiene 5.3 mg/kg de As, 5.5 mg/kg de Cu, 11.6 mg/kg de Pb y 37.3 mg/kg de Zn; la muestra PA-04 tiene 15.6 mg/kg de As, 0.5 mg/kg de Cd, 12.08 mg/kg de Cu, 22.89 mg/kg de Cd y 90.24 mg/kg de Zn; la muestra PA-05 tiene 7.67 mg/kg de As, 0.8 mg/kg de Cd, 16.89 mg/kg de Cu, 16.78 mg/kg de Pb y 115.67 mg/kg de Zn; finalmente, la muestra PA-06 tiene 4.89 mg/kg de As, 0.5 mg/kg de Cd, 15.86 mg/kg de Cu, 28.98 mg/kg de Pb y 87.56 mg/kg de Zn.

Por otro lado, la concentración de Cd en la muestra PA-01 y PA-03 fue menor al Límite de Cuantificación del Método (L.C.M).

Tabla 26

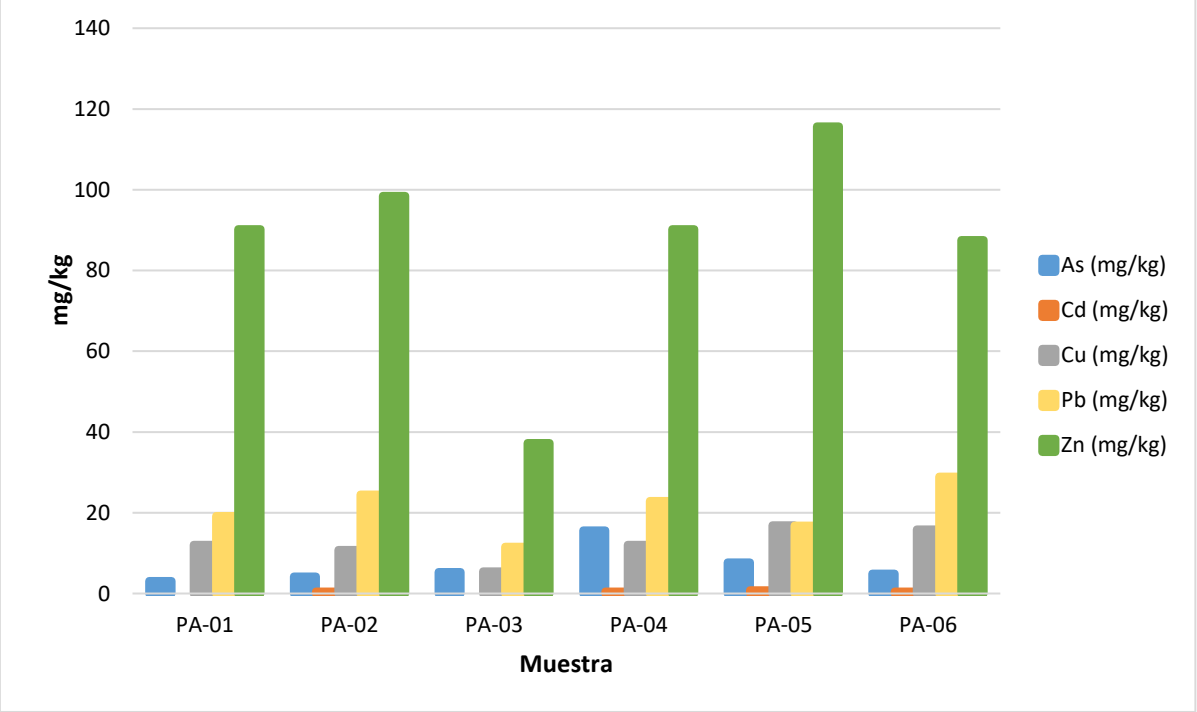
Concentración de metales en la Parte Aérea de la planta Stipa ichu (PAM Quiulacocha)

N° DE MUESTRAS	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
PA-01	3.1	<0.3	12.1	19.2	90.2
PA-02	4.2	0.5	10.8	24.5	98.5
PA-03	5.3	<0.3	5.5	11.6	37.3
PA-04	15.6	0.5	12.08	22.89	90.24
PA-05	7.67	0.8	16.89	16.78	115.67
PA-06	4.89	0.5	15.86	28.98	87.56
Promedio	6.8	0.6	12.2	20.7	86.6

En la Figura 18 se visualiza, que la planta *Stipa ichu* absorbe mayor concentración de Zn en las seis muestras en la parte aérea, siendo el máximo 115.67 mg/kg en la muestra PA-05. El Pb es otro metal pesado que tiene una concentración superior respecto al Cu, As y Cd.

Figura 18

Concentración de Metales en la Parte Aérea de la Planta Stipa ichu - PAM Quiulacocha



En la Tabla 27 se presenta el resumen estadístico descriptivo parte aérea de la planta *Stipa ichu*, se observa que la media para las concentraciones de As, Cd, Cu, Pb y Zn es de 2.43, 0.17, 9.47, 18.43 y 75.33 mg/kg respectivamente; asimismo, la desviación estándar para los metales es de 2.18, 0.29, 3.50, 6.49 y 33.2 mg/kg respectivamente.

Tabla 27

Resumen estadístico descriptiva – Parte Aérea de la planta Stipa ichu

Metales Pesados	N	Media	Desviación estándar	Desviación error	Alfa	Intervalo	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
							Límite Inferior	Límite Superior		
As	6	6.79	4.57	1.87	0.05	3.66	3.13	10.45	3.1	15.6
Cd	6	0.38	0.32	0.13	0.05	0.26	0.12	0.64	0	0.8
Cu	6	12.21	4.06	1.66	0.05	3.25	8.96	15.46	5.5	16.89
Pl	6	20.66	6.14	2.51	0.05	4.91	15.75	25.57	11.6	28.98
Zn	6	86.58	26.25	10.72	0.05	21.00	65.58	107.58	37.3	115.67

7.1.4. Categorización de Plantas Altoandinas en Función a su Concentración y Factores de Traslocación y Biococentración

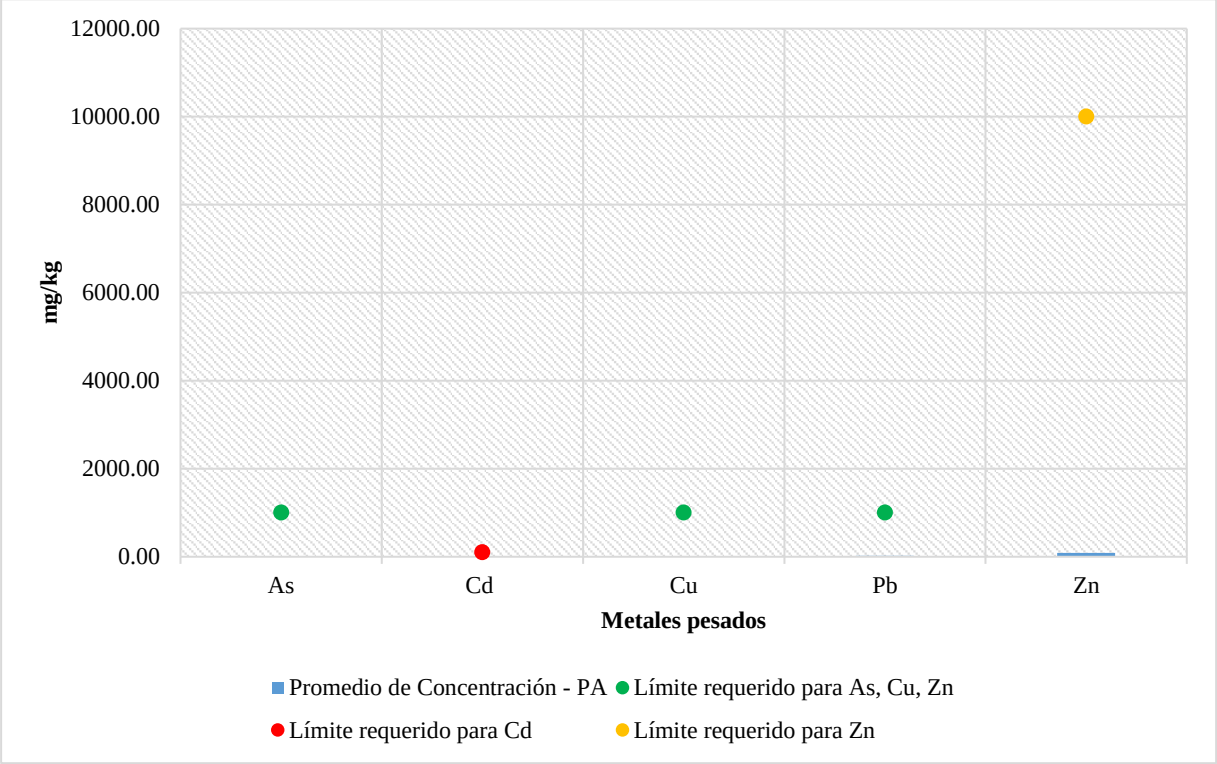
La categorización de la planta *Stipa ichu* se realizó en función a su concentración y mediante el cálculo de los factores de traslocación y bioconcentración.

a. Para que la Planta sea categorizada como hiperacumuladora debe de acumular concentraciones de metales pesados en la parte aérea, dichos valores deberán ser:
    - Concentración de Cd en la parte aérea > 100 mg/kg
    - Concentraciones de As, Cu y Pb en la parte aérea > 1,000 mg/kg
    - Concentraciones de Zn en la parte aérea > 10,000 mg/kg

Tal como se observa en la Figura 19 las concentraciones de As, Cd, Cu, Pb y Zn en la parte aérea de la Planta *Stipa ichu* no superaron los límites requeridos para ser categorizados como plantas hiperacumuladoras de dichos metales.

Figura 19

Límites Requeridos de Concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn – Parte Aérea en la Planta Stipa ichu



	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb(mg/kg)	Zn (mg/kg)
Promedio de concentración Metales - PA	6.79	0.38	12.21	20.66	86.58
Límite requerido para As, Cu, Pb	1,000		1,000	1,000	
Límite requerido para Cd		100			
Límite requerido para Zn					10,000

b. El **Factor de Traslocación,** el cual es la concentración de metales en la parte aérea respecto a la raíz de la planta. Dicho valor debe de ser mayor a 1, para que la planta sea categorizada como fitoacumuladora, en caso sea menor la planta es categorizada como fitoestabilizadora.

En la Tabla 28 se muestra los cálculos obtenidos a través de la fórmula del Factor de Traslocación para la planta *Stipa ichu*. Como se observa todos los valores son menores a 1, por lo tanto, se determinó que la planta es fitoestabilizadora.

En las muestras M-01 y M-03 no se determinó el Factor de Translocación para Cd, debido a que las concentraciones de dicho metal en la parte aérea de las muestras PA-01 y PA-03 fueron menores al Límite de Cuantificación del Método (L.C.M).

Tabla 28

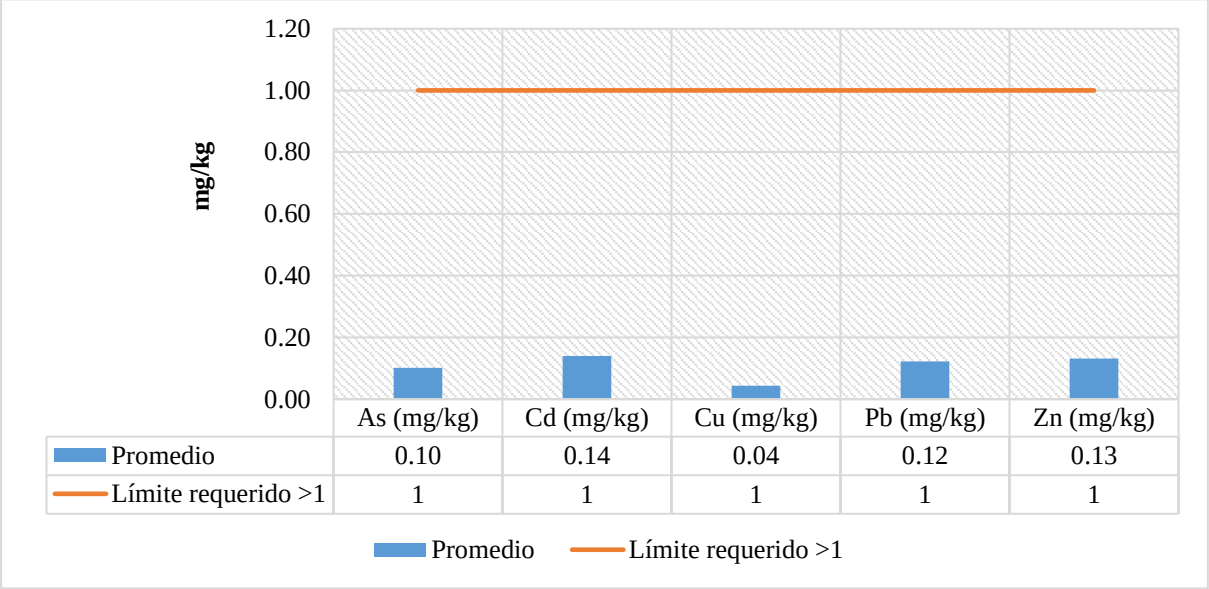
Factor de Traslocación (FT) de la planta Stipa ichu (Aérea/Raíz)

Muestras	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
M-01	0.06	-	0.05	0.16	0.13
M-02	0.10	0.10	0.03	0.25	0.11
M-03	0.028	-	0.017	0.027	0.035
M-04	0.22	0.16	0.05	0.09	0.18
M-05	0.12	0.17	0.07	0.08	0.20
M-06	0.08	0.14	0.04	0.13	0.13

En la Figura 20 se observa que los valores promedio del factor de traslocación de la planta *Stipa ichu* son: As (0.10 mg/kg), Cd (0.14 mg/kg), Cu (0.04 mg/kg), Pb (0.12 mg/kg), y Zn (0.13 mg/kg), como se puede observar ningún valor fue mayor a 1.

Figura 20

Factor de Traslocación Promedio – Planta Stipa ichu



c. El **Factor de Bioconcentración** es la concentración de metales pesados en la planta respecto al suelo. Dicho valor debe de ser mayor a 1 para categorizar a la planta como como fitoacumuladora, en caso sea menor la planta es categorizada como fitoestabilizadora.

En la Tabla 29 y Tabla 30 se muestra los cálculos obtenidos a través de la fórmula del Factor de Bioconcentración para la raíz y la parte aérea de la planta *Stipa ichu*, como se observa los valores son menores a 1; siendo los únicos valores altos el Factor de Bioconcentración del Cu en las muestras de la parte raíz: FBC-R-01, FBC-R-02, FBC-R-03, FBC-R-04, FBC-R-05 Y FBC-R-06 con 0.75, 1.28, 1.06, 1.12, 1.08 y 1.65 respectivamente.

Tabla 29

Factor de Bioconcentración Promedio de la planta Stipa ichu – Raíz

Metal Pesado	FBC-R-01	Clasificación FBC-01	FBC-R-02	Clasificación FBC-02	FBC-R-03	Clasificación FBC-03	FBC-R-04	Clasificación FBC-04	FBC-R-05	Clasificación FBC-05	FBC-R-06	Clasificación FBC-06
As	0.07	Fitoestabilizadora	0.05	Fitoestabilizadora	0.24	Fitoestabilizadora	0.09	Fitoestabilizadora	0.08	Fitoestabilizadora	0.07	Fitoestabilizadora
Cd	0.17	Fitoestabilizadora	0.18	Fitoestabilizadora	0.49	Fitoestabilizadora	0.11	Fitoestabilizadora	0.17	Fitoestabilizadora	0.13	Fitoestabilizadora
Cu	0.75	Fitoestabilizadora	**1.28**	Fitoacumuladora	**1.06**	Fitoacumuladora	0.82	Fitoestabilizadora	0.79	Fitoestabilizadora	**1.21**	Fitoacumuladora
Pb	0.10	Fitoestabilizadora	0.08	Fitoestabilizadora	0.35	Fitoestabilizadora	0.20	Fitoestabilizadora	0.16	Fitoestabilizadora	0.19	Fitoestabilizadora
Zn	0.26	Fitoestabilizadora	0.34	Fitoestabilizadora	0.39	Fitoestabilizadora	0.18	Fitoestabilizadora	0.21	Fitoestabilizadora	0.25	Fitoestabilizadora

Tabla 30

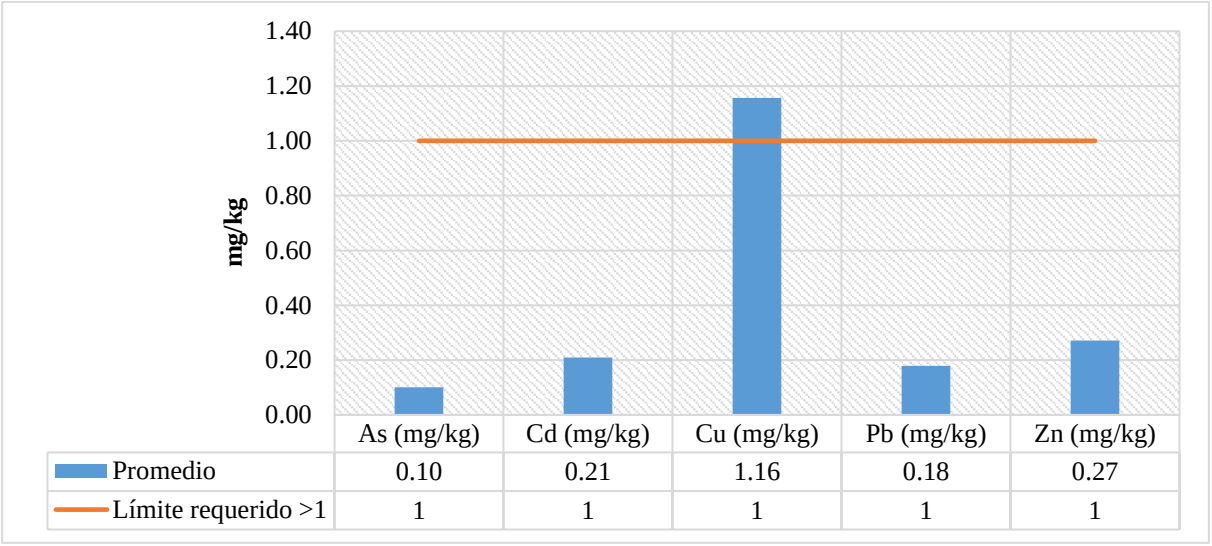
Factor de Bioconcentración Promedio de la planta Stipa ichu – Parte Aérea

Metal Pesado	FBC-PA-01	Clasificación FBC-01	FBC-PA-02	Clasificación FBC-02	FBC-PA-03	Clasificación FBC-03	FBC-PA-04	Clasificación FBC-04	FBC-PA-05	Clasificación FBC-05	FBC-PA-06	Clasificación FBC-06
As	0.004	Fitoestabilizadora	0.01	Fitoestabilizadora	0.01	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora	0.01	Fitoestabilizadora	0.01	Fitoestabilizadora
Cd	-	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora	-	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora	0.03	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora
Cu	0.041	Fitoestabilizadora	0.04	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora	0.04	Fitoestabilizadora	0.06	Fitoestabilizadora	0.05	Fitoestabilizadora
Pb	0.016	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora	0.01	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora	0.01	Fitoestabilizadora	0.02	Fitoestabilizadora
Zn	0.033	Fitoestabilizadora	0.04	Fitoestabilizadora	0.01	Fitoestabilizadora	0.03	Fitoestabilizadora	0.04	Fitoestabilizadora	0.03	Fitoestabilizadora

En la Figura 21 se observa que el factor de bioconcentración – raíz promedio para el Cu es 1.16 mg/kg > 1, por tanto, la raíz de la planta *Stipa ichu* es categorizada como Fitoacumuladora para Cu. Los demás valores están por debajo del límite requerido por lo que se clasifican como fitoestabilizadoras.

Figura 21

Factor de Bioconcentración de la Planta Stipa ichu – Raíz

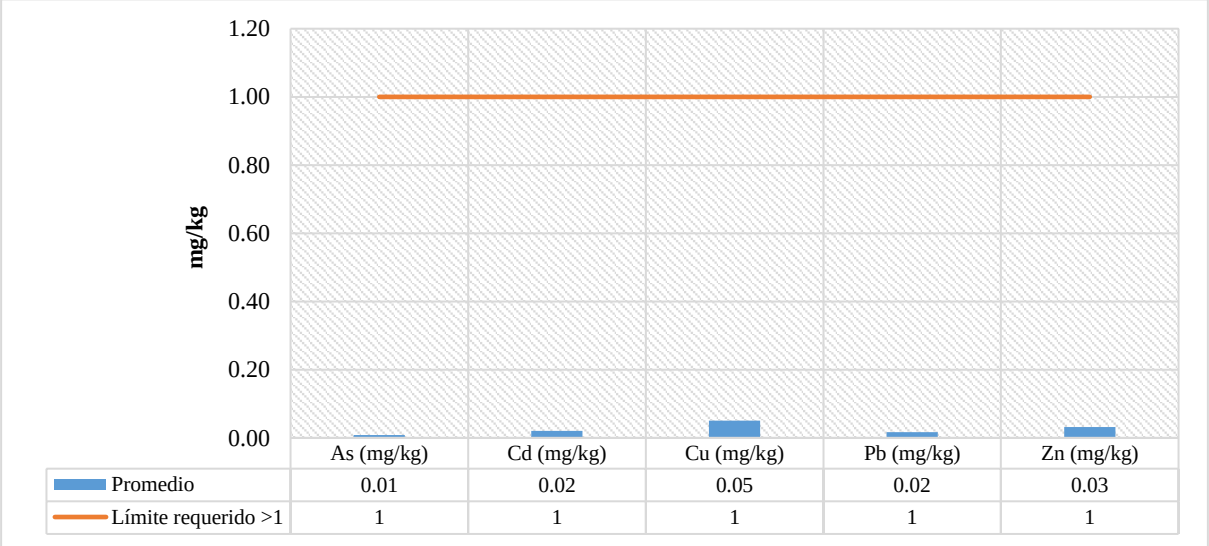


	As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Promedio	0.10	0.21	1.16	0.18	0.27
Límite requerido >1	1	1	1	1	1

En la Figura 22 se observa que los valores promedio del factor de biococentración parte aérea para la planta *Stipa ichu* son los siguientes: 0.01 mg/kg de As, 0.02 mg/kg de Cd, 0.05mg/kg de Cu, 0.02 mg/kg de Pb y 0.03 mg/kg de Zn; debido a que ninguno de los valores es mayor a 1, se categoriza a la parte aérea de la planta *Stipa ichu* como Fitoestabilizadora para dichos metales.

Figura 22

Factor de Bioconcentración de la Planta Stipa ichu – Parte Aérea



7. 2. Discusión de Resultados

En base a los resultados obtenidos, se analizó las concentraciones de los metales pesados: As, Cd, Cu, Pb y Zn en la Planta *Stipa ichu* (PAM Quiulacocha) tanto en la parte raíz, la parte aérea y suelo. Posteriormente, se evaluaron los criterios para su categorización de acuerdo al criterio de concentración de metales pesados en la parte aérea de la planta y factores de bioconcentración y traslocación.

7.2.1. Concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn en el Suelo de PAM Quiulacocha – Pasco

En la Tabla 22 se muestra las concentraciones de metales pesados en el suelo para el PAM Quiulacocha, se determinó mayor concentración de Zn y Pb; tanto en la muestra S01 como S02.

Las concentraciones de los metales pesados en suelos del PAM Quiulacocha fueron comparados con la normativa peruana y normativa canadiense. Cabe indicar que la normativa canadiense establece límites para los 5 metales analizados en el presente estudio, por su parte

la normativa peruana solo establece ECAs Suelo para As, Pb y Cd. Se evidenció que la concentración de As y Pb en el PAM en estudio superan significativamente el límite establecido por la normativa peruana ECAs Suelo.

Los materiales almacenados en la relavera Quilacocha son: pirita, enargita, galena, cuarzo y otros minerales que contienen elementos metálicos con concentraciones muy altas, los cuales son potencialmente generadores de drenaje ácido de mina (DAM) (Centro de Cultura Popular LABOR,2018). Las concentraciones altas de metales pesados en suelo, en especial de Cu y Zn, están relacionadas con el origen geoquímico de dichos materiales en la laguna de Quiulacocha (Jara-Peña et al., 2014); en cuanto la acumulación del As, Cd y Pb estaría relacionada con la generación de minerales polimetálicos en la zona, de la misma forma investigaciones realizadas por Watts et al. (2019) y Fernández et al. (2022) reportaron altas concentraciones As, Cd, Pb y Cu en suelos ubicados alrededor de un almacén de residuos mineros.

Jara-Peña (2017) indica que existe una conexión hidrológica de los tres sistemas de relaves de minas de Cerro de Pasco (Excelsior, Quiulacocha y Ocroyoc) y la fuente principal de las aguas ácidas de drenaje de mina de esta laguna se origina en la relavera excelsior, estos relaves acumulados en más de un siglo contienen metales como Zn, Pb y Cu.

Por otro lado, Martínez et al. (2017) señalan que al relacionar los niveles máximos de metales pesados en suelos para diversas normas internacionales existe contaminación severa por Cu con necesidad de intervención, cuando se alcanzan concentraciones de 190 mg/kg en la norma holandesa, 100 mg/kg en la ley federal alemana y 150 mg/kg para Chile. Valores de Cu> 200 mg/kg, son considerados anómalos excesivos y pueden relacionarse con actividades mineras que son unas de las mayores fuentes de contaminación por Cu a nivel mundial (Diatta et al., 2015). En el PAM Quiulacocha la concentración de Cu fue de 296.6 mg/kg y

216.67 mg/kg en las muestras S01 Y S02 respectivamente; lo cual supera los 200 mg/kg, por lo que se puede considerar como anómalo y excesivo.

La presencia de metales pesados como As, Cd, Cu, Pb y Zn representan un riesgo para la calidad del suelo, debido a su alto potencial de toxicidad y no biodegradabilidad; no obstante, el grado de afectación depende de la solubilidad y biodisponibilidad, procesos que determinan la distribución de los metales en el ambiente (Fernández et al., 2022). Según Huaraca-Fernández et al. (2020) la biodisponibilidad es la porción contaminante que está disponible para las plantas, el cual depende de las propiedades fisicoquímicas del suelo como: pH, materia orgánica, el tipo de material arcilloso, capacidad de intercambio catiónico etc. (Liu et al., 2018).

El pH es el parámetro más importante que brinda información de la movilidad de metales pesados y la prevalencia ácida induce a la solubilidad y movilidad de los metales (Fernández et al., 2022), por ejemplo, cuando los suelos poseen un pH ácido varios de los metales pesados poseen una mayor movilidad, ya que la cantidad de cationes biodisponible aumenta y se encuentran menormente retenidos, ya que son reemplazados por iones hidronio (H3O+) y de esa manera se liberan los metales del suelo. Cuando el suelo tiene un pH menor a 5, metales como el Cd, Cu, Pb y Zn tienen una biodisponibilidad mayor (Muro, 2022).

De otro lado, He et al. (2015) señalan que el alto contenido de materia orgánica inmoviliza a los metales en el suelo e influye en la retención de metales pesados en el suelo, a través de mecanismos de adsorción, complejación y quelación.

En el presente estudio los suelos del PAM Quiulacocha fueron categorizados como suelos fuertemente ácidos con un pH de 2.13 por lo que los metales pesados como el Cd, Cu, Pb y Zn son móviles en forma de especies iónicas libres; y respecto al contenido de materia

orgánica se categorizó como medio con 2.56%. Dichas condiciones favorecen medianamente la absorción de metales por la flora del medio (Cui et al., 2021; Fernández et al., 2022).

Los suelos de PAM de Quiulacocha tienen una clase textural Franco-Arcilloso-Arenoso, con 51.64% de arena, 27.285 de limo y 21.08% e arcilla, Uddin (2017) señala que la clase textural arcillosa está relacionado al incremento de metales pesados en el suelo, debido a que estos poseen cargas negativas en su superficie o en el espacio interlaminar que confiere a los suelos la capacidad de retener elemento. Hincapié (2019) indica que la mayor parte de las arcillas se caracterizan por tener cargas eléctricas negativas en su superficie, dichas cargas son responsables de la CIC de suelo. El tipo de arcilla afecta la CIC y el grado de retención de los cationes metálicos en el suelo en función al contenido de arcilla y materia orgánica, un suelo con una CIC baja, tiene menos sitios de intercambio en la fracción coloidal del suelo, además, indica baja habilidad de retener nutrientes, arenoso o pobre en materia orgánica (FAO, 2023; Plúas et al., 2022), los suelos del PAM de Quiulacocha se determinó una baja CIC con un valor de 5.49 meq/100g.

7.2.2. Concentración de As, Cd, Cu, Pb y Zn en la planta Stipa ichu

A las concentraciones de As, Pb, Cd, Cu y Zn en los tejidos de la planta *Stipa ichu*, tanto parte raíz como parte aérea, se aplicó el análisis de estadística descriptiva, donde se consideró un alfa de 0.05 y una probabilidad del 95% para medias; cuyos resultados se muestran en las Tabla 25, Tabla 27. En dicho análisis se determinó la media, la desviación estándar, desviación error, el intervalo de confianza, etc. En cuanto los valores altos de la desviación estándar, se debe a que las muestras de los tejidos vegetales *Stipa ichu* se recolectaron en diferentes puntos para cada planta, tal como lo hicieron en sus trabajos de investigación Solís (2020); Medina y Montano (2014), cabe indicar que los valores de desviación estándar en dichos estudios también fuero elevados.

Los metales más importantes en la contaminación de especies vegetales y que influyen en la cadena alimenticia son As, Cd y Pb (Muro, 2020). La distribución y contaminación del As se debe a procesos naturales y antropogénicos, y su problemática se debe a su fácil movilización en el ambiente (Montoya et al., 2015). El Zn es más tóxico para las plantas; mientras que metales pesados como el As, Pb y Cd son más tóxicos para los animales. Si bien es cierto, el Zn es considerado un micronutriente para el crecimiento y desarrollo de las plantas, este se convierte en un elemento tóxico cuando se encuentra en exceso (Amezcua y Lara, 2017). La toxicidad del Zn se presenta cuando sus niveles en el tejido exceden de 200 mg/kg (Chen, 2021); en el presente trabajo de investigación el promedio de concentración en la parte raíz para la planta *Stipa ichu* excedió el valor establecido por Chen (2021).

La planta *Stipa ichu* tuvo mayor concentración de Zn, Cu, y Pb en sus raíces, dichas concentraciones estarían relacionada a los relaves de Quiulacocha, donde se pueden distinguir dos tipos de relaves de diferentes embalses: relaves ricos en Cu y relaves ricos en Zn-Pb. En general, en las raíces de las plantas se acumula la mayor cantidad de metal; la alta movilidad de muchos metales les permite moverse rápidamente hacia la parte aérea de la planta. El Zn es un ejemplo de elemento móvil (Jara-Peña, 2017). La planta absorbe iones de Zn de la solución del suelo principalmente como Zn^{2+}. El zinc está más disponible para su absorción cuando el suelo tiene pH bajo, en cuanto la adsorción y solubilidad del Pb en el suelo va incrementándose al disminuir el pH de los suelos, asimismo, las plantas con raíces poco profundas están expuestas a concentraciones relativamente más altas que las plantas con raíces más profundas. Respecto al Cu, estos se encuentran en el suelo en forma de Cu^{+} o Cu^{2+}, los cuales son absorbidos por las raíces de las plantas. La Concentración del Cu en el suelo depende del contenido de materia orgánica, el pH y de la disponibilidad de agentes complejantes. Este metal no siempre se encuentra disponible para ser absorbido por las

plantas. Algunos factores, como el pH afectan su disponibilidad debido a que aumenta cuando el pH tiene valores inferiores a 6 (Zapata-Valladolid, 2019).

Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez (2016) indican que el suelo con pH ácido permite una mejor solubilidad, movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados, haciendo que los iones pueden acumularse en las raíces de la planta; posterior a ello ser transportados por la xilema y detoxificados por quelación, en el cual están presentes varios ácidos orgánicos (ácido málico y ácido cítrico) que han sido identificados como agentes positivos para acelerar la absorción de metales pesados por la raíz.

Ricaya y Cuyubanba (2020) en su estudio realizado en la laguna de yanamate- Pasco mencionan que el *Stipa ichu* tiene mayor concentración de metales pesados en la parte raíz que aérea. Las hojas del *Stipa ichu* Absorben el Na, Cd, Pb y Cu en baja concentración. Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez (2016) indican que algunas plantas pueden inmovilizar los metales en sus vacuolas, siendo considerados como el lugar de mayor acumulación de metales pesados en células vegetales. La compartimentalización de vacuolas es efectiva controlando la distribución y concentración de iones de metales, debido a que las otras partes de la célula no tienen acceso a los iones metálicos peligrosos y de esa forma la planta no presenta síntomas de fitotoxicidad ni clorosis. Asimismo, Hernández-Baranda et al. (2019) referencian estudios que han demostrado que las vacuolas son el sitio de acumulación de metales pesados.

Prieto y Fernández (2020) verificaron la capacidad fitorremediadora de plantas metalóficas en suelos contaminados por Pb, Cu y Zn; la planta en estudio fue *Stipa ichu*, donde las concentraciones en las hojas fueron las siguientes: 131 mg/kg de Zn, 0.12 mg/kg de Pb y 2.99 mg/kg de Cu, mientras que, en el presente estudio se determinó las siguientes concentraciones promedio en la parte aérea: 86.6 mg/kg de Zn, 20.7 mg/kg de Pb, 12.2 mg/kg

de Cu, siendo mayor la concentración de Pb y Cu respecto a los resultados obtenidos por Prieto y Fernández.

Romero y Bravo (2021) evaluaron la concentración de metales pesados en la planta *Stipa ichu* en el departamento de Cajamarca, donde la concentración en la parte de la raíz y parte aérea fueron los siguientes: para la raíz 0.35 mg/kg de Cu, 1.88 mg/kg de Zn, 0.84 mg/kg de Pb y 0.03 mg/kg Cd, mientras que la parte aérea las concentraciones fueron: 0.13 mg/kg de, 1.17 mg/kg de Zn, 0.38 de Pb y 0.02 mg/kg de Cd. Cabe indicar que en el presente estudio se determinaron mayores concentraciones de Cu, Zn, Pb y Cd tanto en la raíz como en la parte aérea de la planta *Stipa ichu*.

7.2.3. Factor de Traslocación y Bioconcentración

De los análisis y cálculos realizados de los factores traslocación (FT) y bioconcentración (FBC) para As, Cd, Cu, Pb y Zn en *Stipa ichu*, se obtuvieron valores promedios menores a uno (<1) a excepción del Cu en el PAM Quilacocha donde el FBC en la raíz fue 1.16, por lo que la planta *Stipa ichu* fue categorizada como fitoacumuladora para Cu en la parte raíz.

A partir del cálculo de FT, se determinó que la planta *Stipa ichu* posee la capacidad de acumular metales en las raíces, esta estrategia es realizada por aquellas plantas denominadas fitoestabilizadoras (Núñez, 2022).

Domínguez (2015) indica que las raíces de las plantas fitoestabilizadoras retienen el suelo, evitando que pueda ser arrastrado por la erosión hídrica o eólica. Además, las raíces pueden retener en su superficie elementos traza contaminantes del suelo, sobre todo cationes como Cd, Zn, Pb, Cu o Mn, evitando que estén libres en la disolución del suelo. De la misma manera Núñez (2022) señala que la fitoestabilización incluye una cobertura de vegetación para un suelo medianamente o altamente contaminado para prevenir la erosión por el viento o

el agua.; las plantas utilizadas se caracterizan por desarrollar un extenso sistema de raíces, proveer una buena cobertura del suelo, poseer tolerancia a metales y la capacidad de inmovilizar el contaminante en la zona cercana a la raíz (rizosfera).

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

- Se calculó el factor de Traslocación y factor de bioconcentración; a partir de estos resultados se determinó la planta *Stipa ichu* mostró una alta eficiencia fitorremediadora para el mecanismo de fitoestabilización, por su capacidad de acumular mayor concentración de metales pesados en la raíz que en la parte aérea.
- A partir del cálculo del factor de biococentración (FBC) parte raíz, la planta *Stipa ichu* fue categorizada como fitoacumuladora para Cu.
- Se determinó las concentraciones promedio de los metales pesados en la parte aérea de la planta *Stipa ichu*, donde el orden de mayor concentración es la siguiente: Zn (86.6 mg/kg) > Pb (20.7 mg/kg) > Cu (12.2 mg/kg) >As (6.8 mg/kg) > Cd (0.6 mg/kg).
- Las concentraciones de metales pesados en la raíz de la planta *Stipa ichu* fueron: Zn (748.9 mg/kg) > Cu (278.6 mg/kg) >Pb (219.2 mg/kg) >As (83.9 mg/kg) > Cd (6.4 mg/kg)
- Las concentraciones de metales pesados promedio en el suelo del PAM Quiulacocha (Pasco) es de: Zn (2076.93 mg/kg) > Pb (1474.84mg/kg) > As (749.99 mg/kg) > Cu (256.61 mg/kg) > Cd (22.91 mg/kg).
- La concentración del As y Pb en el PAM de Quiulacocha superan significativamente el límite establecido por el ECA para suelo industrial/extractivo de acuerdo al Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM.

8.2. Recomendaciones

- Se espera que la información presentada en esta investigación sea punto de partida para la realización de nuevos estudios de evaluación de plantas altoandinas para la fitorremediación de suelos con *Stipa ichu*. Ya que de acuerdo la R.M. N° 335-2022-MINEM/DM, publicado el 07 de setiembre de 2022, hay 6,903 PAMs con características particulares, cuyas repercusiones sobre la salud humana y los ecosistemas, aún no han sido estudiados.
- Se recomienda realizar el estudio en dos épocas: húmeda y seca para hacer la comparación y determinar si los factores climáticos influyen en el desarrollo de la planta.
- Se recomienda realizar estudios añadiendo aditivos (Compost) para mejorar el desarrollo de la planta y mejorar su capacidad fitorremediadora.
- Se recomienda realizar estudios con las plantas *Stipa ichu* como una alternativa para fitorremediación por el mecanismo de Fitoestabilización en suelos contaminados con metales pesados (As, Zn, Cu y Pb).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, S., Piraneque, N. y Mercado, T. (2022). *Suelo y cambio climático*. Santa Marta: Editorial Unimagdalena.

Ali, S., Zeqiraj, V., Leong, W., Hook, S., Yusop, Z., Ali, U. y ChIn L. (2019). Does quality institutions promote environmental quality?. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 10446 – 10456.

Alvares Calvo, L. (2019). *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar*. (Tesis de doctorado). Universidad Politécnica, Madrid, España.

Amezcua, J. y Lara, M. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia.* 68(3), 28-35.

Aprobar la actualización del Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 290-2006-MEM/DM. Resolución Ministerial N° 238-2020-MINEM/DM. Ministerio de Energia y Minas de Perú (24 de agosto de 2020).

Aprueban actualización del Inventario Inicial de Pasivos Ambientales Mineros, aprobado mediante R.M. Nº 290-2006-MEM/DM. Resolución Ministerial Nº 200-2021-MINEM/DM. Ministerio de Energia y Minas de Perú (20 de junio de 2021).

Baena, G. (2014), Metodología de la Investigación. *Grupo Editorial Patria.* *https://books.google.com.pe/books?id=6aCEBgAAQBAJ*

Becerra Vásquez, L., y Villar Sánchez, A. (2020). *Determinación de la diversidad biológica de artrópodos en zonas de Stipa ichu y Pinus patula en Porcón Alto Cajamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.

Beltrán-Pinedo, M. y Gómez-Ródriguez, A. (2016). Biorremediacion de metales pesados cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg) Mecanismo bioquímicos e ingeniería genética. *Facultad de Ciencias Básicas*, 12(2), 172-197. https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/2027/1835

Briceño, J., Tonato, E., Silva, M., Paredes, M. y Armado, A. (2020). Evaluación del contenido de metales en suelos y tejidos comestibles de *Allium distulosum* l. cultivado en zonas

cercanas al volcán Tungurahua. *La Granja, Revista de Ciencias de la Vida*, 32(2), 114-126. https://www.redalyc.org/journal/4760/476064168009/html/

Briones Chuquilín, T. y Estrada Zelada, W. (2018) *Compresión axial del adobe compactado con fibras de paja ichu, paja de arroz y paja de trigo* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte.

Castillo, L., Satalaya, C., Paredes, U., Encalada, M., Zamora, J. y Cuadros, G. (2021). Pasivos ambientales mineros en el Perú: Resultados de la auditoría de desempeño sobre gobernanza para el manejo integral de los PAM. *Documento de Política en Control Gubernamental. Contraloría General de la República*. Lima, Perú.

Cervantes, J. y Quito, S. (2020). Evaluación de riesgo ambiental generado por pasivo ambiental minero en la calidad de agua superficial. Natura@economía, 5(1), 1 – 14. https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/ne/article/view/1511/pdf_4

Cevallos, A., Polo, E., Salgado, D. y Orbea, M. (2017). Métodos y Técnicas de Investigación. Grupo Compás. Recuperado de: http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/498/3/metodolog%C3%ADa.pdf

Chang, J., Gonzales, M., Ponce, O., Ramírez, L., León, V., Torres, A., Corpus, M. y Loayza-Muro, R. (2018). Acumulación de metales pesados en plantas nativas andinas: herramientas potenciales para la fitorremediación de suelos en Ancash (Perú). *Environmental Science and Pollution Research* 25(34): 33957-33966

Chávez, M. (2015). Los pasivos ambientales mineros: Diagnóstico y Propuestas. *Red Muqui.* https://muqui.org/wp-content/uploads/2019/11/pasivosambientales2015.pdf

Chen, J. (2021). La función del zinc en el cultivo de plantas. *Ed Bloodnick. La función del zinc en el cultivo de plantas | PRO-MIX (pthorticulture.com)*

Chrobok, D. (2022). La descontaminación de suelos mediante fitorremediación. *AEPJP*. https://www.aepjp.es/la-descontaminacion-de-suelos-mediante-fitorremediacion/

Comité forestal (2022) La restauración y el Decenio de las Naciones Unidas sobre la Restauración de los Ecosistemas (2021-2030). https://www.fao.org/3/nj920es/nj920es.pdf

Conde Molina, M. (2019). *Bioprocesos orientados al empleo de microorganismos autóctonos y su utilización en tecnologías de biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.* (Tesis de doctorado). Buenos Aires, Argentina.

Corpus Quiroz, M. (2018). *Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales Santa Rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015-2016* (Tesis de Pregrado). Universidad Santiago Antúnez de Mayolo, Ancash, Perú.

Covarrubias, S., García, J. y Peña, J. (2015). El papel de los microorganismos en la biorremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, 25(3), 40-45. https://www.redalyc.org/pdf/416/41648311004.pdf

Cremona, M. y Enríquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Repositorio Institucional – Biblioteca Digital*, 73, 5-8. https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf

Criado, M., Alonso-Rojo, P. y Santos-Francés, F. (2018). El papel de la geología en la determinación de los niveles de referencia para la evaluación de la contaminación del suelo. Sociedad Geológica de España, 64, 131 – 134. https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/geo64/geo64_33.pdf

Cuentas, M., Velásquez, O., Arizaca, A. y Huisa, F. (2019). *Revista de Medio Ambiente Minero y Minería*, 4(2), 42 – 57. http://www.scielo.org.bo/pdf/mamym/v4n2/v4n2_a04.pdf

De la Cruz Clemente, J. (2023). *Efecto del biochar en la fitorremediación de Pb por Llantén (Plantago major L.) en un suelo contaminado de Mito, Concepción. 2021.* (Tesis de pregrado). Universidad Continental, Huancayo, Perú.

Defensoría del pueblo (2015). ¡Un llamado a la Remediación! Avances y pendientes en la gestión estatal frente a los pasivos ambientales mineros e hidrocarburíferos. El Informe Defensorial Nº 171.

Dextre, A. (2017). *Acumulación de metales pesados en Senecio rufescens DC. en dos lagunas altoandinas de las regiones de Lima y Junín, Perú* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marco, Lima, Perú.

Diatta, J., Chudzinska, E., Drobek, L., Wojcicka-Połtorak, A., Markert, B. y Wünschmann, S. (2015). Evaluación de múltiples fases de la geoquímica del cobre. En: *Sherameti, I., Varma, A.* (eds) Heavy Metal Contamination of Soils. Biología del Suelo. *Springer International Publishing Switzerland.* 44.

Díaz, S. y Sierra, C. (2017). *Fitorremediación con Artemisia absinthium y Lupinus pubescens benth como alternativa para la descontaminación de ecosistemas andinos y altoandinos amenazados por metales pesados* (Tesis de Maestría). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Domínguez, M. (2015). Fitoestabilización de suelos contaminados España – Fitoestabilización. IRNAS-CSIC. https://digital.csic.es/bitstream/10261/164373/1/WOCAT_QT_Summary-T_SPA027es.pdf

Espíritu, C., Ocala, J., Chuquisengo, L. y Meza, M. (2022). Dinámica de metales pesados que afectan a los cuerpos de agua del sistema hídrico Lago Titicaca, río Desaguadero, Lago Poopó y salar de Coipasa – TDPS. *Autoridad Binacional Autónoma Lago Titicaca (ALT).*

FAO (2023). Propiedades del suelo. https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-biologicas/es/

FAO Y PNUMA, (2022). Evaluación mundial de la contaminación del suelo – Resumen para los formuladores de políticas. Roma: FAO. https://www.google.com.pe/books/edition/Evaluaci%C3%B3n_mundial_de_la_contaminaci%C3%B3n/-VxqEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=0&bshm=rimc/1

FAO, (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Rome, Italy, ood and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils.

Fernandez Escobar, A. (2019). *Identificación de especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de picuruyacu alto, distrito de castillo grande, provincia de Leoncio prado, departamento de Huánuco*. (Tesis de pregrado). Universidad Agraria de la Selva, Tingo María, Perú.

Fernandez, B., Mullisaca, E. y Huanchi, L. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Revista de Investigaciones Altoandinas – Journal of High Andean Research*, 24(2), 131-138. http://www.scielo.org.pe/pdf/ria/v24n2/2313-2957-ria-24-02-131.pdf

Fernández, B., Mullisaca, E. y Huanchi, L. (2022). Nivel de contaminación del suelo con arsénico y metales pesados en Tiquillaca (Perú). *Rev. investig. Altoandin*, 24(2), 131 – 138. DOI: https://doi.org/10.18271/ria.2022.416

Garcés, I. (2017). Manejo Ambiental de Residuos Mineros. Universidad de Antofagasta. https://www.researchgate.net/publication/352573742_Manejo_Ambiental_de_Residuos_Mineros

Garzón, J., Rodríguez-Miranda, J. y Hernández-Gómez, C. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n2/0124-7107-reus-19-02-00309.pdf

Gonzales, J., Aponte, M., Bustamante, E. y Chomba, J. (2018). Fitorremediación de un suelo contaminado con dos niveles de cobre, mediante el uso del cultivo de la alfalfa "Medicago sativa". *SEARCHING-SCIENCE, 1*(1). https://revista.uct.edu.pe/index.php/science/article/view/341

González, D., Fernández, R., Rodriguez, D. y Menéndez, E. (2020). Plantas que acumulan metales, su importancia. *Leucocroton havanensis borhidi* hiperacumuladora de níquel. *Revista ULCB.* https://revistas.ulcb.edu.pe/index.php/REVISTAULCB/article/view/153/279

Grison, C., Escande, V. y Biton, J. (2021*). Ecocatálisis - Un nuevo enfoque integrado de ecología científica.* London: ISTE Editions Limited.

Guevara, E., Cruz, M. y Rivera, M. (2018) Fitorremediación de suelos contaminados con Mn y Cu a partir de Ocimum basilicum. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias.* 9(22), 76 – 89.

Guido S.S.y Shadi F.F (2022). Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante Girasol y vermicompost.

Guzmán, F., Arranz, J., Smoll, L., Calderón, E., Otero, O. y Arceo, F. (2020). Pasivos Ambientales Mineros - Manual para inventario de minas abandonas o paralizadas. *ASGMI*.

Guzmán-Castro, V., Razo-Zárate, R., Vázquez-Cuevas, G. y Hernández-Juárez, M. (2022). *Padi*, 10(19), 42 – 49.

Hernández, R. Fernández, C. y Baptista, M. (2015). Metodología de la Investigación (Sexta ed.) México: McGraw-Hill.

Hernández-Baranda, Y., Rodríguez-Hernández, P., Peña-Icart, M., Meriño-Hernández, Y. y Cartaya-Rubio, O. (2019). Toxicidad del Cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: El tomate. *Cultrop*, 40(3). http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v40n3/en_1819-4087-ctr-40-03-e10.pdf

Hincapie Morales, W. (2019). Análisis de la disponibilidad de metales pesados en la fase sólida del suelo del agroecosistema en Aquitania, Boyacá. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Huaranga, E. (2019). Evaluación de contenidos metálicos en las especies altoandinas *Calamagrostis rigida*, *Trisetum spicatum* y *Senecio rufescens* en el entorno de la laguna de Yanamate, para determinar su potencial fitorremediador - Pasco – 2019.

Huerta, S. (2022). *Toxicología ambiental, clínica y cotidiana.* México: Editorial El Manual Moderno.

Ibarra García, A. (2017). *Fitoextracción de metales en suelos contaminados por la minería*. (Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental). Universidad Autónoma Metropolitana, México.

Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M. y Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología.* 21(2), 145 – 154. doi: http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817

Jara-Peña, E., Gómez, J., Montoya, H., Sánchez, T., Tapia, L., Cano, N. y Dextre, A. (2017). Acumulación de metales pesados en *Calamagrostis rigida (Kunth)* Trin. ex Steud. (Poaceae) y *Myriophyllum quitense Kunth* (Haloragaceae) evaluadas en cuatro

humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa,* 24 (2), 583 – 598. http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v24n2/a10v24n2.pdf

Juárez Valverde, Y. (2020). *Evaluación del contenido de metales pesados con relación a las propiedades edáficas en suelos adyacentes a la Mina "Antamina", San Marcos-Ancash.* (Tesis de pregrado). Universidad Católica Sedes Sapientiae, Huara, Perú.

Ledesma Velita, W. (2018). *Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco, Perú.

Ley que regula los pasivos ambientales de la actividad minera. LEY Nº 28271. Ministerio del Ambiente. Poder Legislativo del Perú (25 de abril de 2017).

López, M. y Fernández, M. (2020). *Biología. Pruebas de acceso a ciclos formativos de grado superior*. España: Ediciones Paraninfo, S.A.

López, M., y Morales, O. (2022). Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados: Una revisión. Revista de Ciencia y Tecnología El Higo, 12(2), 15 – 28.

Mamani Mamani. E. y Pinazo Apaza L. (2019). *Eficiencia de una vivienda construida con 7 tabiquería bioclimática a base del Stipa ichu y Festuca dolichophylla PRESL para mejorar el confort térmico de la zona de Chillapalca, San Antonio de Putina, de la Región Puno-2018.* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Manrique H. y Sanborn, C. (2021). La minería en el Perú: balance y perspectivas de cinco décadas de investigación. *Fondo Editorial: Universidad del Pacífico*,166p.

Martínez L. (2018). Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el madrigal- Arequipa y propuesta de Fitorremediación."

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

Martínez, Z., González, M., Paternina, J. y Cantero, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Córdoba-Colombia. *Temas*

agrarios. 22:(2), 20 – 32. https://www.researchgate.net/publication/321927815_Contaminacion_de_suelos_agricolas_por_metales_pesados_zona_minera_El_Alacran_Colombia

Medina-Pizzali, M., Robles, P., Mendoza, M. y Torres, C. (2018). Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana. *Rev Perú Med Exp Salud Publica*, 35(1): 93-102. DOI: 10.17843/rpmesp.2018.351.3604

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

Miranda, S. y Ortiz, J. (2020). Los paradigmas de la investigación: un acercamiento teórico para reflexionar desde el campo de la investigación educativa. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo. 11.

Montano, Y., Tapia, P., Fow, A y Fuentealba, B. (2022). Fitorremediación. Una alternativa para tratar la contaminaciónambiental (Folleto). *Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña – Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (DIEM-INAIGEM).*

Montenegro, G., Yamile, P. y Calderon, V. (2019). *Prácticas de Biorremediacion en suelos y agua.* Bogotá: Sello Editorial UNAD. https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/notas/article/view/3451/3723

Montenegro, S., Pulido, S., y Calderón, L. (2020). Prácticas de biorremediación en suelos y aguas. Notas De Campus, (1). https://doi.org/10.22490/notas.3451

Montoya, E., Montañez, L., Luévanos, M. y Balagurusamy, N. (2015). Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos. *Terra Latinoamericana*, 33(2), 103 – 118. https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n2/2395-8030-tl-33-02-00103.pdf

Mujica C. (2018). Remoción de Metales en Sedimentos Contaminados Efecto de la Interacción Sedimento – Planta Bioacumulación y Traslocación. Universidad Católica de Salta, Buenos Aires, Argentina. https://www.ina.gov.ar/archivos/publicaciones/2018-Tesis_Final_Mujica_C.pdf

Munive C., Gamarra, G., Munive, Y., Puertas, F., Valdiviezo, L. y Cabello, R. (2020). Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria*,

11(2), 177 – 186. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000200177

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

Muñoz-Silva L., Olivera-Gonzales, P. Santillán- Torres M. y Tamariz-Angeles, C. (2019). Microorganismos tolerantes a metales pesados del pasivo minero Santa Rosa Jangas (Perú). *Revista peruana de biología*, 26(1), 109 118.

Muro Gonzáles, D. (2020). *Caracterización de especies vegetales para fitorremediar suelos contaminados con metales pesados en jales mineros.* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, México.

Nesterenko Alcalde, N. (2016) *Fitorremediación de los suelos contaminados con zinc de la minera "toma la mano" Vicos - Ancash, por la especie (Zea mays) bajo condiciones controladas.* (Tesis de pregrado). Universidad César Vallejo, Lima, Perú.

Núñez, M. (2022). Aplicación de técnicas de fitorremediación en suelos contaminados con plomo y cadmio. *Conciencia Digital*, 5(1.3), p. 6-25.

Oblasser, A. (2016). Estudio sobre lineamientos, incentivos y regulación para el manejo de los Pasivos Ambientales Mineros (PAM), incluyendo cierre de faenas mineras. *Publicación de las Naciones Unidas.* 1564-4189. https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/40475/S1600680_es.pdf

Orozco, D., Letechipía, C., Megchún, J. y Gómez, A. (2022). Determinación de los factores de bioconcentración, traslocación y riesgos potenciales a la salud en *Capsicum annuum L. Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.*, 2. 307 -317.

Parra, L. y Vázquez, M. (2017). Muestreo probabilístico y no probabilístico. Universidad del ISTMO.

Pluás, M., Ayón, F., Moran, J., Valdés, P y Merchán, W. (2022). Identificación de propiedades del suelo agrícola en la parroquia Charapotó. *Revista Científica Disciplinaria*, 6(2), 15-28.

Porras, A. (2014). Análisis de Información Geoespacial: Tipos de Muestreo. Centro de Investigación en Geografía y Geomática. Conacyt.

Prieto Mostacero, K. y Fernández Lamberto, L. (2020). *Capacidad Fitorremediadora de plantas metalofitas (Fuertesimalva echinata, Urtica Urens y Stipa ichu) en suelos contaminados por Pb, Cu y Zn.* (Tesis de pregrado). Universidad Peruana Unión, Lima, Perú.

Ramirez Lopez, B. y Contreras García, A. (2022). *Evaluación de los métodos de biorremediación más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaves de minas subterráneas polimetálicas en Pasco, 2020.* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.

Rebollo, P. y Ábalos, E. (2022). *Metodología de la Investigación/Recopilación*. Buenos Aires: Editorial Autores de Argentina.

Reyes Roa, Y. (2020). *Estudio de bioacumulación de metales pesados en plantas de consumo humano para sensado molecular In situ*. (Tesis de doctorado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Ricapa A. y Cuyubamba Z. (2020). Análisis de absorción de metales en la planta *Stypa ichu* en las zonas no disturbado y disturbado del suelo de la Laguna Yanamate-Pasco. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Pasco, Perú. http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2331/1/T026_71024753_T.pdf

Rodriguez, N. McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, FAO.

Rolón, M., Rasche, J., Fatecha, D., Rolón, G., Leguizamón, C. y Ortiz, C. (2022). Disponibilidad de cobre en suelos de la Región Oriental del Paraguay. *Revista Científica de la UCSA*, 9(1), 72 – 80. http://scielo.iics.una.py/pdf/ucsa/v9n1/2409-8752-ucsa-9-01-72.pdf

Santolalla Ruiz, S. (2016). *Identificación y recuperación de pastos naturales para el aprovechamiento sostenible en la crianza de alpacas de la comunidad campesina Ninacaca de la provincia y región Pasco.* (Tesis de maestria). Universidad Nacional Emilio Valdizán, Huánuco, Perú.

Sarmiento-Sarmiento, G. y Febres-Flores, S. (2021). Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante

Girasol y vermicompost. *Rev. Chapingo Ser.Hortic*, 27(3). https://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v27n3/2007-4034-rcsh-27-03-199.pdf

Serna, C. (2021). *Visiones del desarrollo sostenible.* México: Ediciones de la U. https://www.google.com.pe/books/edition/Visiones_del_desarrollo_sostenible/3E4bEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&bshm=rimc/1

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI (2023). Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional, Estación Cerro de Pasco. https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones

Shehata S., Badawy R. y Aboulsoud Y. (2019). Phytoremediation of some heavy metals in contaminated soil. *Springer Open*, 1-15. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0214-7

Singh Kanwar V., Sharma A., Lal Srivastav A. y Rani L. (2020). Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review. *Springer*, 44835–44860.

Singh, V., Sharma, A. y Lal, A. (2020). Phytoremediation of toxic metals present in soil and water environment: a critical review. *Environmental Science and Pollution Research.*

Solis, S. (2020). *Determinación de la hiperacumulación de metales pesados Cd, Pb y As en la planta nativa taya (Baccharis tola phil.) de la desmontera minera Rumiallana entre los distritos de Yanacancha y Simón Bolívar, Pasco, 2019 – 2020* (Tesis de Pregrado). Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.

Sotomayor, A. (2015). Remediación de pasivos ambientales mineros como estrategia para el cuidado del ambiente (Trabajo presentado en la Conferencia Académica Anual del Consorcio, octubre, 2015). *En Consorcio de Universidades (Ed.), Metas del Perú al bicentenario*, 241-246. Lima: Consorcio de Universidades.

Tejeda-Martínez, A. (2018). *La humedad en la atmósfera: Bases físicas, instrumentos y aplicaciones.* Universidad de Colima. http://ww.ucol.mx/content/publicacionesenlinea/adjuntos/La-humedad-en-la-atmosfera_466.pdf

Torri, S. (2021). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de una especia nativa sudamericana (Discaria americana) en un suelo enmendado con lodos de depuradora.* (Tesis de doctorado). Universidad de Coruña, La coruña, España.

Uddin, M. (2017). A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade. *Chemical Engineering Journal*, 308, 438-462.

Valladolid, J. (2019). *Contenido de metales pesados en vegetación alrededor de una Mina cerrada en la región de Piura* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial y de Sistemas). Universidad de Piura.

Valles Espinosa, R. (2012). *Identificación de sitios contaminados: concentración de metales y metaloides en el poblado de Santa Bárbara, Chihuahua*. (Tesis de maestría). Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., Chihuahua, México.

Vargas, M. (2020). *Asimilación y evaluación de Pb, Cd, Fe y Zn en los relaves de Quiulacocha utilizando procesos de cobertura biológica* (Tesis para obtener el título profesional de ingeniero ambiental). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Vilcapoma Areche, D. (2019). *Fitoextracción de cadmio y zinc en suelos contaminados utilizando Lactuca sativa var. White Boston, en la Estación Agropecuaria Experimental El Mantaro - Junín 2019*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Péru.

Vilches, L. Del Río, O. Simelio, N., Soler, P., Velázquez, T. Castillo A. y Vilches, A. (2020). *La investigación en comunicación: Métodos y técnicas en la era digital.* Barcelona: Gedisa editorial.

Watts, B. (2019). Mine tailings in an African tropical environment— mechanisms for the bioavailability of heavy metals in soils. *Environ Geochem Health*, 1-26. DOI: https://doi.org/10.1007/s10653-019-00326-2

WFO (2022): World Flora Online. Published on the Internet. http://www.worldfloraonline.org/classification;jsessionid=008C70EE87B92437AAA5D79598D1CC72

Zapata-Valladolid, J. (2019). *Contenido de metales pesados en vegetación alrededor de una mina cerrada en la región Piura.* (Tesis de pregrado). Universidad de Piura, Piura, Perú.

ANEXOS

Anexo N°1: Matriz de Consistencia

TÍTULO: DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE TRASLOCACIÓN Y BIOCONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS DE LA PLANTA *Stipa ichu* EN EL PAM QUIULACOCHA - PASCO

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
Problema General ¿Cuál es el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco?	**Objetivo General** Determinar el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco	**Hipótesis General** Hi: El factor de traslocación y biococentración es mayor a 1 para metales pesados en la planta *Stipa ichu* en el PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco, Pasco. Ho: El factor de traslocación y biococentración es menor a 1 para metales pesados en la planta *Stipa ichu* en el PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco, Pasco.	**Variable Dependiente:** Factor de Traslocación y Bioconcentración de la planta *Stipa ichu* que se desarrolla en el PAM de Quiulacocha ubicado en el departamento de Pasco.	**Enfoque:** Mixto combina los enfoques cualitativo y cuantitativo **Tipo de Investigación:** Tipo Básica **Diseño de Investigación:** No experimental transversal descriptivo	**Población:** Especies vegetales y sus respectivos suelos que se desarrollan en el PAM de Quiulacocha ubicado en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco. **Muestra:** Especie vegetal y su respectivo suelo: *Stipa ichu*, el cual se recolectó del PAM de Quiulacocha ubicado en el distrito de Simón Bolívar, provincia y departamento de Pasco.
Problemas específicos ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en la parte aérea de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco? ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en la raíz de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco? ¿Cuál es la concentración de los metales pesados en suelos de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco?	**Objetivos Específicos** Determinar la concentración de los metales pesados en la parte aérea de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco. Determinar la concentración de los metales pesados en la raíz de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco. Determinar la concentración de los metales pesados en suelos de la planta *Stipa ichu* para suelos provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco.	**Hipótesis Específico** Hi: La parte aérea de la planta *Stipa ichu* tiene concentración de metales pesados provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco. Hi: La raíz de la planta *Stipa ichu* tiene concentración de metales pesados provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco. Hi: El suelo de la planta *Stipa ichu* tiene concentración de metales pesados provenientes del PAM de Quiulacocha ubicado en Simón Bolívar, Pasco	**Variable Independiente:** Concentración de metales pesados en la Planta *Stipa ichu* que se desarrolla en el PAM de Quiulacocha ubicado en el departamento de Pasco.		

Anexo N°2: Resultados de Análisis de Metales Pesados en Suelo – PAM Quiulacocha

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14137

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA S.A.
2.-DIRECCIÓN	: Av. La Fontana N° 550, Urb. San Cesar de la Molina - La Molina.
3.-PROYECTO	: IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS ALTOANDINAS CON CAPACIDAD FITORREMEDIADORA PARA SUELOS PROVENIENTES DE PASIVOS MINEROS EN PASCO Y ÁNCASH
4.-PROCEDENCIA	: CERRO DE PASCO - PASCO SIMÓN BOLIVAR
5.-SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA S.A.
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005408-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-11-15

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Suelos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-11-03
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-11-03 al 2021-11-15

Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP Nº 191207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales en suelos ICP MS [2]	EPA METHOD 6020B, Rev.2, 2014 / EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996 / EPA METHOD 6020B, Rev.2, 2014 / EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996. VALIDATED (Applied out of reach), 2020.	Inductively coupled plasma - mass spectrometry / Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis
[2] Ensayo acreditado por el IAS

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14137

IV. RESULTADOS

ITEM				1
			CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-50230
			CÓDIGO DEL CLIENTE:	S-01
			COORDENADAS:	E:0359900
			UTM WGS 84:	N:8816571
			PRODUCTO:	SUELOS
			INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
			FECHA y HORA DE MUESTREO :	31-10-2021 12:34
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**
Metales Totales en suelos ICP MS				
Aluminio [2]	mg/Kg	0,10	0,30	2 753,66
Antimonio [2]	mg/Kg	0,06	0,20	<0,20
Arsénico [2]	mg/Kg	0,02	0,10	793,88
Bario [2]	mg/Kg	0,01	0,03	60,38
Berilio [2]	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03
Bismuto [2]	mg/Kg	0,06	0,20	<0,20
Boro [2]	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Cadmio [2]	mg/Kg	0,005	0,020	28,137
Calcio [2]	mg/Kg	0,1	0,4	44 339,5
Cerio [2]	mg/Kg	0,04	0,10	1,02
Cobalto [2]	mg/Kg	0,05	0,20	1,04
Cobre [2]	mg/Kg	0,005	0,020	296,556
Cromo [2]	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03
Estaño [2]	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Estroncio [2]	mg/Kg	0,05	0,20	63,36
Fosforo [2]	mg/Kg	0,04	0,10	726,64
Hierro [2]	mg/Kg	0,06	0,20	111 592,54
Litio [2]	mg/Kg	0,003	0,010	<0,010

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14137

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-50230
CÓDIGO DEL CLIENTE:				S-01
COORDENADAS:				E:0359900
UTM WGS 84:				N:8816571
PRODUCTO:				SUELOS
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				31-10-2021 12:34
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**
Magnesio [2]	mg/Kg	0,06	0,20	3 394,84
Manganeso [2]	mg/Kg	0,01	0,03	7 080,02
Mercurio [2]	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Molibdeno [2]	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10
Niquel [2]	mg/Kg	0,01	0,04	4,22
Plata [2]	mg/Kg	0,03	0,10	19,65
Plomo [2]	mg/Kg	0,05	0,20	1 233,30
Potasio [2]	mg/Kg	0,30	1,00	327,30
Selenio [2]	mg/Kg	0,05	0,20	<0,20
Silicio [2]	mg/Kg	0,02	0,07	379,29
Sodio [2]	mg/Kg	0,03	0,10	26,83
Talio [2]	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Titanio [2]	mg/Kg	0,03	0,10	39,89
Torio [2]	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03
Uranio [2]	mg/Kg	0,01	0,03	<0,03
Vanadio [2]	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Zinc [2]	mg/Kg	0,01	0,02	2 718,29

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21164

N° id.: 0000088229

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: CASTRO BLAS MARLITH JASMIN
2.-DIRECCIÓN	: Barlo Nuevo Milan, Chaccho, Antonio Raimondi, Ancash.
3.-PROYECTO	: ANALISIS DE METALES PESADOS EN LA PLANTA STIPA ICHU PAM QUIULACOCHA
4.-PROCEDENCIA	: PASCO-PASIVO MINERO QUIULACOCHA
5.-SOLICITANTE	: CASTRO BLAS MARLITH JASMIN
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005209-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGÚN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-10-11

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Suelos
3-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
4.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-09-30
5.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023 09-30 al 2023- 10-11

Eder Sergio Reccuay Granados
Supervisor de laboratorio Agroecenia
Ing. Químico
CIP N° 221809

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0836
Cel.: 997 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDEURP Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 576 843
Cel.: 952 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21164

N° Id.: 0000089329

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales en suelos ICP MS [2]	EPA METHOD 6020B, Rev2, 2014 / EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996 / EPA METHOD 6020B, Rev.2, 2014 / EPA METHOD 3050B Rev. 2, 1996. VALIDATED (Applied out of reach), 2020.	Metals: Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Tl, V, Zn, Hg / Validated: B, Ca, Ce, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, P, Si, Sn, Sr, Ti, Bi, U, Th. Inductively coupled plasma-mass spectrometry / Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils.
Preparación de Muestras Suelos (*)	Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, AS-01, Ítem 7.1.1	Preparación de Suelos Agrícolas

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

"NOM" : Norma Oficial Mexicana

[2] Ensayo acreditado por el IAS

(*) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21164

Nº Id.: 0000089329

IV. RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO	M-23-65578
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS	M-04
DESCRIPCIÓN	SUELO (S-01)
TIPO DE PRODUCTO	Suelos
SUB TIPO PRODUCTO	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :	27-09-2023 16:00

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Preparación de Muestras Suelos (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO
Metales Totales en suelos ICP MS				
Aluminio [2]	mg/Kg	0,10	0,30	1 817,18
Arsénico [2]	mg/Kg	0,02	0,10	706,09
Cadmio [2]	mg/Kg	0,005	0,020	17,682
Cobre [2]	mg/kg	0,005	0,020	216.67
Cromo [2]	mg/Kg	0,01	0,03	2,70
Mercurio [2]	mg/Kg	0,01	0,04	<0,04
Zinc [2]	Mg/kg	0,01	0,02	1 435,56
Plomo [2]	mg/Kg	0,05	0,20	1 716,38

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo N°3: Resultados Análisis de Metales Pesados en Tejido Vegetal – PAM Quiulacocha

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14135

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA S.A.
2.-DIRECCIÓN	: Av. La Fontana N° 550, Urb. San Cesar de la Molina - La Molina.
3.-PROYECTO	: IDENTIFICACIÓN DE PLANTAS ALTOANDINAS CON CAPACIDAD FITORREMEDIADORA PARA SUELOS PROVENIENTES DE PASIVOS MINEROS EN PASCO Y ÁNCASH
4.-PROCEDENCIA	: CERRO DE PASCO - PASCO SIMÓN BOLIVAR
5.-SOLICITANTE	: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA S.A.
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005408-2021-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2021-11-15

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Tejidos
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 6
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2021-11-03
4.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2021-11-03 al 2021-11-15

Gaby Moreno Muñoz
Jefe de Laboratorio
CIP Nº 191207

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los ítems ensayados.
No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L
Los resultados de los ensayos, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales [2]	EPA METHOD 200.3, Rev. 1,1991/ EPA METHOD 200.7, Rev. 4.4, 1994	Sample Preparation Procedure for Spectrochemical Determination of Total Recoverable Elements in Biological Tissues / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry

EPA : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis
[2] Ensayo acreditado por el IAS

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14135

IV. RESULTADOS

ITEM				1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-50200	M-21-50201	M-21-50202	M-21-50203
CÓDIGO DEL CLIENTE:				R-01	H-01	R-02	H-02
COORDENADAS:				E:0359900	E:0359900	E:0359914	E:0359914
UTM WGS 84:				N:8816571	N:8816571	N:8816582	N:8816582
PRODUCTO:				TEJIDOS			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO :				31-10-2021 12:34	31-10-2021 12:34	31-10-2021 13:32	31-10-2021 13:32
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**			
Metales Totales							
Aluminio [2]	mg/Kg MS	2,0	7,0	2 879,4	88,4	3 145,1	111,2
Antimonio [2]	mg/Kg MS	0,8	3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Arsénico [2]	mg/Kg MS	0,8	3,0	55,3	3,1	40,3	4,2
Bario [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	33,6	2,0	28,9	3,2
Berilio [2]	mg/Kg MS	0,03	0,10	<0,10	<0,10	0,11	<0,10
Cadmio [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	4,9	<0,3	5,2	0,5
Calcio [2]	mg/Kg MS	1,0	3,3	17 013,7	1 969,9	15 924,7	1 933,0
Cobalto [2]	mg/Kg MS	0,2	1,0	<1,0	<1,0	1,5	<1,0
Cobre [2]	mg/Kg MS	0,3	1,0	223,0	12,1	378,6	10,8
Cromo [2]	mg/Kg MS	0,4	1,0	16,4	<1,0	9,9	<1,0
Estroncio [2]	mg/Kg MS	0,03	0,10	24,01	3,80	25,30	4,82
Fosforo [2]	mg/Kg MS	6,0	20,0	444,0	537,0	483,8	685,0
Hierro [2]	mg/Kg MS	3,0	10,0	19 098,7	3 302,4	11 848,0	3 862,9
Litio [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	2,7	<0,3	1,7	<0,3
Magnesio [2]	mg/Kg MS	2,0	7,0	4 084,7	1 014,3	3 534,4	709,5
Manganeso [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	2 016,7	200,7	2 622,2	185,7
Mercurio [2]	mg/Kg MS	0,9	3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Molibdeno [2]	mg/Kg MS	0,4	1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14135

ITEM				1	2	3	4
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-50200	M-21-50201	M-21-50202	M-21-50203
CÓDIGO DEL CLIENTE:				R-01	H-01	R-02	H-02
COORDENADAS:				E:0359900	E:0359900	E:0359914	E:0359914
UTM WGS 84:				N:8816571	N:8816571	N:8816582	N:8816582
PRODUCTO:				TEJIDOS			
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA			
FECHA y HORA DE MUESTREO:				31-10-2021 12:34	31-10-2021 12:34	31-10-2021 13:32	31-10-2021 13:32
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**			
Niquel [2]	mg/Kg MS	0,5	2,0	4,0	<2,0	3,5	<2,0
Plata [2]	mg/Kg MS	0,20	0,70	<0,70	<0,70	<0,70	<0,70
Plomo [2]	mg/Kg MS	1,0	3,0	119,5	19,2	99,8	24,5
Potasio [2]	mg/Kg MS	30,0	99,0	1 596,3	4 868,5	2 342,9	7 131,8
Selenio [2]	mg/Kg MS	2,0	7,0	<7,0	<7,0	<7,0	<7,0
Sodio [2]	mg/Kg MS	3,0	10,0	420,9	91,4	297,8	24,8
Talio [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Torio [2]	mg/Kg MS	1,0	3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Uranio [2]	mg/Kg MS	1,0	3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0
Vanadio [2]	mg/Kg MS	0,3	1,0	<1,0	<1,0	1,9	<1,0
Zinc [2]	mg/Kg MS	0,2	0,7	707,6	90,2	917,9	98,5

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14135

ITEM				5	6
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-50204	M-21-50205
CÓDIGO DEL CLIENTE:				R-03	H-03
COORDENADAS:				E:0359821	E:0359821
UTM WGS 84:				N:8816534	N:8816534
PRODUCTO:				TEJIDOS	
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	
FECHA y HORA DE MUESTREO :				31-10-2021 13:55	31-10-2021 13:55
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**	
Metales Totales					
Aluminio [2]	mg/Kg MS	2,0	7,0	1 688,9	42,6
Antimonio [2]	mg/Kg MS	0,8	3,0	<3,0	<3,0
Arsénico [2]	mg/Kg MS	0,8	3,0	187,0	<3,0
Bario [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	56,1	1,5
Berilio [2]	mg/Kg MS	0,03	0,10	0,28	<0,10
Cadmio [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	13,7	<0,3
Calcio [2]	mg/Kg MS	1,0	3,3	13 051,9	1 729,5
Cobalto [2]	mg/Kg MS	0,2	1,0	1,1	<1,0
Cobre [2]	mg/Kg MS	0,3	1,0	314,3	5,5
Cromo [2]	mg/Kg MS	0,4	1,0	1,1	<1,0
Estroncio [2]	mg/Kg MS	0,03	0,10	39,62	3,56
Fosforo [2]	mg/Kg MS	6,0	20,0	782,3	452,7
Hierro [2]	mg/Kg MS	3,0	10,0	26 839,1	960,6
Litio [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	0,8	<0,3
Magnesio [2]	mg/Kg MS	2,0	7,0	3 939,2	779,3
Manganeso [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	2 671,9	84,4
Mercurio [2]	mg/Kg MS	0,9	3,0	<3,0	<3,0
Molibdeno [2]	mg/Kg MS	0,4	1,0	<1,0	<1,0

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-14135

ITEM				5	6
			CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-50204	M-21-50205
			CÓDIGO DEL CLIENTE:	R-03	H-03
			COORDENADAS:	E:0359821	E:0359821
			UTM WGS 84:	N:8816534	N:8816534
			PRODUCTO:	TEJIDOS	
			INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA	
			FECHA y HORA DE MUESTREO:	31-10-2021 13:55	31-10-2021 13:55
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**	
Niquel [2]	mg/Kg MS	0,5	2,0	4,6	<2,0
Plata [2]	mg/Kg MS	0,20	0,70	<0,70	<0,70
Plomo [2]	mg/Kg MS	1,0	3,0	426,0	11,6
Potasio [2]	mg/Kg MS	30,0	99,0	1 207,6	8 254,8
Selenio [2]	mg/Kg MS	2,0	7,0	<7,0	<7,0
Sodio [2]	mg/Kg MS	3,0	10,0	266,1	43,0
Talio [2]	mg/Kg MS	0,1	0,3	<0,3	<0,3
Torio [2]	mg/Kg MS	1,0	3,0	<3,0	<3,0
Uranio [2]	mg/Kg MS	1,0	3,0	<3,0	<3,0
Vanadio [2]	mg/Kg MS	0,3	1,0	2,5	<1,0
Zinc [2]	mg/Kg MS	0,2	0,7	1 056,0	37,3

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
"-": No ensayado
NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21159

N° Id.: 0000088324

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: CASTRO BLAS MARLITH JASMIN
2.-DIRECCIÓN	: Barrio Nuevo Milan, Chaccho, Antonio Raimondi, Ancash.
3.-PROYECTO	: ANALISIS DE METALES PESADOS EN LA PLANTA STIPA ICHU PAM QUILLACOCHA
4.-PROCEDENCIA	: PASCO-PASIVO MINERO QUILLACOCHA
5.-SOLICITANTE	: CASTRO BLAS MARLITH JASMIN
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005239-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-10-10

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Material Vegetal
3-NÚMERO DE MUESTRAS	3
4.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-09-30
5.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023 09-30 al 2023-10-10

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP. N° 221809

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los items ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED testing Laboratory TL - 833

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales ICPOES *	EPA Method 200.3 Rev.1.0 1991 / EPA Method 200.7	Sample preparation procedure for spectrochemical determination of total recoverable elements in biological tissues / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Preparación Muestras Vegetales (**)	Handbook of Methods for Plant Analysis, Item 3	Preparación de Muestras Vegetales

"EPA" : U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

* Ensayo acreditado por el IAS

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21159

N° Id.: 0000089324

IV. RESULTADOS

ITEM				1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-65567	M-23-65568	M-23-65569
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				M-04	M-04	M-04
DESCRIPCIÓN				RAIZ (R-01)	RAIZ (R-02)	RAIZ (R-03)
TIPO DE PRODUCTO				Raíz	Raíz	Raíz
SUB TIPO PRODUCTO						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023	27-09-2023	27-09-2023
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**		
Preparación MuestrasVegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO		
Metales Totales ICPOES						
Aluminio (**)	mg/Kg	2,00	7,00	253,60	356,78	306,08
Antimonio (**)	mg/Kg	0,80	3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Arsénico (**)	mg/Kg	0,80	0,30	72,38	64,45	59,09
Bario (**)	mg/Kg	0,10	0,30	7,44	15,55	8,34
Berilio (**)	mg/Kg	0,03	0,10	0,12	0,11	0,15
Cadmio (**)	mg/Kg	0,10	0,30	3,20	4,80	3,59
Calcio (**)	mg/Kg	1,00	3,30	13 732,84	14 676,87	15 787,90
Cobalto (**)	mg/Kg	0,20	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cobre (**)	mg/Kg	0,30	1,00	241,98	234,87	357,89
Cromo (**)	mg/Kg	0,40	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Estroncio (**)	mg/Kg	0,03	0,10	16,92	27,98	18,76
Fosforo (**)	mg/Kg	6,00	20,00	726,72	558,87	645,27
Hierro (**)	mg/Kg	3,00	10,00	10 779,32	8 942,23	11 980,45
Litio (**)	mg/Kg	0,10	0,30	0,68	0,87	0,34
Magnesio (**)	mg/Kg	2,00	7,00	756,46	678,56	745,72
Manganeso (**)	mg/Kg	0,10	0,30	161,94	245,87	378,25
Mercurio (**)	mg/Kg	0,90	3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Molibdeno (**)	mg/Kg	0,40	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Niquel (**)	mg/Kg	0,50	2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Plata (**)	mg/Kg	0,20	0,70	<0,70	<0,70	<0,70
Plomo (**)	mg/Kg	1,00	3,00	251,94	198,87	230,56
Potasio (**)	mg/Kg	30,00	99,00	771,24	876,67	965,34
Selenio (**)	mg/Kg	2,00	7,00	<7,00	<7,00	<7,00
Sodio (**)	mg/Kg	3,00	10,00	130,04	245,87	356,45
Talio (**)	mg/Kg	0,10	0,30	0,54	0,87	0,52

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21159

Nº Id.: 0000089324

ITEM				1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-65567	M-23-65568	M-23-65569
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				M-04	M-04	M-04
DESCRIPCIÓN				RAIZ (R-01)	RAIZ (R-02)	RAIZ (R-03)
TIPO DE PRODUCTO				Raiz	Raiz	Raiz
SUB TIPO PRODUCTO						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023	27-09-2023	27-09-2023
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**		
Preparación Muestras Vegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO		
Metales Totales ICPOES						
Torio (**)	mg/Kg	1,00	3,00	10,04	12,67	14,87
Uranio (**)	mg/Kg	1,00	3,00	587,60	675,89	876,56
Vanadio (**)	mg/Kg	0,30	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Zinc (**)	mg/Kg	0,20	0,70	494,90	567,89	673,89

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21161

N° Id.: 0000088326

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: CASTRO BLAS MARLITH JASMIN
2.-DIRECCIÓN	: Barlo Nuevo Milan, Chaccho, Antonio Raimondi, Ancash.
3.-PROYECTO	: ANALISIS DE METALES PESADOS EN LA PLANTA STIPA ICHU PAM QUILLACOCHA
4.-PROCEDENCIA	: PASCO-PASIVO MINERO QUILLACOCHA
5.-SOLICITANTE	: CASTRO BLAS MARLITH JASMIN
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005239-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-10-10

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Material Vegetal
3-NÚMERO DE MUESTRAS	3
4.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-09-30
5.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023 09-30 al 2023-10-10

Eder Sergio Recuay Granados
Supervisor de laboratorio Agronomía
Ing. Químico
CIP N° 221809

Los resultados contenidos en el presente documento sólo estan relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP BIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 846 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Metales Totales ICPOES [2]	EPA Method 200.3 Rev 1.0 1991 / EPA Method 200.7	Sample preparation procedure for spectrochemical determination of total recoverable elements in biological tissues / Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Preparación Muestras Vegetales (*1)	Handbook of Methods for Plant Analysis, Item 3	Preparación de Muestras Vegetales

"EPA": U. S. Environmental Protection Agency. Methods for Chemicals Analysis

[2] Ensayo acreditado por el IAS

(*1) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca N° 1877, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0756
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz. D2 Lt. 3, Bellavista - Callao
Telf.: (+01) 713 0636
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA
COOP BIDSUR Mz E Lt. 9, Arequipa
Telf.: (+054) 616 843
Cel.: 932 846 642 / 940 598 572

SEDE PIURA
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17, Castilla - Piura
Telf.: (+073) 542 335
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

www.alab.com.pe

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21161

Nº Id.: 0000089326

IV. RESULTADOS

ITEM				1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-65571	M-23-65572	M-23-65573
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				M-04	M-04	M-04
DESCRIPCIÓN				PARTE AÉREA (T-01)	PARTE AÉREA (T-01)	PARTE AÉREA (T-01)
TIPO DE PRODUCTO				Tallo	Tallo	Tallo
SUB TIPO PRODUCTO						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023	27-09-2023	27-09-2023
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**		
Preparación MuestrasVegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO		
Metales Totales ICPOES						
Aluminio (**)	mg/Kg	2,00	7,00	<7,00	<7,00	<7,00
Antimonio (**)	mg/Kg	0,80	3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Arsénico (**)	mg/Kg	0,80	0,30	15,6	7,67	4,89
Bario (**)	mg/Kg	0,10	0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Berilio (**)	mg/Kg	0,03	0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Cadmio (**)	mg/Kg	0,10	0,30	0,5	1,02	0,5
Calcio (**)	mg/Kg	1,00	3,30	1 469,98	1 267,76	1 167,98
Cobalto (**)	mg/Kg	0,20	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Cobre (**)	mg/Kg	0,30	1,00	12,08	16,89	15,86
Cromo (**)	mg/Kg	0,40	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Estroncio (**)	mg/Kg	0,03	0,10	1,26	2,89	1,05
Fosforo (**)	mg/Kg	6,00	20,00	205,58	278,93	235,90
Hierro (**)	mg/Kg	3,00	10,00	50,96	67,90	56,87
Litio (**)	mg/Kg	0,10	0,30	<0,30	<0,30	<0,30
Magnesio (**)	mg/Kg	2,00	7,00	160,78	196,87	159,87
Manganeso (**)	mg/Kg	0,10	0,30	54,90	167,45	89,65
Mercurio (**)	mg/Kg	0,90	3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Molibdeno (**)	mg/Kg	0,40	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Niquel (**)	mg/Kg	0,50	2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Plata (**)	mg/Kg	0,20	0,70	1,30	<0,70	<0,70
Plomo (**)	mg/Kg	1,00	3,00	22,89	16,78	28,98
Potasio (**)	mg/Kg	30,00	99,00	2 312,14	3 678,93	2 789,61
Selenio (**)	mg/Kg	2,00	7,00	<7,00	<7,00	<7,00
Sodio (**)	mg/Kg	3,00	10,00	33,08	45,98	79,95
Talio (**)	mg/Kg	0,10	0,30	<0,30	<0,30	<0,30

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

[2] Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

NA: No Aplica

ALAB
ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.

IAS ACCREDITED Testing Laboratory TL - 833

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-21161

Nº Id.: 0000089326

ITEM				1	2	3
CÓDIGO DE LABORATORIO				M-23-65567	M-23-65568	M-23-65569
FUNDO/LOTE/PARCELA/COORDENADAS				M-04	M-04	M-04
DESCRIPCIÓN				RAIZ (R-01)	RAIZ (R-02)	RAIZ (R-03)
TIPO DE PRODUCTO				Raíz	Raíz	Raíz
SUB TIPO PRODUCTO						
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
INICIO DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00	27-09-2023 16:00
FIN DE MUESTREO (FECHA y HORA):				27-09-2023	27-09-2023	27-09-2023
ENSAYO	**UNIDAD**	**L.D.M.**	**L.C.M.**	**RESULTADOS**		
Preparación MuestrasVegetales (**)	no unidad	NA	NA	FINALIZADO		
Metales Totales ICPOES						
Torio (**)	mg/Kg	1,00	3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Uranio (**)	mg/Kg	1,00	3,00	<3,00	<3,00	<3,00
Vanadio (**)	mg/Kg	0,30	1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Zinc (**)	mg/Kg	0,20	0,70	90,24	115,67	87,56

(**) El Ensayo indicado no ha sido acreditado

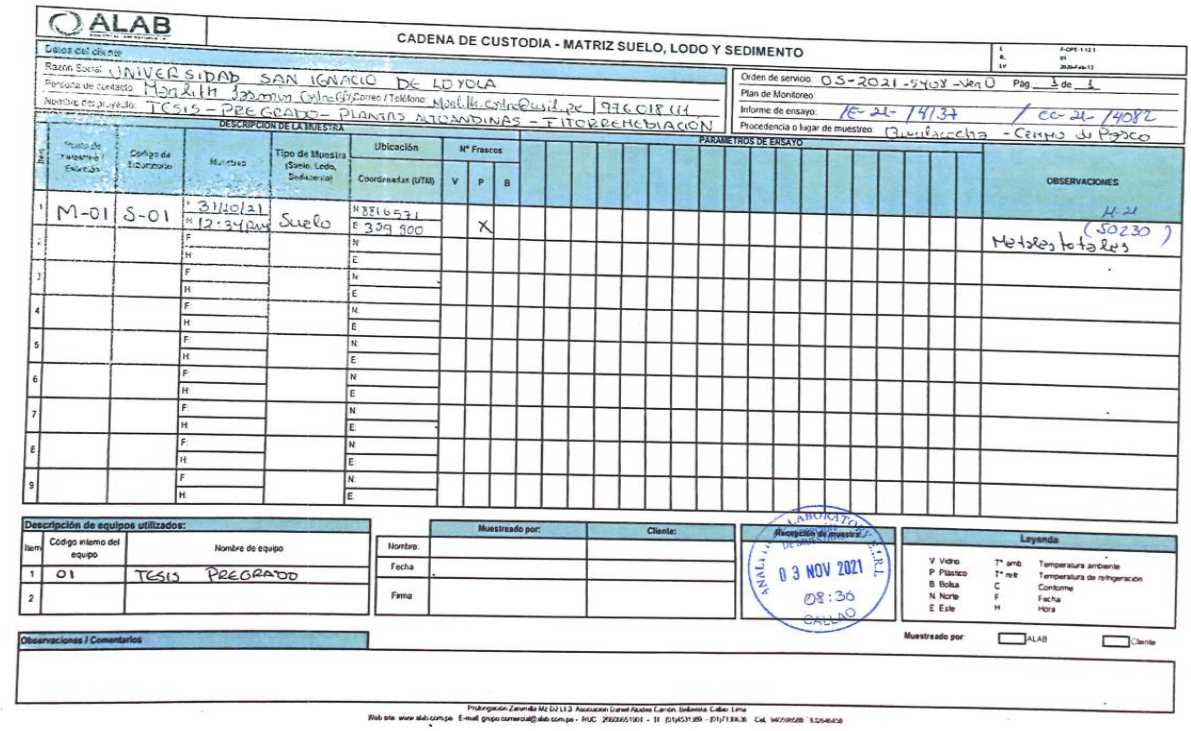
L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.
NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Anexo N° 4: Cadena de Custodia – PAM Quiulacocha



CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ SUELO, LODO Y SEDIMENTO

Datos del cliente

Razón Social: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

Persona de contacto: Manuith Jasmin Cotrina Egoy | Correo / Teléfono: Manuith.cotrina@usil.pe | 976018111

Nombre del proyecto: TESIS - PREGRADO - PLANTAS ALTOANDINAS - FITORREMEDIACION

Orden de servicio: 05-2021-5408-Ver 0 | Pag. 1 de 1

Plan de Monitoreo:

Informe de ensayo: IE-21-14137 / CC-21-14082

Procedencia o lugar de muestreo: Quiulacocha - Cerro de Pasco

Ítem	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Tipo de Muestra (Suelo, Lodo, Sedimento)	Ubicación Coordenadas (UTM)	N° Frascos V	P	B	OBSERVACIONES
1	M-01	S-01	F 31/10/21 H 12:34PM	Suelo	N 8816571 E 359 900		X		M-21 Metales totales (S0230)
2			F H		N E				
3			F H		N E				
4			F H		N E				
5			F H		N E				
6			F H		N E				
7			F H		N E				
8			F H		N E				
9			F H		N E				

PARAMETROS DE ENSAYO

Descripción de equipos utilizados:

Ítem	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1	01	TESIS PREGRADO
2		

	Muestreado por:	Cliente:
Nombre:		
Fecha:		
Firma:		

Recepción de muestra: LABORATORIO ANALI... S.A.C. 03 NOV 2021 08:30 CALLAO

Leyenda

V Vidrio	T° amb.	Temperatura ambiente	
P Plástico	T° refr.	Temperatura de refrigeración	
B Bolsa	C	Conforme	
N Norte	F	Fecha	
E Este	H	Hora	

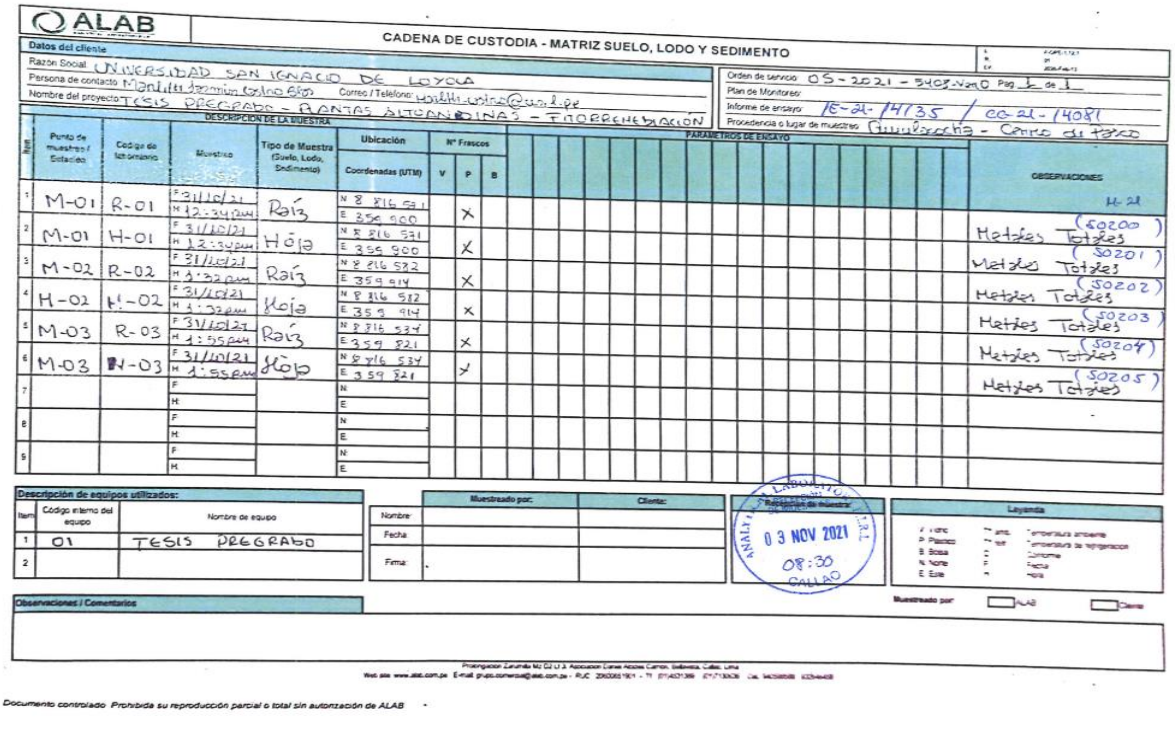
Muestreado por: ALAB Cliente

Observaciones / Comentarios

Prolongación Zarumilla Mz D2 L13 Asociación Lionel Richie Carrión, Ventanilla, Callao, Lima

Web site: www.alab.com.pe E-mail: grupo.comercial@alab.com.pe - RUC 20520657001 - T: (01)6531359 - (01)7133638 Cel. 947559588 - 925464458

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB



CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ SUELO, LODO Y SEDIMENTO

Datos del cliente

Razón Social: UNIVERSIDAD SAN IGNACIO DE LOYOLA

Persona de contacto: Manuith Jasmin Cotrina Egoy | Correo / Teléfono: Manuith.cotrina@usil.pe

Nombre del proyecto: TESIS PREGRADO - PLANTAS ALTOANDINAS - FITORREMEDIACIÓN

Orden de servicio: 05-2021-5405-Ver 0 | Pag. 1 de 1

Plan de Monitoreo:

Informe de ensayo: IE-21-14135 / CC-21-14081

Procedencia o lugar de muestreo: Quiulacocha - Cerro de Pasco

Ítem	Punto de muestreo / Estación	Código de laboratorio	Muestreo	Tipo de Muestra (Suelo, Lodo, Sedimento)	Ubicación Coordenadas (UTM)	N° Frascos V	P	B	OBSERVACIONES
1	M-01	R-01	F 31/10/21 H 12:34PM	Raíz	N 8 816 531 E 359 900		X		M-21 Metales Totales (S0200)
2	M-01	H-01	F 31/10/21 H 12:34PM	Hoja	N 8 816 531 E 359 900		X		Metales Totales (S0201)
3	M-02	R-02	F 31/10/21 H 1:32PM	Raíz	N 8 816 582 E 359 914		X		Metales Totales (S0202)
4	M-02	H-02	F 31/10/21 H 1:32PM	Hoja	N 8 816 582 E 359 914		X		Metales Totales (S0203)
5	M-03	R-03	F 31/10/21 H 1:55PM	Raíz	N 8 816 534 E 359 821		X		Metales Totales (S0204)
6	M-03	H-03	F 31/10/21 H 1:55PM	Hoja	N 8 816 534 E 359 821		X		Metales Totales (S0205)
7			F H		N E				
8			F H		N E				
9			F H		N E				

PARAMETROS DE ENSAYO

Descripción de equipos utilizados:

Ítem	Código interno del equipo	Nombre de equipo
1	01	TESIS PREGRADO
2		

	Muestreado por:	Cliente:
Nombre:		
Fecha:		
Firma:		

Recepción de muestra: LABORATORIO ANALI... S.A.C. 03 NOV 2021 08:30 CALLAO

Leyenda

Muestreado por: ALAB Cliente

Observaciones / Comentarios

Prolongación Zarumilla Mz D2 L13 Asociación Lionel Richie Carrión, Ventanilla, Callao, Lima

Web site: www.alab.com.pe E-mail: grupo.comercial@alab.com.pe - RUC 20520657001 - T: (01)6531359 - (01)7133638 Cel. 947559588 - 925464458

Documento controlado. Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización de ALAB

ALAB

CADENA DE CUSTODIA - AGRONOMÍA

I. : F-LAB-
R.: 00
I.V. 23-Mayo-

Razón Social: Marlith Jasmin Castro Blas - persona natural

Persona de contacto: Marlith Jasmin Castro Blas

Correo / Teléfono: jasmincastro1996@gmail.com

Proyecto: (Según lo detallado en la proforma / OS) ANALISIS DE METALES PESADOS EN LA PLANTA STIPA ICHU PAM QUILLACOCHA

Proforma: Pág.____ de _____

Orden de servicio: Pág.____ de _____

Procedencia Pasco - Pasivo Minero Quillacocha

Muestreado por: ☐ Alab ☐ Cliente

Nº	IDENTIFICACIÓN Fundo/Lote/Parcela (Máximo 35 caracteres)	DESCRIPCIÓN Descripción de la muestra declarada/ Marca / Lote de muestra (Máximo 35 caracteres)	Producto/ Tipo de Prodcuto (Ver Leyenda)	Sub Tipo de Producto (Ver Leyenda)	Código de Laboratorio (Ingreso por Personal de Alab)	Código de Informe (Ingreso por Personal de Alab)	Fecha y Hora Muestreo (Aplica para Microbiología)	PAQUETE O PARAMETROS DE ENSAYO
1	M	Raiz (R-03)	E	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
2	M	Parte aérea (T-03)	F	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
3	M	Suelo (S-01)	A	C			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
4	M	Raiz (R-04)	E	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
5	M	Parte aérea (T-04)	F	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
7	M	Raiz (R-05)	E	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
8	M	Parte aérea (T-05)	F	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
10	M	Raiz (R-06)	E	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	
11	M	Parte aérea (T-06)	F	-			F: 27/09/2023 H:4:00 pm	

Anexo N° 5: Constancia de Identificación de la planta *Stipa ichu*

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
MUSEO DE HISTORIA NATURAL

"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

CONSTANCIA N° 307-USM-MHN-2023

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

La muestra vegetal (fértil) recibida de **Marlith Jazmin Castro Blas**, estudiante de pregrado de la Facultad de Ingeniería, Universidad San Ignacio de Loyola ha sido estudiada y clasificada como: *Jarava ichu* Ruiz & Pav. y tiene la siguiente posición taxonómica, según el Sistema de Clasificación APG IV (2016).

ORDEN : Poales
FAMILIA : POACEAE
GÉNERO : *Jarava*
ESPECIE : *Jarava ichu* Ruiz & Pav.

Nombre vulgar: "Ichu"

Procedencia: Cerro de Pasco

Determinado por: MSc. Hamilton Beltran Santiago.

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

Lima, 6 de noviembre de 2023

MUSEO DE HISTORIA NATURAL - Herbario San Marcos - USM - JEFE

Dra. Joaquina Albán Castillo
JEFA DEL HERBARIO SAN MARCOS (USM)

Av. Arenales 1256, Jesús María
Apdo. 14-034, Lima 14, Perú
Telfs. (511)471-0117, 470-4471
265-6819, 619-7000 anexo 5703
e-mail: herbariosm@unmsm.edu.pe
https://museo.hn.unmsm.edu.pe

Anexo N° 6: Programa de Capacitación

Tema	Dirigido a	Capacitaciones antes de iniciar actividades de fitorremediación				
		Mes 1	**Mes 2**	**Mes 3**	**Mes 4**	**Mes 5**
Fitorremediación de PAM de Quiulacocha con la planta *Stipa ichu*	Autoridades y representantes de la comunidad	X				
Contaminación del PAM de Quiulacocha por Metales pesados y efectos que produce en el ecosistema y la salud de los pobladores aledaños	Población en general		X			
Disposición final y tratamiento de la planta *Stipa ichu* utilizada en la fitorremediación del PAM de Quiulacocha	Población en general			X		
Actividades de fitorremediación e importancia de la participación de las comunidades	Población en general				X	
Procedimiento de atención de quejas y reclamos	Población en general					X

Anexo N° 7: Galería Fotográfica del Trabajo Desarrollado

RECOJO DE MUESTRAS EN EL PAM DE QUIULACOCHA	