



UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

TESIS

**“DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS EN
ESPECIES VEGETALES QUE CRECEN EN ZONAS ADYACENTES A LOS
DRENAJES ÁCIDOS DE MINA EN EL DISTRITO DE HUALGAYOC-
CAJAMARCA 2016”.**

PRESENTADA POR:

JASON ERICK ARANGO RODRÍGUEZ

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

CAJAMARCA – PERÚ

JULIO - 2016

DEDICATORIA:

Dedico esta tesis a mi madre Rosa Melbin Rodríguez Yomona y mi abuela Vilma Rosa Yomona Rojas por sus constantes ánimos que ayudaron en gran medida a realizar este trabajo. Gracias.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi asesor de tesis Blgo Msc Marco Sánchez Peña por brindarme su apoyo, motivación, erudición y estoicismo, introduciéndome en esta interesante área de la investigación.

Jason Erick Arango Rodríguez.

ÍNDICE.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	11
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	12
1.2. DELIMITACIONES Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	12
1.2.1 Delimitaciones	12
A.-Delimitación Espacial	12
B. Delimitación Temporal.....	13
C. Delimitación social.....	13
D. Delimitación Conceptual.....	13
E. Tecnología de información	14
F. Definición del Problema.....	14
1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN.....	14
Problema principal	14
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.4.1 Objetivos Específicos.....	15
1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	15
1.6. VARIABLES.....	15
1.6.1 Variable Independiente.	15
A. Indicadores: Concentración de metales pesados.	15
B. Índices: mg/L y mg/kg.....	15
1.6.2 Variable Dependiente.	15
A. Indicadores: Concentración del metal	15
B. Índice: mg/kg	15
1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.	15
1.7.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
Tipo de investigación.	15
A. Nivel de investigación.	16
B. Método de investigación.	16
C. Diseño de investigación.....	16
.....	17
1.7.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
A. POBLACIÓN.....	19
CODIFICACIÓN.....	21
PERIODICIDAD:.....	21
1.7.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	21

A. TÉCNICAS.....	21
B. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	21
INSTRUMENTOS.....	21
1.8. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	22
Justificación:.....	22
Importancia:.....	22
Limitaciones de la investigación:.....	23
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	25
2.2 BASES TEÓRICAS.....	28
2.2.1 Área de investigación:.....	28
2.2.2 Pasivo Ambiental:.....	28
2.2.3 Pasivos ambientales en el Perú.....	30
2.2.4 Fitorremediación.....	34
2.2.5 Plantas Hiperacumuladoras.....	35
2.2.6 Metales Pesados:.....	39
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	46
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS	
RESULTADOS.....	48
3.1. ANÁLISIS DE TABLAS Y GRÁFICOS.....	49
3.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	49
A. ANÁLISIS DE METALES POR PLANTA.....	50
B. ANÁLISIS DE METALES PRESENTES EN CADA PLANTA.....	60
C. CONCENTRACIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE METALES PESADOS.....	77
D. CUADROS COMPARATIVOS.....	79
E. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	82
CONCLUSIONES:.....	83
RECOMENDACIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	88
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	89
Anexo 2 Mapa de Hualgayoc.....	90
Anexo N°3: Informe de ensayo del Laboratorio.....	91
Anexo N° 4: Resultados análisis de laboratorio.....	93
Anexo 5: Fotos especies Vegetales.....	95

ÍNDICE DE ESQUEMAS.

Esquema N° 1: Descripción del proceso de muestreo	17
Esquema N° 2: Descripción de toma de muestra.....	18

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro N° 1 Estaciones de muestreo.	13
Cuadro N° 2: Clasificación taxonómica de las especies colectadas por código	20
Cuadro N° 3: Resumen de los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs) en la cuenca del Río Llaucano, circunscrita a la Provincia de Hualgayoc.	33
Cuadro N° 4: Plantas hiperacumuladoras identificadas y las familias donde frecuentemente pueden encontrarse.	37
Cuadro N° 5: Concentraciones de cadmio y zinc (mg de metal/kg de tejido vegetal seco).....	37
Cuadro N° 6: Concentraciones de plomo en amaranto, alfalfa y acelga mg/Kg.....	37
Cuadro N° 7: Concentración de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en <i>Flaveria pubescens</i> y <i>Nicotina glauca</i> mg/kg.....	38
Cuadro N° 8: Metales tóxicos de interés (Según diversos Autores).	40
Cuadro N° 9: Concentración de metales pesados en <i>Calamagrostis tarmensis</i> en mg/kg.....	50
Cuadro N° 10: Concentración de metales pesados en <i>Paspalum bonplandianum</i> en mg/kg.....	51
Cuadro N° 11: Concentración de metales pesados en <i>Polytrichum juniperinum</i> en mg/kg.....	52
Cuadro N° 12: Concentración de metales pesados en <i>Gamochoaeta purpurea</i> en mg/kg.	53
Cuadro N° 13: Concentración de metales pesados en <i>Carex bonplandii</i> en mg/kg.....	54
Cuadro N° 14: Concentración de metales pesados en <i>Alchemilla orbiculata</i> en mg/kg.	55
Cuadro N° 15: Concentración de metales pesados en <i>Trifolium repens</i> en mg/kg.	56
Cuadro N° 16: Concentración de metales pesados en <i>Alchemilla procumbens</i> var. <i>andina</i> en mg/kg.	57
Cuadro N° 17: Concentración de metales pesados en <i>Gnaphalium dombeyanum</i> en mg/kg.....	58
Cuadro N° 18: Concentración de metales pesados en <i>Plantago australis</i> en mg/kg. ...	59
Cuadro N° 19: Concentración de aluminio presente en mg/kg por especie vegetal. ...	60
Cuadro N° 20: Concentración de arsénico presente en mg/kg por especie vegetal. ...	61
Cuadro N° 21: Concentración de cadmio presente en mg/kg por especie vegetal.	62
Cuadro N° 22: Concentración de calcio presente en mg/kg por especie vegetal.....	63
Cuadro N° 23: Concentración de cobre presente en mg/kg por especie vegetal.....	64
Cuadro N° 24: Concentración de cromo presente en mg/kg por especie vegetal.....	65
Cuadro N° 25: Concentración de fósforo presente en mg/kg por especie vegetal.....	66
Cuadro N° 26: Concentración de hierro presente en mg/kg por especie vegetal.....	67
Cuadro N° 27: Concentración de magnesio presente en mg/kg por especie vegetal. .	68
Cuadro N° 28: Concentración de manganeso presente en mg/kg por especie vegetal.	69
Cuadro N° 29: Concentración de mercurio presente en mg/kg por especie vegetal....	70
Cuadro N° 30: Concentración de plomo presente en mg/kg por especie vegetal.	72

Cuadro N° 31: Concentración de potasio presente en mg/kg por especie vegetal.	73
Cuadro N° 32: Concentración de sodio presente en mg/kg por especie vegetal.	74
Cuadro N° 33: Concentración de zinc presente en mg/kg por especie vegetal.	75
Cuadro N° 34: Concentraciones máximas por metales y especie vegetal en mg/kg. ..	77
Cuadro N° 35: Concentraciones mínimas por metales y especie vegetal en mg/kg.	78
Cuadro N° 36: Comparación de concentraciones máximas de cadmio y zinc de las especies del cuadro N° 34 y especies analizadas.....	79
Cuadro N° 37: Comparación de concentración máxima de plomo mg/kg.....	80
Cuadro N° 38: Comparación de concentración máxima de arsénico y cobre mg/kg. ..	81

ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico N° 1: Concentración de metales pesados en <i>Calamagrostis tarmensis</i> en mg/kg.....	50
Gráfico N° 2: Concentración de metales pesados en <i>Paspalum bonplandianum</i> en mg/kg.....	51
Gráfico N° 3: Concentración de metales pesados en <i>Polytrichum juniperinum</i> en mg/kg.....	52
Gráfico N° 4: Concentración de metales pesados en <i>Gamochaeta purpurea</i> en mg/kg.	53
Gráfico N° 5: Concentración de metales pesados en <i>Carex bonplandii</i> en mg/kg.	54
Gráfico N° 6: Concentración de metales pesados en <i>Alchemilla orbiculata</i> en mg/kg.	55
Gráfico N° 7: Concentración de metales pesados en <i>Trifolium repens</i> en mg/kg.	56
Gráfico N° 8: Concentración de metales pesados en <i>Alchemilla procumbens var. andina</i> en mg/kg.	57
Gráfico N° 9: Concentración de metales pesados en <i>Gnaphalium dombeyanum</i> en mg/kg.....	58
Gráfico N° 10: Concentración de metales pesados en <i>Plantago australis</i> en mg/kg. ..	59
Gráfico N° 11: Concentración de aluminio presente en mg/kg por especie vegetal.....	60
Gráfico N° 12: Concentración de arsénico presente en mg/kg por especie vegetal.	61
Gráfico N° 13: Concentración de cadmio presente en mg/kg por especie vegetal.	62
Gráfico N° 14: Concentración de calcio presente en mg/kg por especie vegetal.....	63
Gráfico N° 15: Concentración de cobre presente en mg/kg por especie vegetal.	65
Gráfico N° 16: Concentración de cromo presente en mg/kg por especie vegetal.	66
Gráfico N° 17: Concentración de fósforo presente en mg/kg por especie vegetal.	67
Gráfico N° 18: Concentración de hierro presente en mg/kg por especie vegetal.....	68
Gráfico N° 19: Concentración de magnesio presente en mg/kg por especie vegetal. .	69
Gráfico N° 20: Concentración de manganeso presente en mg/kg por especie vegetal.	70
Gráfico N° 21: Concentración de mercurio presente en mg/kg por especie vegetal.	71
Gráfico N° 22: Concentración de plomo presente en mg/kg por especie vegetal.	72
Gráfico N° 23: Concentración de potasio presente en mg/kg por especie vegetal.	73
Gráfico N° 24: Concentración de Sodio presente en mg/Kg por especie vegetal.	74
Gráfico N° 25: Concentración de zinc presente en mg/kg por especie vegetal.	76
Gráfico N° 26: Comparación de concentraciones máximas de cadmio y zinc de las especies del cuadro N° 34 y especies analizadas.....	79
Gráfico N° 27: Comparación de concentración máxima de plomo mg/kg.	80
Gráfico N° 28: Comparación de concentración máxima de arsénico y cobre mg/kg....	81

RESUMEN.

El estudio de plantas hiperacumuladoras de metales pesados es importante para una región minera como Cajamarca. En medida de que se conozcan más sus beneficios, se puede hacer un mejor uso de estas en los temas de fitorremediación o recuperación de pasivos mineros dejados por décadas de minería desde los tiempos de la colonia.

El problema de los pasivos mineros en Cajamarca radica en la generación de aguas ácidas, las cuales causan una grave contaminación a sus cuentas hidrográficas, perdiendo así importantes cantidades del recurso hídrico que podrían utilizarse para la agricultura y ganadería.

El objetivo de la presente investigación es determinar la acumulación de metales pesados que las plantas cercanas a los drenajes mineros, para así poder observar la resistencia de estas al crecer en un ambiente nocivo para muchas otras especies de flora y fauna. Se tomaron muestras de diez especies vegetales cercanas a un drenaje minero a las afueras de la ciudad de Hualgayoc en noviembre del 2014.

Los resultados obtenidos demuestran una resistencia elevada por parte de las especies vegetales para crecer en un medio tan nocivo como lo es un drenaje ácido.

Teniendo en cuenta el caso particular de la *Alchemilla procumbens var. andina*, la cual presenta las más elevadas concentraciones de algunos metales estudiados.

Palabras Clave: Fitorremediación, hiperacumulación, pasivos mineros, contaminación.

ABSTRACT.

Hyperaccumulators study of heavy metals is important for a mining region like Cajamarca. In that measure more aware of their benefits, you can make better use of these topics in phytoremediation or recovery of mining liabilities left by decades of mining from colonial times.

The problem of mining liabilities in Cajamarca lies in the generation of acidic waters, which cause serious pollution to their drainage, thus losing significant amounts of water resources that could be used for agriculture and livestock.

The aim of this research is to determine the accumulation of heavy metals that plants near mining drainage absorb, in order to observe the resistance is growing up in a harmful for many other species of flora and fauna environment. Samples of ten plant species near a mine on the outskirts of the city of Hualgayoc in November 2014 were taken drain.

The results show a high resistance from plant species to grow as harmful as it is an acid drainage medium.

Considering the particular case of *Alchemilla procumbens* var. *andina*, which presents the highest concentrations of some metals studied.

Keywords: Phytoremediation, hyperaccumulation, liabilities mining, pollution.

INTRODUCCIÓN.

Tras décadas de actividad minera en la región Cajamarca, han traído consecuencias a las zonas extractivas, ya que al dejar abandonada una zona de explotación sin previa mitigación o restauración de la misma se generan los pasivos ambientales, que a la larga generan un foco de contaminación constante.

Es interesante ver la interacción de las especies vegetales que crecen en estas zonas nocivas, ya que ofrecen una resistencia digna de estudio, es por eso que la presente tesis se centra en ello, en determinar la cantidad de contaminante (metales pesados) que han acumulado las especies vegetales al crecer tan cerca de un drenaje ácido.

Cajamarca al ser una región donde la actividad minera influye en gran medida al nivel socioeconómico de la región. Presenta además un conflicto social en los últimos años ya que viene siendo cuestionada por autoridades ligadas al cuidado del ambiente.

La actividad minera al ser de cualidad extractiva, necesariamente dejará una estela de pasivos mineros al finalizar sus operaciones, es por esto que se requiere de métodos de recuperación, mitigación, restauración o recuperación de zonas en etapa de cierre, pero esto no siempre es así, existen empresas mineras irresponsables, minería artesanal y minería informal que dejan sus pasivos sin tratamiento alguno, generando así un foco de contaminación constante.

La fitorremediación ofrece una alternativa económicamente más accesible para el tratamiento de un pasivo minero y su posterior recuperación. Esto también trae consigo el estudio de nuevas especies para el adecuado uso de esta técnica ya que los estudios realizados son muy escasos en nuestro país.

Es por eso que siguiendo el principio fundamental de las universidades como es el de la investigación, realizo esta Tesis, para aportar nuevas fuentes de información no solo a la Universidad sino también a otros investigadores nacionales o extranjeros.

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

En el Perú la actividad minera es una de las principales fuentes de ingreso económico, por ello el hecho de que existan diversos proyectos de extracción de minerales. Sin embargo estas actividades producen Pasivos Mineros, tales como aguas ácidas, suelos degradados, etc.

La provincia de Hualgayoc cuenta con 975 pasivos mineros los cuales afectan directamente a la calidad de agua y suelos donde se encuentran, y estos a su vez afectan en el desarrollo de las especies vegetales que crecen en sus cercanías (Informe CIA Colquirrumi S.A 2013). Por esta razón el potencial de las especies bioacumuladoras de metales es de su suma importancia para los procesos de restauración ambiental.

En el presente estudio se busca identificar las especies nativas de la Provincia de Hualagayoc con mayor potencial de Acumulación de metales.

1.2. DELIMITACIONES Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Delimitaciones

A.-Delimitación Espacial

La presente tesis se realizó en la provincia de Hualgayoc, Departamento de Cajamarca, Perú. Las muestras se colectaron en las afueras de la ciudad donde aún hay presencia de drenajes ácidos de Mina. A continuación en el cuadro N° 1 se ubican las estaciones de muestreo. En el anexo N° 2 se describe la ubicación de los puntos en el mapa de ubicación.

Cuadro N° 1 Estaciones de muestreo.

	Coordenadas UTM		M.S.N.M
F1	765453	9251852	3550
F2	765461	9251821	3521
F3	765464	9251806	3524
F4	765469	9251769	3541
F5	765487	9251756	3549
F6	765502	9251698	3568
F7	765511	9251669	3574
F8	765524	9251643	3596
F9	765514	9251669	3585
F10	765537	9251550	3632

Fuente: Elaboración propia.

B. Delimitación Temporal.

La investigación se realizó entre los meses de Noviembre del 2014 a Marzo del 2016

C. Delimitación social.

El presente trabajo de tesis se desarrolló en las zonas aledañas al Rio Hualgayoc donde existe presencia de Pasivos Mineros.

No hubo en la presente investigación participación directa e indirecta de la población de la zona de la zona de recolección de muestra.

D. Delimitación Conceptual

La investigación se enmarca en un proceso de análisis bibliográfico inicial, seguido por un proceso de muestreo en campo, análisis de elementos químicos de las especies colectadas y el análisis de resultados y la elaboración del informe final de tesis.

E. Tecnología de información

Gestión del Proceso escogido

El proceso de gestión escogido para el desarrollo de la presente tesis se define en los siguientes pasos:

- Evaluación de la información.
- Proceso de muestreo en el distrito de Hualgayoc
- Análisis en laboratorio.
- Análisis de Resultados.
- Interpretación de Resultados.
- Elaboración de las conclusiones

F. Definición del Problema

Actualmente no se cuenta con una base de datos extensa en metales pesados presentes en las especies vegetales cercanas a los pasivos mineros en Hualgayoc.

Es por eso que esta Tesis pretende generar datos que puedan hacer visible el potencial de bioacumulación que poseen las especies de la zona para ser aplicadas en futuros procesos de biorremediación en la región Cajamarca o a nivel nacional.

1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN

Problema principal

¿Cuáles son las concentraciones de metales pesados en las especies vegetales que crecen adyacentes a los drenajes ácidos de mina en la Provincia de Hualgayoc?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Determinar la concentración de metales pesados en especies vegetales que crecen en zonas adyacentes a los drenajes ácidos de mina en el distrito de Hualgayoc - Cajamarca.

1.4.1 Objetivos Específicos.

- Identificar la especie que posee la mayor concentración de hierro, arsénico, cadmio, plomo y mercurio.
- Clasificar taxonómicamente las especies colectadas.
- Contrastar los resultados obtenidos de concentración de metales pesados en las especies a estudiar con otras especies acumuladoras.

1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

Las especies vegetales que crecen en zonas adyacentes a los drenajes ácidos de mina del distrito de Hualgayoc presentan concentraciones elevadas de metales pesados.

1.6. VARIABLES.

1.6.1 Variable Independiente.

- Concentración de metales pesados en los drenajes ácidos de Mina

A. Indicadores: Concentración de metales pesados.

B. Índices: mg/L y mg/kg

1.6.2 Variable Dependiente.

Concentración de los metales en las especies vegetales

A. Indicadores: Concentración del metal

B. Índice: mg/kg

1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

1.7.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.

Tipo de investigación.

La presente investigación se enmarca dentro de los lineamientos de una investigación Básica – Cuantitativa.

A. Nivel de investigación.

El desarrollo de la presente tesis considera los siguientes niveles: exploratoria, descriptiva y experimental.

B. Método de investigación.

La presente investigación se desarrolla teniendo en cuenta los pasos del método científico.

Para la recolección de muestras se utilizó el método de herborización y ortodoxo.

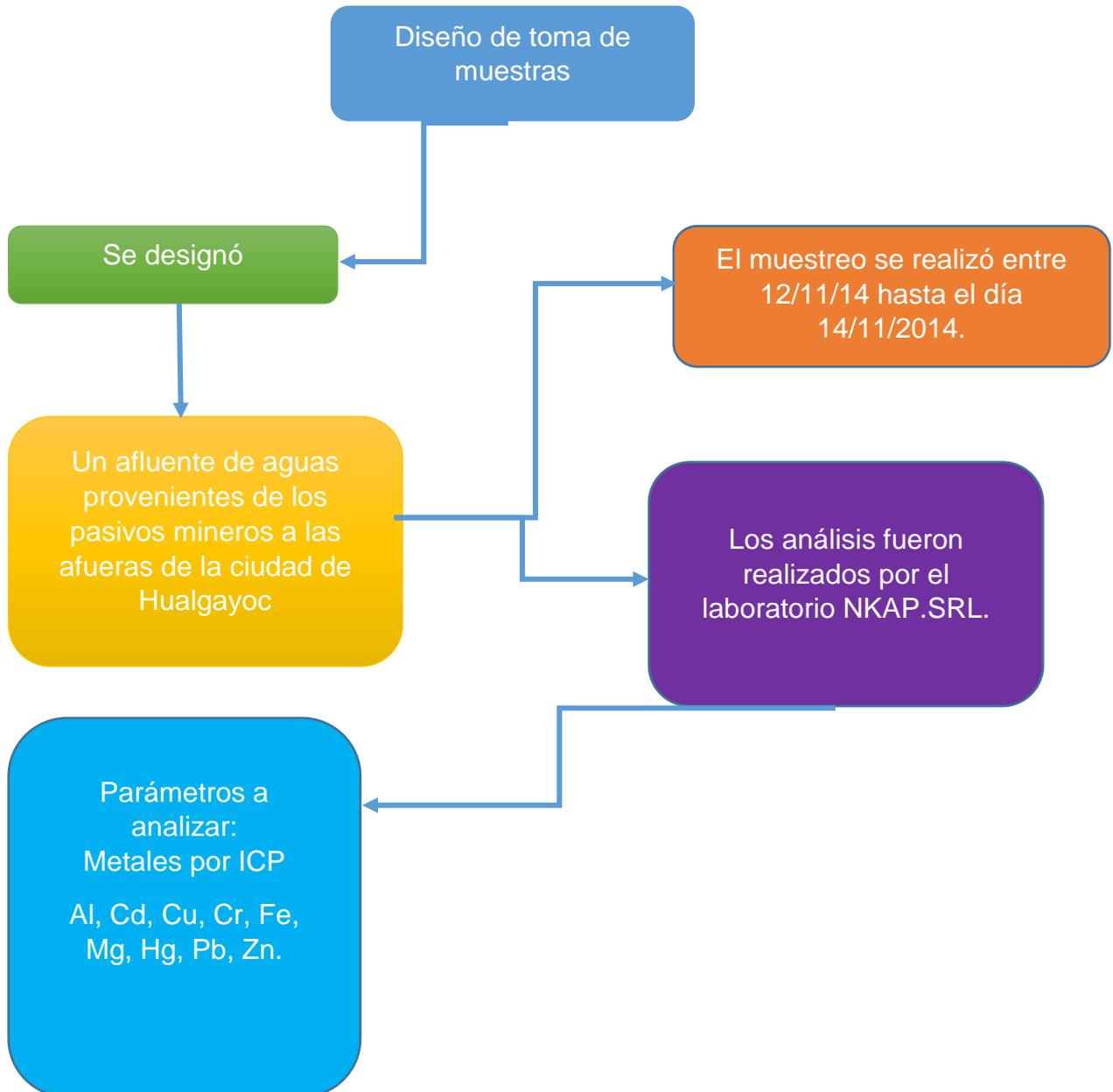
El método de análisis de las muestras, fue la técnica denominada método de ensayo metales por icp según la Norma de método EPA 200.7 Rev 4,4, 1994.

C. Diseño de investigación.

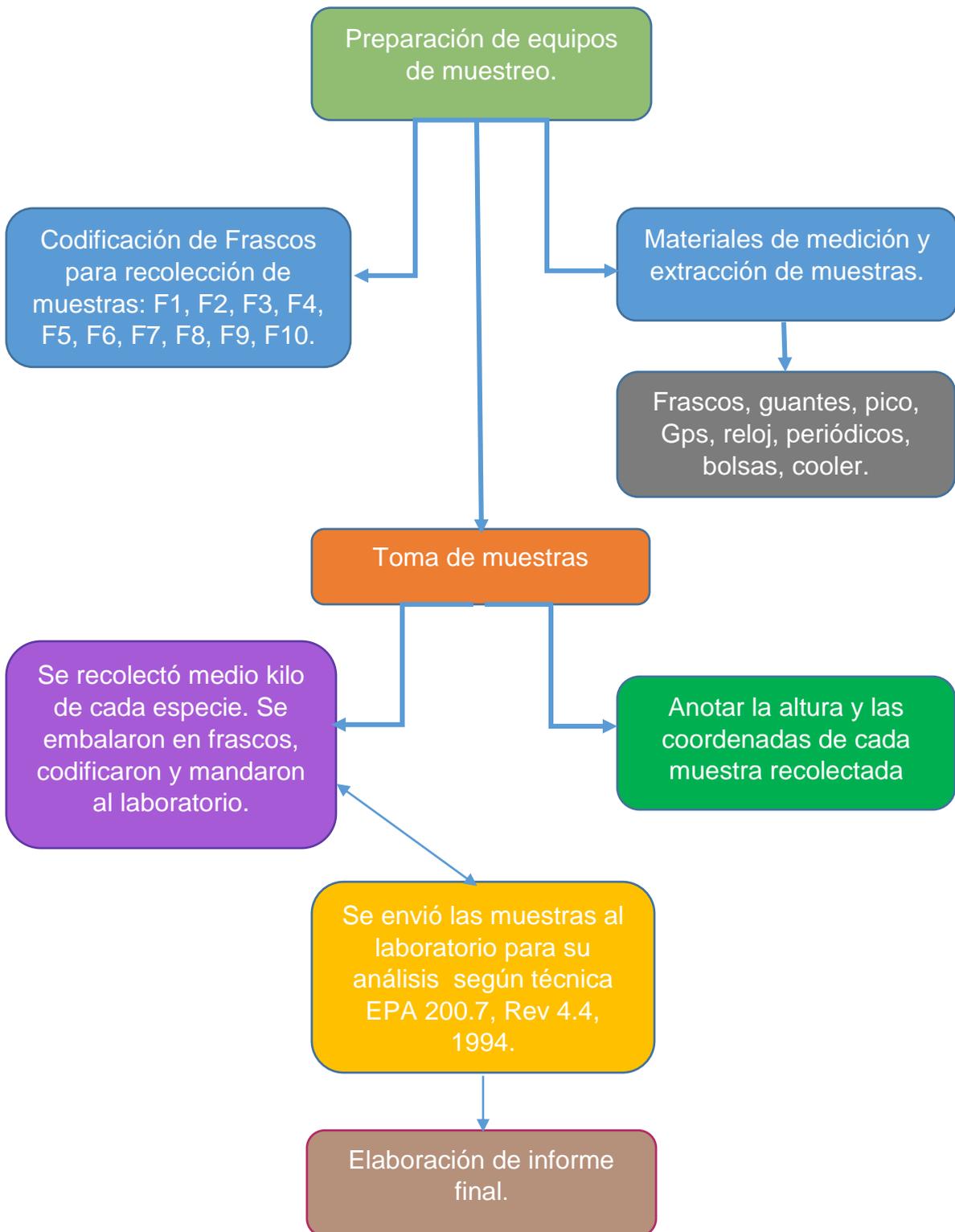
Para el cumplimiento de nuestros objetivos se desarrollaron los siguientes pasos:

1. Introducción a la problemática local, con el fin de comprender el contexto de la zona y las necesidades del estudio.
2. Revisión de Información Bibliográfica y búsqueda de trabajos relacionados en el Perú y el Mundo
3. Toma y recolección de muestras. El trabajo se desarrolla en la localidad del Distrito de Hualgayoc Cajamarca.
4. Determinación de metodologías analíticas a utilizar para el análisis de las muestras obtenidas en el proceso de monitoreo.
5. Análisis químico de laboratorio de las muestras recogidas. (NKAP. SRL)
6. Análisis de resultados y su tratamiento estadístico.
7. Presentación de informe final de Tesis.

Esquema N° 1: Descripción del proceso de muestreo



Esquema N° 2: Descripción de toma de muestra



1.7.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN.

A. POBLACIÓN.

La población son las especies vegetales que crecen adyacentes a lo largo del drenaje ácido de mina.

B. MUESTRA.

En el presente trabajo se cuenta con una población muestral de 10 especies vegetales, tomando 0.5 kg por cada especie. En cada muestra se ha analizado 32 metales pesados de los cuales se han evaluado 15 para su análisis. Estos son: aluminio, arsénico, cadmio, calcio, cobre, cromo, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo, potasio, sodio, cinc.

La codificación se muestra en el cuadro N° 2.

Cuadro N° 2: Clasificación taxonómica de las especies colectadas por código

MUESTRA	ESPECIE	GÉNERO	FAMILIA	ORDEN	SUPERORDEN	SUBCLASE	CLASE
F1	<i>Calamagrostis tarmensis</i> Pilg.	<i>Calamagrostis</i> Adans	<i>Poaceae</i> Barnhart	<i>Poales</i> Small	<i>Lilianaes</i> Takht	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F2	<i>Paspalum bonplandianum</i> Flügge	<i>Paspalum</i> L.	<i>Poaceae</i> Barnhart	<i>Poales</i> Small	<i>Lilianaes</i> Takht	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F3	<i>Polytrichum juniperinum</i> Hedw	<i>Polytrichum</i> Hedw	<i>Polytrichaceae</i> Schwägr	<i>Polytrichum</i> Hedw	<i>Polytrichaceae</i> Schwägr	<i>Bryidae</i> Engl.	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F4	<i>Gamochaeta purpurea</i> (L.) Cabrera	<i>Gamochaeta</i> Wedd	<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl	<i>Asterales</i> Link	<i>Asteranae</i> Takht	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F5	<i>Carex bonplandii</i> Kunth	<i>Carex</i> L.	<i>Cyperaceae</i> Juss	<i>Poales</i> Small	<i>Lilianaes</i> Takht	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F6	<i>Alchemilla orbiculata</i> Ruiz & Pav	<i>Alchemilla</i> L.	<i>Rosaceae</i> Juss	<i>Rosales</i> Bercht. & J. Presl	<i>Rosanae</i> Takht	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F7	<i>Trifolium repens</i> L.	<i>Trifolium</i> L.	<i>Fabaceae</i> Lindl.	<i>Rosanae</i> Takht	<i>Rosanae</i> Takht	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F8	<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	<i>Alchemilla</i> L.	<i>Rosaceae</i> Juss.	<i>Rosales</i> Bercht. & J. Presl	<i>Rosanae</i> Takht.	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht.	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F9	<i>Gnaphalium dombeyanum</i> DC.	<i>Gnaphalium</i> L.	<i>Asteraceae</i> Bercht. & J. Presl	<i>Asterales</i> Link	<i>Asteranae</i> Takht.	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht.	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh
F10	<i>Plantago australis</i> Lam.	<i>Plantago</i> L.	<i>Plantaginaceae</i> Juss.	<i>Lamiales</i> Bromhead	<i>Asteranae</i> Takht.	<i>Magnoliidae</i> Novák ex Takht.	<i>Equisetopsid</i> a C. Agardh

Nota: la identificación de las especies colectadas se realizó en el herbario de la Universidad Nacional de Cajamarca y la descripción taxonómica se tomó de www.trópicos.org del Jardín Botánico de Missouri.

CODIFICACIÓN

Las muestras fueron codificadas de la siguiente manera:

Los 10 frascos con muestras se codificaron con la letra "F", seguido del número de toma de muestra, (F1, F2, etc).

PERIODICIDAD:

Se realizó una toma de muestras entre los días 12 al 14 de Noviembre del 2014.

Parámetro. Metales totales en mg / kg.

1.7.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.

A. TÉCNICAS.

Las técnicas utilizadas para el desarrollo de la investigación fueron las siguientes: Fichas, resúmenes y cuadros sinópticos para sintetizar la información recolectada

B. RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.

a) Análisis de información. Se realizó un análisis de la información obtenida en internet, revistas científicas, artículos periodísticos, libros y en diversos artículos científicos.

b) Observación de campo. Se visitó el lugar para conocer la realidad problemática, se realizaron entrevistas a las personas que viven en zonas adyacentes al río. Recolección de las muestras en campo. Se envió las muestras al laboratorio.

c) Trabajo de Gabinete. Se interpretaron y analizaron los resultados obtenidos del proceso de análisis.

INSTRUMENTOS.

En la presente investigación se utilizaron los instrumentos que se describen a continuación

- Método ortodoxo.
- Método de Herborización. (<http://goo.gl/uCE6O1>).
- EPA, 200.7, Rev 4.4, 1994

- Base de datos del herbario de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Materiales:

- Gps.
- Frascos para recolección de muestras.
- Cooler de tecnopor brindado por el laboratorio.
- Pico pequeño para la extracción de las muestras.
- Guantes quirúrgicos.
- Cámara fotográfica.
- Prensa botánica
- Periódicos para conservar muestras a analizarse en el laboratorio de la UNC.

1.8. JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación:

La justificación de esta investigación radica en la falta de estudios realizados a las especies vegetales afectadas por los pasivos mineros presentes en Hualgayoc. Es por eso que con esta tesis se busca generar una base de datos que muestre las concentraciones de la acumulación de metales pesados de las especies vegetales en mención y sus posibles usos en los procesos de restauración ambiental que crecen en los pasivos mineros y por consiguiente la población adyacente a estos.

Al generar una base de datos que muestre la realidad de los contaminantes presentes en Hualgayoc, se podrá generar planes futuros para una mejor remediación de pasivos mineros reduciendo así a los metales pesados presentes en estos.

Importancia:

Al saber que metales pesados se encuentran presentes en los pasivos mineros y en qué cantidad son asimiladas por las especies vegetales presentes en la zona, podemos determinar cuáles son las más aptas para la extracción de los mismos, además de saber cuáles son aquellos con mayores concentraciones en el área afectada por el

pasivo minero, por lo cual se puede generar mejores planes de remediación acorde con las prioridades para mitigar al contaminante.

Limitaciones de la investigación:

La principal limitante de la investigación fue la población, ya que para extraer las muestras se tiene que tener cuidado al ser una localidad conflictiva la población guarda recelo por el ingreso de personas extrañas a la zona.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.

“Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas”. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007). Se describen los procesos metabólicos de la planta para la acumulación de metales pesados y los problemas en cuanto a la tolerancia que le pueden causar los mismos.

Un punto a destacar es el tema de la Micorrizas, las cuales son hongos adheridos a la raíz de la mayoría de las plantas y actúan en una relación simbiótica, las micorrizas. La planta obtiene del hongo la parte que viene del suelo mientras el hongo obtiene la parte que viene del aire, así la simbiosis proporciona por parte del hongo nutrientes minerales y agua (suelo), y por parte de la planta, sustratos energéticos y carbohidratos (fotosíntesis). (J.P. Navarro-Aviñó, 2007).

“Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum L.*”. (P.S. Kidd, 2007). Estudia las variaciones en hiperacumulación que puede tener el género *Alyssum L.* en varios individuos presentes en una misma zona de estudio. Las variaciones captadas en el género *Alyssum L.* son visibles generalmente en la zona aérea de la planta teniendo rangos de acumulación de Ni 1.800 y 31.200 mg kg⁻¹. (P.S. Kidd, 2007). También plantea la selección de la especie que acumule más contaminante para ser aplicada en la fitorremediación de suelos afectados, además de la posibilidad de alterar genéticamente a los especímenes para así generar una mejor tasa de absorción, aunque este en discusión si se da o no. (P.S. Kidd, 2007). Se propone la fitorremediación como tecnología verde para la remediación de suelos contaminados, además de ser una propuesta económica más viable que distintos procesos mecánicos, físicos y químicos, que dejan de ser eficientes en extensas áreas de remediación. (P.S. Kidd, 2007)

“Niveles De Metales Pesados En *Thymus Zygis* Desarrollado En Suelos Enmendados Con Residuos Orgánicos Urbanos”. (Virginia ILLERA, 2001). Se estudian las modificaciones de los contenidos y la distribución de metales pesados en suelo y en partes constitutivas de *Thymus zygis* desarrollados en parcelas experimentales de un área degradada del sur de Madrid. (Virginia ILLERA, 2001). Se describe la acumulación de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn,

presentes en los suelos tratados con biosólidos y residuos sólidos urbanos que han sido absorbidos por la especie vegetal *Thymus zygis*. Como resultado de la investigación se obtuvo que los metales pesados iban reduciéndose de manera significativa de los suelos, esto dado a la absorción de la especie vegetal presente en la zona estudiada. Los niveles de metales pesados presentes en la *Thymus zygis*, tanto en la raíz como en la parte aérea no alcanzaron a superar los LMP, por lo cual se recomendó seguir tratando los suelos degradados con biosólidos y residuos sólidos urbanos como propuesta de eliminación alternativa de estos, teniendo en cuenta un estudio en las especies vegetales autóctonas. (Virginia ILLERA, 2001).

“Determinación de la eficacia de la *Azolla caroliniana* como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados”. (Lara, 2011). Se propone verificar la capacidad de hiperacumulación en metales pesados del helecho acuático *Azolla caroliniana* en Cd y Pb, para fitorremediar medios acuáticos contaminados. (Lara, 2011). En las conclusiones se puede apreciar que la *Azolla caloriliana* es una opción para ser utilizada en la fitorremediación de medios acuáticos. (Lara, 2011). La *Azolla Caroliniana* demostró una resistencia a medios contaminados con Pb, siendo resistente y bioacumulador de este, no siendo el caso con el Cd. (Lara, 2011). Para el desarrollo de esta tesis se utilizó un ambiente controlado, por lo cual no se tienen datos de cómo actúa esta especie en su medio natural para la fitorremediación. (Lara, 2011).

“Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana”. (Cuevas, 2010). Según los resultados del estudio correspondiente a la mina Carolina, ubicada en el Distrito de Hualgayoc, Provincia de Cajamarca (Perú) se puede concluir que: Los suelos presentan altos contenidos en metales pesados, las plantas *Bidens triplinervia*, *Senecio sp*, *Sonchus oleraceus*, *Baccharis latifolia*, *Plantago orbignyana* y *Lepidium bipinnatifidum* son capaces de crecer en suelos con un alto contenido de metales pesados y tienen la habilidad de acumularlos en sus tejidos.

“Contaminación Y Fitotoxicidad En Plantas Por Metales Pesados Provenientes De Suelos Y Agua”. (Méndez, Ramírez, & Gutiérrez, 2009). Los

altos niveles de metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn) presentes en los suelos agrícolas y las aguas negras pueden acumularse, hasta volverse peligrosos ya que son absorbidos por los cultivos y estos tienden a tener un nivel de toxicidad que pueden generar daños en la salud humana. (Méndez, Ramírez, & Gutiérrez, 2009). Los metales pesados además pueden distorsionar en el metabolismo de las plantas, las cuales pueden resultar afectadas en sus características tanto visibles como genéticas. (Méndez, Ramírez, & Gutiérrez, 2009). A consecuencia de estos incrementos de concentraciones de metales en los suelos por prácticas inapropiadas, el aumento de la biodisponibilidad de los mismos para los múltiples cultivos ha estado causando daños, fitotoxicidad y con ello están provocando un riesgo latente para la salud de animales y los hombres. (Méndez, Ramírez, & Gutiérrez, 2009)

Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. (Villavicencio, 2001). Se estudia los casos de la lechuga, girasol y calabacín como extractores de zinc y cadmio del suelo.

Lechuga Romana (*Lactuca sativa* var. *Longifolia*) y el girasol (*Helianthus annuus*) tienen a acumular al Cd y Zn en la parte alta de la planta (hojas, tallo), hacia el final de su crecimiento se reporta más acumulación en la raíz. (Villavicencio, 2001)

La lechuga de hoja rizada (*Lactuca sativa* var. *Crispa*) y el calabacín (*Cucurbita moschata*), que crecieron en los sustratos contaminados, reportaron concentraciones altas de Cd y Zn en la parte baja de la planta (raíz), seguida por los tallos y las hojas, finalmente (según el caso) las flores y frutos. (Villavicencio, 2001)

“Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura”. (Concha, 2004)

Se realizó el estudio de las frutas comercializadas en el mercado central de la ciudad de Piura para determinar la concentración de metales pesados que estos tenían y constatar así si se encontraban dentro de los LMP. Se encontraron cantidades relativamente en Zinc y Plomo, las cuales se deben tomar en cuenta por la bioacumulación. (Concha, 2004)

“Niveles de concentración de metales pesados en vegetales emergentes en pasivos mineros Hualgayoc, Cajamarca, Perú”. (Sobrados, Hoyos, & Pérez). *Paspalum sp.* Es la especie vegetal que mayormente acumula metales pesados en estos pasivos mineros. (Sobrados, Hoyos, & Pérez). En los suelos donde habita *Paspalum sp.* Presenta a los metales pesados en concentraciones que sobrepasan los estándares internacionales. (Sobrados, Hoyos, & Pérez).

Paspalum sp., es la especie vegetal de mayor adaptación a acumular metales pesados en mayor concentración que los demás vegetales de alrededor de los pasivos mineros. (Sobrados, Hoyos, & Pérez)

2.2 BASES TEÓRICAS.

2.2.1 Área de investigación:

Para determinar el área de investigación, se tomó en cuenta el acceso al pasivo ambiental, el cual se encuentra a las afueras de la ciudad de Hualgayoc donde un drenaje ácido discurre libremente. Se realizó un transecto siguiendo la dirección del drenaje, georeferenciando los puntos de muestreo señalados en el cuadro N° 1.

Para la recolección de las muestras se utilizó el método de Herborización y Ortodoxo, para el análisis taxonómico; mientras que para la recolección de muestras para el laboratorio se usó el método EPA 200.7 Rev 4,4, 1994 cuyo parámetro es el de metales por ICP, la unidad de medida está en mg/kg.

2.2.2 Pasivo Ambiental:

Un pasivo ambiental podría definirse como aquella situación ambiental que, generada por el hombre en el pasado y con deterioro progresivo en el tiempo, representa actualmente un riesgo al ambiente y a la calidad de vida de las personas. (SNMPE, 2004)

A lo largo de la historia el hombre ha tenido distintas actividades las cuales han perjudicado su entorno, llegando a crear pasivos ambientales que han deteriorado la calidad del agua, suelo, aire y los ecosistemas.

Con un conocimiento sobre cómo se producen los pasivos ambientales se vienen elaborando planes para su mitigación y recuperación. Los pasivos ambientales son complejos y complicados para su recuperación, debido a las características físico químicas, los elevados costos para su control y rehabilitación, la falta de identificación de responsables y en otros casos por el incipiente desarrollo tecnológico para su recuperación. (SNMPE, 2004)

Por pasivo ambiental se entiende la suma de los daños no compensados producidos por una empresa al medio ambiente a lo largo de su historia, en su actividad normal o en el caso de accidente. En otras palabras, se trata de sus deudas hacia la comunidad donde opera. Surgen así, dos temas de análisis: La evaluación monetaria y la responsabilidad jurídica. (Martinez-Alier, 2003)

Si estas entidades fuesen obligadas a considerar como costos al conjunto de daños que transfieren a la colectividad, probablemente los daños ambientales producidos se reducirían, por que las empresas son hábiles para minimizar costos si tienen que pagarlos ellas mismas. (Martinez-Alier, 2003)

Ante un caso de pasivo ambiental ¿Quién debe asumir la responsabilidad?, esto debería recaer en las empresas o personas que generaron el pasivo para que se hagan cargo de la reparación o recuperación del mismo.

En primer lugar la evaluación de pasivos ambientales se enfrenta a problemas de inconmensurabilidad de valores e decir, la imposibilidad de representar en un solo lenguaje, en este caso el lenguaje monetario, los daños producidos en esferas diferentes de la actividad humana. (Martinez-Alier, 2003)

En segundo lugar, ¿qué incluir en la evaluación del pasivo ambiental? Se podría decir que una estimación completa tendría que incluir:

- El costo de reparación de daño
- El valor de la producción perdida a causa de la contaminación, es decir, la riqueza no producida
- Una compensación por los daños irreversibles

(Martinez-Alier, 2003)

El problema de los pasivos ambientales puede surgir cuando no es posible individualizar la responsabilidad, ya sea porque son muchos los sujetos o responsables o las actividades pasan por diferentes propietarios o ya no operan. En este caso, ni los antiguos propietarios ni los nuevos quieren hacerse cargo de los daños provocados en el pasado y el Estado se ve obligado a hacerlo, infortunadamente, generalmente no tiene los recursos ni la voluntad política para ejecutarlo. (SNMPE, 2004)

El grado de responsabilidad jurídica del pasivo ambiental al que las empresas están sujetas depende del sistema legislativo nacional donde el daño se produce. Muchas transnacionales occidentales prefieren operar en los países del sur, no sólo porque allí están las materias primas sino también porque las normas ambientales y laborales son menos estrictas, y esto permite ahorrar en los costos. Sin embargo, muchas veces el problema principal no es tanto la falta de legislación, sino de control. (SNMPE, 2004).

2.2.3 Pasivos ambientales en el Perú.

A. El caso Espinar:

Espinar es una provincia que se encuentra aproximadamente entre los 3800 y los 5000 metros de altura en los andes peruanos, entre Cusco y Arequipa. Su economía se basa en la ganadería y en una agricultura de subsistencia; se trata de un equilibrio muy frágil por las difíciles condiciones geográficas. La población es de 63 mil habitantes (la mayoría quechua hablantes). El 60% vive en zonas rurales. (CooperAcción, 2001)

La mina de cobre de la zona fue constituida en 1980 por el Estado peruano a través de un proceso de expropiación de la tierra de los comuneros campesinos, fue vendida en 1994 a la empresa norteamericana Magna Copper Company/ Magna Ltd, ahora pertenece a la la empresa australiana Broken Hill Proprietary. (Martinez-Alier, 2003)

La contaminación producida por la mina provoca no sólo graves daños a la salud, sino también la muerte de una parte del ganado de los campesinos y reduce la productividad de la agricultura. (Martinez-Alier, 2003)

Gracias a la intervención de CooperAcción, de Oxfam América y de la Coordinadora Nacional de las Comunidades Afectadas por la Minería (CONACAMI), se ha llevado a cabo una evaluación de impacto ambiental, aunque restringida principalmente a la contaminación del agua. De dicho análisis resulta que la concentración de arsénico y plomo exceden los límites establecidos en la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338. (Martinez-Alier, 2003)

Estos resultados no coinciden con los presentados en la evaluación de impacto ambiental presentado por la empresa, en la cual se concluye que los contaminantes están todos bajo los límites legales. (Martinez-Alier, 2003)

B. La Oroya:

La ciudad de la Oroya está ubicada a 3700 metros en la sierra peruana, donde se encuentra una fundición de plomo que pertenecía primero a Cerro de Pasco Corporation, luego a Centromin Perú S.A. y actualmente a la empresa Doe Run Co. (Martinez-Alier, 2003)

Varios estudios han demostrado el grado preocupante de contaminación en la Oroya. Un análisis de la Dirección General de Salud Ambiental (Dirección Nacional de Salud Ambiental, Dirección Ejecutiva de Ecología y Medio Ambiente 1999), ha encontrasen las 4 estaciones montadas de muestreo de plomo en el aire un promedio

de respectivamente 10,5; 1,9; 12,7 y 14,8 g/m³ y una concentración máxima de 27,53 g/m³. (Martinez-Alier, 2003)

La concentración de plomo en el aire se traduce en un nivel muy alto de plomo en la sangre de los habitantes de la Oroya. Los efectos del plomo en la salud humana son muy graves y pueden generar varias enfermedades, problemas gastrointestinales, disfunciones neuromusculares, disminución de la memoria, de la atención y de la vista. (Martinez-Alier, 2003)

C. Hualgayoc.

El distrito de Hualgayoc es uno de los tres que conforman la provincia de Hualgayoc, del departamento de Cajamarca, bajo la administración del Gobierno Regional de Cajamarca. Limita por el norte con los distritos de Chota y Bambamarca; por el sur con los distritos de Cajamarca, San Miguel y San Pablo; por el este con el Distrito de Bambamarca; y, por el oeste con los distritos de Chugur y San Miguel.

El distrito tiene una extensión de 226,17 km² y una población aproximada de 20 129 habitantes, de la cual el 90% es rural. Se ubica a unos 88 km al norte de Cajamarca y a 29 km al oeste de Bambamarca, a 3 515 m.s.n.m.

Los pasivos ambientales registrados en el informe del Fondo Nacional del Ambiente (FONAM, 2005) se catalogaron 1286 pasivos ambientales dejados por las actividades mineras en la cuenca del río Llaucano.

Cuadro N° 3: Resumen de los Pasivos Ambientales Mineros (PAMs) en la cuenca del Río Llaucano, circunscrita a la Provincia de Hualgayoc.

TIPO DE PASIVO	COD.	ZONAS								PARCIAL
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Bocamina	B	55	90	19	16	176	89	26	26	497
Media Barreta	MB	5	8			4	7	5	4	33
Corte	COD.	9	21	3	2	1	3			39
Chimenea	CH	4	12	1	1	20	4	2	1	45
Depósito de Desmonte	DD	63	118	26	15	135	96	35	44	532
Depósito de Relave	DR	-	-	1	-	-	9	6	-	16
Rajo	R	16	28	7	2	30	17	3	2	105
Tajo	T	6	1	2	2	2	1			14
Edificaciones e Instalaciones	PC-ED	-	-	-	-	-	3	1	1	5
TOTAL PASIVOS		158	278	59	38	368	229	78	78	1286

Fuente: (FONAM, 2005)

En términos geográficos, la zona de estudio conforma la cabecera y el trayecto alto del río Llaucano, debe mencionarse que el Río Llaucano es tributario del río Marañón, formando parte de la gran cuenca del río Amazonas y abarca las provincias de Cajamarca, Hualgayoc, Chota y Cutervo dentro del departamento de Cajamarca (FONAM, 2005)

En el informe del FONAM se establecen la bases para la remediación de los pasivos catalogados por prioridades y clasificándolos por tipo, el grado de priorización se basó en 8 criterios que vendrían a ser: Grado de contaminación, erosión, grado de inestabilidad, población potencialmente afectada, riesgos de accidentes, impacto en la productividad, extensión de la cuenca afectada y la conflictividad social. (FONAM, 2005)

Actualmente la Compañía Minera Colquirrumi S.A, asumió la remediación de 444 pasivos ambientales distribuidos en las Áreas de “El Sinchao” y Hualgayoc. (Félix Lewandowsky, 2015)

Según informa la Compañía Minera Colquirrumi de los 397 PAMs declarados en el área de Hualgaypc, más del 72% (286 PAMs) fueron generados por terceros y no como consecuencia de trabajos de Cía. Minera Colquirrumi S.A. Solamente el 28% (111 PAMs) fueron generados por esta. (Félix Lewandowsky, 2015)

2.2.4 Fitorremediación

En las últimas décadas del siglo XX surgieron tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar suelos o emplazamientos contaminados y recuperar los ecosistemas afectados. Cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de fitorremediación. (R.O. Carpena, 2007)

La fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo. (Chaney R. M., 1997)

Fitotecnologías: Se pueden aplicar tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen:

- **Fitoextracción:** Uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.
- **Fitoestabilización:** Uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.
- **Fitoinmovilización:** Uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo.
- **Fitovolatilización:** Uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización y para eliminar contaminantes del aire.

- **Fitodegradación:** Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminante orgánicos.
- **Rizofiltración:** Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y otros efluentes acuosos.

(R.O. Carpena, 2007)

La fitorremediación por sí misma, muestra una serie de limitaciones, tales como: la localización del contaminante cercano a la rizosfera, las condiciones física y químicas del suelo, la concentración del contaminante, riesgos de lixiviación de contaminantes más móviles y accesibilidad a la zona contaminada. Por lo tanto, estas tecnologías son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación bajo y deben considerarse procesos de recuperación a largo plazo. (R.O. Carpena, 2007)

2.2.5 Plantas Hiperacumuladoras.

La hiperacumulación es la capacidad que tienen algunas plantas para concentrar metales en sus tejidos a niveles muy por encima de los normales sin presentar síntomas de toxicidad. (M. Llugany, 2007)

Se podría calificar a la hiperacumulación como una ventaja adaptativa frente a otras, ya que al integrar la absorción de metales sin que les resulte tóxico pueden interactuar de manera más eficiente frente a su entorno. Al acumular estos metales ya sea en sus raíces, o parte aérea llama la atención a los investigadores para poder aprovecharlas en los procesos de fitorremediación. (M. Llugany, 2007)

Un área recuperada por la fitorremediación puede utilizarse o reaprovechar el área para distintas actividades (agricultura, actividad forestal o áreas de recreación). Sin embargo aún existen cuestiones sin resolver en relación a la evolución de estas características tan inusuales que presentan estas plantas. (Baker, 2000)

Por una parte las plantas hiperacumuladoras han de tener mecanismos de absorción y de tolerancia para poder resistir los elevados niveles de metales acumulados en sus tejidos que serían extremadamente tóxicos para otros organismos. Por otra la hiperacumulación es un proceso activo que parece estar implicado en la protección de la planta contra patógenos y herbívoros, confiriéndoles una posible ventaja adaptiva que aún no está firmemente establecida. (S. T. BEHMER, 2005)

Entre las plantas acumuladoras se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones hasta concentraciones excepcionalmente elevadas de metales pesados como el Ni, Zn y Co en su biomasa aérea sin mostrar ningún síntoma de toxicidad (Brooks, 1977). Es más algunas de estas plantas, no pueden completar sus ciclos vitales cuando crecen en suelos “normales” y se denominan plantas hiperacumuladoras. (P.S. Kidd, 2007)

El término “hiperacumuladoras fue acuñado por Brooks y Reever para referirse a plantas desarrolladas en campo capaces de acumular (mayor $1.000 \text{ mg Ni kg}^{-1}$) de materia seca en algún tejido de su biomasa aérea. (Brooks, 1977).

Actualmente se utiliza el término hiperacumuladora de metales para designar plantas que acumulan $>10000 \text{ mg/kg}$ de Mn y Zn, $>1000 \text{ mg/kg}$ de Co, Cu, Pb, Ni, As y Se, y $>100 \text{ mg/kg}$ de Cd. (P.S. Kidd, 2007).

También se puede referir a plantas hiperacumuladoras cuando estas acumulan Ni, Co, Pb en concentraciones superior a 0.1% de su peso seco. Para Zn, el límite es mayor al 1% así como para Cd es mayor al 0.01% de su peso seco. (Fabiana Soares dos Santos, 2007)

Cuadro N° 4: Plantas hiperacumuladoras identificadas y las familias donde frecuentemente pueden encontrarse.

Elemento	Número de Especies	Familias
Cd	1	<i>Brassicaceae</i>
Co	28	<i>Lamiaceae, Scrophulariaceaea</i>
Cu	37	<i>Cyperaceae, Lamiaceae, Poaceae, Scrophulariaceaea</i>
Mn	11	<i>Apocynaceae, Cunoniaceae, Proteaceae</i>
Ni	300	<i>Brassicaceae, Cunoniaceae, Flacourtiaceae, Violaceae, Euphorbiaceae</i>
Se	19	<i>Fabaceae, Brassicaceae</i>
TI	2	<i>Brassicaceae</i>
Zn	16	<i>Brassicaceae, Violaceae</i>
As	1	<i>Pteridaceae</i>

Fuente: (Fabiana Soares dos Santos, 2007)

Cuadro N° 5: Concentraciones de cadmio y zinc (mg de metal/kg de tejido vegetal seco).

Especie vegetal	Suelo con Cd	Suelo con Zn
	Cd (mg/kg tejido seco)	Zn(mg/kg tejido seco)
<i>Lechuga (Lactuca sativa var. Longifolia)</i>	540.2	795.9
<i>Lechuga (Lactuca sativa var. crispata)</i>	657.4	1301.3
<i>Calabacín (Cucurbita moschata)</i>	555.5	1367
<i>Girasol (Helianthus annus)</i>	270.3	1042.9

Fuente: (Villavicencio, 2001).

Cuadro N° 6: Concentraciones de plomo en amaranto, alfalfa y acelga mg/Kg.

	Concentración máxima de Plomo mg/kg
Amaranto	472.1
Alfalfa	1131.2
Acelga	522.7

Fuente: (Valencia, 2013)

Cuadro N° 7: Concentración de arsénico, cadmio, cobre, plomo y zinc en *Flaveria pubescens* y *Nicotina glauca* mg/kg.

Plantas	Metales				
	As	Cd	Cu	Pb	Zn
<i>Flaveria pubescens</i>	21.09	25.64	102.46	222.89	755.82
<i>Nicotina glauca</i>	91.94	106.07	95.17	188.85	1,984.48

Fuente: (José Enrique Santos Jallath, 2009)

Según las plantas ideales para ser usadas en la fitorremediación deben presentar rápido crecimiento y desarrollo, elevada producción de biomasa, sistema radical bien desarrollado, ser de fácil cultivo, tolerar y acumular elevadas concentraciones de metales pesados en su parte aérea. (Fabiana Soares dos Santos, 2007).

Cabe resaltar que las plantas hiperacumuladoras no eliminan el contaminante, son receptores que acumulan a estos dentro de sus procesos y suelen contenerlos en zonas específicas dentro de ellas (hojas, tallo, raíces), por lo cual se tienen que tener cuidado con el uso que se les dará a aquellas que hayan cumplido con su función.

A. Ventaja adaptiva de la hiperacumulación en las plantas:

Existen varias hipótesis sobre el valor adaptativo de la hiperacumulación, pero la más actual es su función en la protección de la planta contra el estrés biótico causado por patógenos y herbívoros. Esta propuesta es muy atractiva para explicar la razón de ser de las plantas hiperacumuladoras, y difiere de la defensa química natural existente en todas las plantas, basada en la síntesis de productos orgánicos procedentes del metabolismo secundario. (Martens, 1994)

Este tipo de protección requiere ciertas condiciones: la primera es que el metal sea más tóxico para el patógeno o herbívoro que para la planta; la segunda, que el metal impida la virulencia del patógeno o herbívoro, y finalmente, la tercera que el metal

incremente la resistencia de la planta frente al factor causante del estrés biótico. (M. Llugany, 2007)

Para que el ataque o la agresión del patógeno o herbívoro progrese, es necesaria una interacción a tres bandas: huésped, patógeno y entorno (ver figura). A parte de la virulencia del patógeno y la susceptibilidad del huésped, los factores ambientales más relevantes que determinan la intensidad del ataque son el clima, las propiedades del suelo, la competencia y la actividad humana. (M. Llugany, 2007)

Hay muy poca información de la influencia de un exceso de metales en la relación planta-patógeno. En algunos estudios se ha observado que los herbívoros que consumen plantas con altos contenidos en metal responden a su presencia viéndose afectados por su toxicidad (efecto plaguicida) o con una aversión posterior a la planta debido a su palatabilidad disuasiva (receptores del sabor) o por indigestión (ver figura). La disponibilidad de una elevada concentración de metales tóxicos puede tener, por lo tanto, un impacto positivo, negativo o nulo en el desarrollo del estrés biótico. (M. Llugany, 2007)

2.2.6 Metales Pesados:

Se define como metales pesados a aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5g/cm³ cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0.01%. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

- **Oligoelementos o micronutrientes.** Son los requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven

tóxicos. Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn.

- **Metales pesados sin función biológica conocida:** Cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva apareja disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, entre otro: Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl, etc.
(García I, 2005).

Los metales pesados se presentan de forma natural en los suelos, gracias a la actividad antrópica de los últimos años y la deposición de residuos tóxicos de este tipo ha contribuido a la acumulación de estos elementos en los suelos. En nuestra región la acumulación de metales pesados se ve directamente relacionada con los pasivos ambientales dejados por la actividad minera. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007)

El contenido de metales pesados en suelos, debería ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo. Pero la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables. (García I, 2005).

Cuadro N° 8: Metales tóxicos de interés (Según diversos Autores).

Muy Tóxicos y fácilmente disponibles				Contaminantes prioritarios según la EPA				Metales y no metales que aparecen en concentración superior a la normal por causas antrópicas.	
As	Pd	Zn	Tl	Sb	Pb	Cr	Ag	Ag	Pb
Co	Ag	Sn	Pb	As	Hg	Cu	Tl	As	Sb
Bi	Cd	Se	Te	Be	Ni	Zn		Cu	Sn
Ni	Pt	Cu	Hg	Cd	Se			Hg	Zn
Sb								Ni	

Fuente: Solano Marín (2005) citando a Seoáñez, 1999.

En 1993 se realizaron los primeros experimentos utilizando plantas hiperacumuladoras para extraer metales pesados de lugares contaminados (McGrath, 1993). Desde ese hecho se vienen descubriendo nuevas especies designadas a la fitoremediación, esta varía según las características de las plantas con su medio. (ph, clima, absorción, tipo de contaminante, etc). (M. Llugany, 2007).

Algunos metales pesados son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano (Zn, Se, Cu). Sin embargo a concentraciones más altas pueden conducir a toxicidad. Otros, en cambio (Cd, Hg, Pb) son extremadamente tóxicos, incluso en muy bajas cantidades. (Chaney R. R., 2004)

A. Características y efectos de los metales pesados (As, Cd, Pb, Zn, Hg):

La importancia de las características biogeoquímicas de los metales pesados reside en el papel que desempeñan al incorporarse en la cadena trófica y su influencia en la salud humana como último eslabón en dicha cadena (Solano Marín, 2005)

Arsénico (As): Es un constituyente natural de los minerales de plomo, cinc, oro y cobre, que puede liberarse durante el proceso de fundición de los mismos. Los gases y el material particulado de la minería y fundiciones pueden actuar como fuentes contaminantes de arsénico. (Adriano, 2001)

Se estima que la producción mundial de arsénico al año oscila entre 75000 y 100000 toneladas, de las cuales Estados Unidos utiliza la mitad. Los compuestos de arsénico se utilizan principalmente en la agricultura y silvicultura como plaguicidas, herbicidas y silvicidas. (Adriano, 2001)

Se usa también en bronce, pirotecnia, en la industria microelectrónica y en la manufactura de semiconductores. Algunos de sus compuestos se han usado en la construcción

de láseres ya que convierte la electricidad de luz coherente, en la industria de vidrio, colorantes, etc (Jiménez, 2003)

El arsénico inorgánico es un cancerígeno para el hombre. Se ha observado una alta incidencia de cáncer de piel y, posiblemente otros cánceres, en poblaciones que consumen agua de bebida con altas concentraciones de arsénico. (IHOBE, 1998).

Por la vía inhalatoria el efecto crítico es el cáncer de pulmón. Se ha observado un incremento de la incidencia de cáncer de pulmón en varios grupos expuestos ocupacionalmente a compuestos de arsénico inorgánico. (IHOBE, 1998)

Cadmio (Cd). Representa el 1.5×10^{-5} en peso de la corteza terrestre. No se encuentra nativo. Frecuentemente se presenta en pequeñas cantidades asociado a minerales de cinc. (Solano Marín, 2005)

Casi todo el cadmio se obtiene como subproducto en el procesado de minerales de cinc, cobre y plomo. El cadmio es componente de algunas de las aleaciones de más bajo punto de fusión. Se emplea mucho en recubrimientos de acumuladores y rectificadores. También en muchos tipos de soldadura, baterías de níquel-cadmio recargables, reactores nucleares. Su óxido, hidróxido y cloruro se usa en galvanotecnia. Su sulfuro como pigmento amarillo, los silicatos y boratos se emplean en los tubos de TV color, etc. (Jiménez, 2003)

El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales (Alloway, 1995)

Es considerado uno de los elementos más peligrosos para la alimentación humana, particularmente por su carácter acumulativo (J.P. Navarro et al., 2007).

El riñón es el órgano diana para el cadmio y el efecto crítico es la proteinuria. (Solano Marín, 2005)

El cadmio puede generar bronquitis, enfisema, nefrotoxicidad, infertilidad, cáncer de próstata. (Solano Marín, 2005)

En el ambiente, el cadmio es peligroso porque muchas plantas y algunos animales lo absorben eficazmente y lo concentran dentro de sus tejidos. Una vez absorbido el cadmio se acumula en los riñones, el hígado y los órganos reproductores. Entre los casos de envenenamiento por cadmio mejor conocidos y documentados se encuentra el producido en Japón y denominado como enfermedad de Itai-Itai. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007).

Mercurio (Hg). El mercurio es un metal blanco plateado muy tóxico, el único en estado líquido a 0 °C, posee gran capacidad de amalgama a casi todos los metales. Se evapora a 13°C y se encuentra trazas del cualquier producto que se analice. No es esencial para ningún proceso biológico, pero se acumula en la mayoría de seres vivos. (Ramírez, 2008)

Los efectos tóxicos del mercurio, inorgánico y orgánico, son debidos a que en su forma iónica no establecen enlaces químicos. (Ramírez, 2008)

Al revisar la acción sobre los sistemas enzimáticos, el mercurio es tóxico, porque precipita las proteínas sintetizadas por la célula, principalmente las neuronas, y porque inhibe los grupos sulfhídricos de varias enzimas esenciales. (Ramírez, 2008)

Todas las formas de mercurio son potencialmente tóxicas, pero el rango de toxicidad varía considerablemente, siendo el vapor de mercurio la forma más peligrosa, dado que puede difundir a través de los pulmones hasta la sangre y luego hasta el cerebro, donde puede causar daños importantes. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007)

En la bahía de Japón una fábrica de plásticos vertía aguas residuales que contenían 0.1ppb de mercurio. Las aguas de la bahía contenían 2 ppb, concentración apta para beber. El plancton tomaba el agua con mercurio pero no lo excretaba. Los peces pequeños que se acumulaban de plancton, tampoco lo excretaban, y tenían una concentración de mercurio de 200 ppb. En los grandes peces el nivel de mercurio estaba entre 4000 y 20000 ppb. Las familias que se alimentaron de estos peces desarrollaron la “enfermedad Minamata”, y muchos resultaron lisiados, paralizados, perdieron su visión, capacidades mentales o murieron. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007)

El mercurio puede causar alteraciones neurológicas y del sistema respiratorio. También promueve la pérdida de Ca y Mg. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007)

Plomo (Pb).

El plomo es un tóxico cuya ingestión (en forma de vapor, humo o polvo) provoca saturnismo y que se acumula en los huesos. Niños de hasta 6 años (los niños absorben 4-5 veces más plomo que los adultos) y mujeres embarazadas son los grupos más susceptibles de sufrir los efectos de plomo. (IHOBE, 1998)

Es el metal con propiedades tóxicas que más se ha propagado en el ambiente en las últimas décadas. Alteraciones neurológicas, anemia, cáncer de riñón. Los animales pueden absorber plomo por inhalación o ingestión. Si la absorción es

lenta la excreción lo es aún más, de manera que el plomo tiende a acumularse. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007)

La anemia es el primer síntoma de envenenamiento crónico por plomo, dado que interfiere en la síntesis del grupo hemo, reflejándose en síntomas tales como náuseas, vómitos y dolores abdominales. Más grave es la degeneración del tejido del sistema nervioso central. El Pb puede aprovechar la metabolización del Ca para sustituirlo y dañar la célula. (J.P. Navarro-Aviñó, 2007)

Como otros metales pesados el plomo se une e inactiva los grupos -SH e proteínas, inhibe las biosíntesis del grupo hemo y puede sustituir al calcio e los huesos y en el procesos bioquímicos (puede causar neurotoxicidad). Es tóxico para mamíferos y aves y se concentran en todos los organismos acuáticos. Se han observado problemas en la reproducción, una menor supervivencia y limitaciones en el crecimiento con niveles tan bajos como 1,0 – 5,1 $\mu\text{m/l}$ de Pb en agua. (Alloway, 1995)

Cinc (Zn). El cinc no presenta un gran interés desde el punto de vista toxicológico (Kiekens, 1995). La toxicidad del cinc generalmente está limitada a casos de sobredosis accidental o usos terapéuticos de altas dosis de cinc. (Van Campen, 1991)

Ingestas elevadas de cinc pueden alterar el balance de cobre, considerado importante porque deficiencias crónicas de cobre pueden producir efectos adversos al metabolismo del colesterol, También se ha asociado el descenso de los niveles de lipoproteínas de alta densidad como un efecto del cinc. (IHOBE, 1998)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.

- **ACCIONES ANTRÓPICAS.** Acciones realizadas por la especie humana. Del griego anthropos (hombre).
- **AMBIENTE:** Conjunto de todas las condiciones externas que influyen sobre la vida, el desarrollo y la supervivencia de un organismo.
- **BIOACUMULACIÓN:** hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, o sea, el aumento de la concentración de una sustancia en el organismo expuesto a partir de fuentes tanto bióticas como abióticas.
- **BIOCONCENTRACIÓN:** Capacidad de algunos elementos o compuestos químicos de concentrarse en tejidos de organismos vivo a causa de tener más afinidad con tejidos de organismos que con el medio.
- **BIOMAGNIFICACIÓN:** Ocurre cuando el contaminante se va acumulando a medida que va pasando de un ser vivo a otro en la cadena alimentaria, exhibiendo concentraciones sucesivamente mayores en ascender el nivel trófico.
- **BIOREMEDIACIÓN:** es el uso de seres vivos para restaurar ambientes contaminados.
- **BIOSFERA.** Todos los organismos vivos de la Tierra. Reúne, por tanto, a todas las comunidades.
- **CONTAMINACIÓN.** Cualquier alteración física, química o biológica del aire, el agua o la tierra que produce daños a los organismos vivos.
- **CONTAMINANTE.** Forma de materia o energía presente en un medio al que no pertenece, o bien, por arriba de su concentración natural en un medio no contaminado.
- **DEGRADACIÓN:** Es cualquier cambio en las propiedades del suelo que ocasione una reducción en las funciones que el mismo puede desempeñar.
- **DEPURACIÓN:** es la eliminación, ya sea por métodos físico/químicos o biológicos, de un contaminante antes de que éste alcance el medio ambiente.

- **DESERTIFICACIÓN:** es un proceso de degradación ecológica en el que el suelo fértil y productivo pierde total o parcialmente el potencial de producción
- **ECAS.-** Estándares de calidad ambiental.
- **EROSIÓN.** Desgaste o destrucción de las rocas y el suelo por la acción del viento, el agua o el hielo, para dar partículas pequeñas que pueden ser movilizadas por los mismos elementos.
- **FITOTOXICIDAD:** Se refiere a tóxicos que afectan a los vegetales. Efectos de toxicidad en especies vegetales sensibles, donde diversos factores edáficos pueden determinar la biodisponibilidad de un compuesto químico, y por lo tanto, la intensidad del efecto fitotóxico, tales como el contenido de materia orgánica y el pH del suelo, además del grado de solubilidad de la forma química.
- **HIPÓTESIS.** Planteamiento inicial cuya validez ha de ser confirmada por la experimentación o el razonamiento.
- **IMPACTO AMBIENTAL.-** el efecto que produce una acción sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos. El concepto puede extenderse, con poca utilidad, a los efectos de un fenómeno natural catastrófico.
- **MONITORIZACIÓN.-** supervisión necesaria para la ejecución del plan de acción establecido.
- **MUESTRA.** Parte seleccionada que se separa de un conjunto y que se considera representativa del mismo conjunto al que pertenece.
- **MUESTREO.** Recolección de una porción representativa para someterla a análisis y ensayos.
- **PH.-** medida de acidez o alcalinidad de una disolución.
- **POBLACIÓN.** Grupo de seres vivos de la misma especie que viven juntos en la misma zona y en la misma época. Por ejemplo, la población de cabras hispánicas de la Sierra de Cazorla, o la población de hayas del bosque del Irati.
- **PROTOCOLO.** Conjunto ordenado de reglas o procedimientos que se siguen para llevar a cabo una función determinada.

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

3.1. ANALISIS DE TABLAS Y GRÁFICOS.

3.1.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Se estimó un total de 10 muestras agrupadas en una campaña para obtener las especies vegetales presentes en el drenaje ácido de mina a las afueras de la ciudad de Hualgayoc.

Se realizó el análisis de metales totales presentes en la planta (raíz y tallo) de las muestras utilizando el método de análisis por ICP establecidos por la EPA, 200.7, Rev 4.4, 1994.

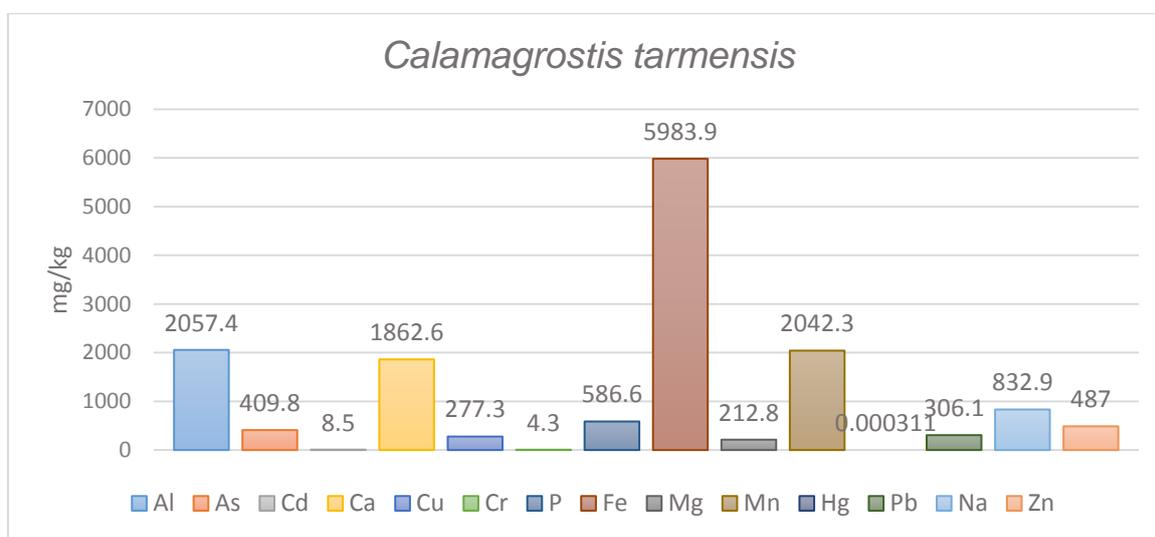
A. ANÁLISIS DE METALES POR PLANTA.

Cuadro N° 9: Concentración de metales pesados en *Calamagrostis tarmensis* en mg/kg.

Muestra	Al	As	cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	2057.4	409.8	8.5	1863	277.3	4.3	586.6	5984	212.8	2042.3	0.000311	306.1	832.9	487

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 1: Concentración de metales pesados en *Calamagrostis tarmensis* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

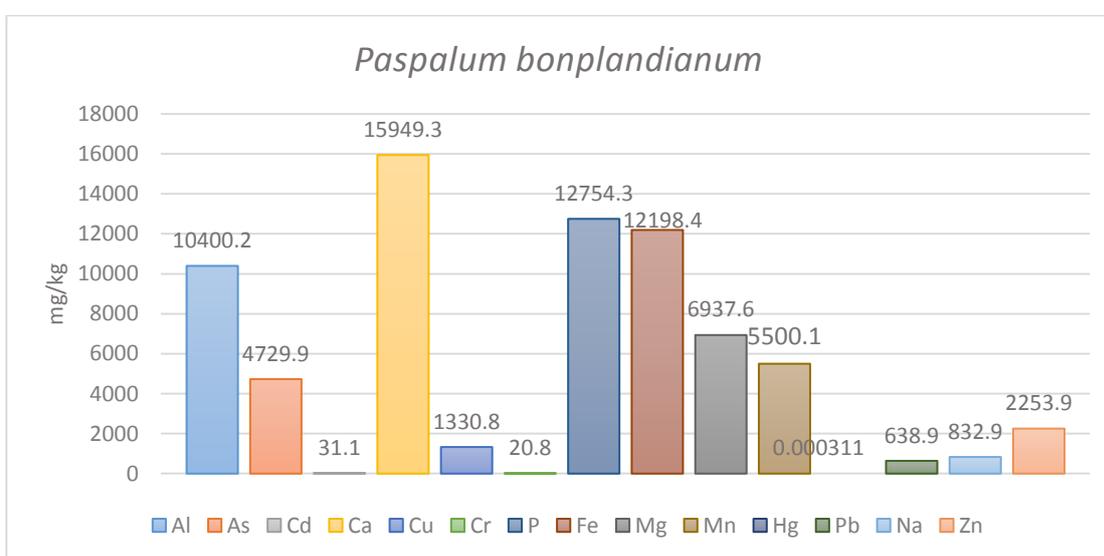
- La especie *Calamagrostis tarmensis* en el cuadro y gráfico anteriores se puede observar que las mayores concentraciones son de hierro, aluminio y manganeso. Por otro lado las menores concentraciones presentes son las de mercurio, cadmio y cobre.

Cuadro N° 10: Concentración de metales pesados en *Paspalum bonplandianum* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Paspalum bonplandianum</i>	10400.2	4729.9	31.1	15949.3	1330.8	20.8	12754.3	12198.4	6937.6	5500.1	0.000311	638.9	832.9	2253.9

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 2: Concentración de metales pesados en *Paspalum bonplandianum* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

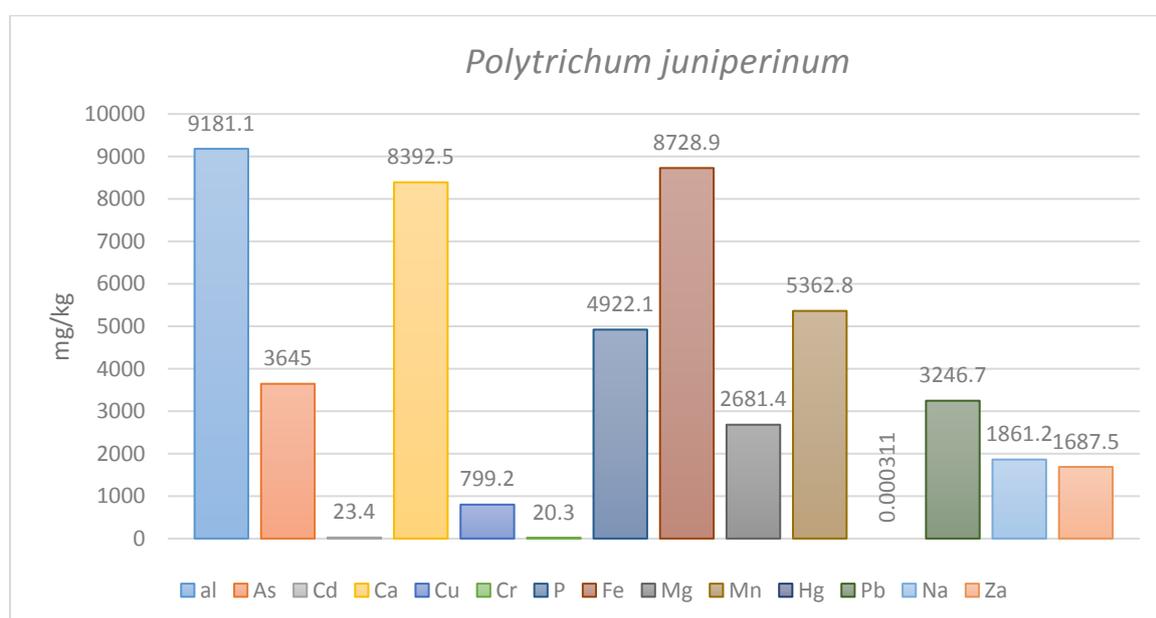
- La especie *Paspalum bonplandianum* presenta las concentraciones de más elevadas en el calcio, fósforo y hierro. Siendo importante señalar también la presencia elevada de aluminio, magnesio y arsénico. Los metales con concentraciones más bajas son el mercurio, cromo y cadmio.

Cuadro N° 11: Concentración de metales pesados en *Polytrichum juniperinum* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Polytrichum juniperinum</i>	9181.1	3645	23.4	8392.5	799.2	20.3	4922.1	8728.9	2681.4	5362.8	< 0.000311	3246.7	1861.2	1687.5

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 3: Concentración de metales pesados en *Polytrichum juniperinum* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

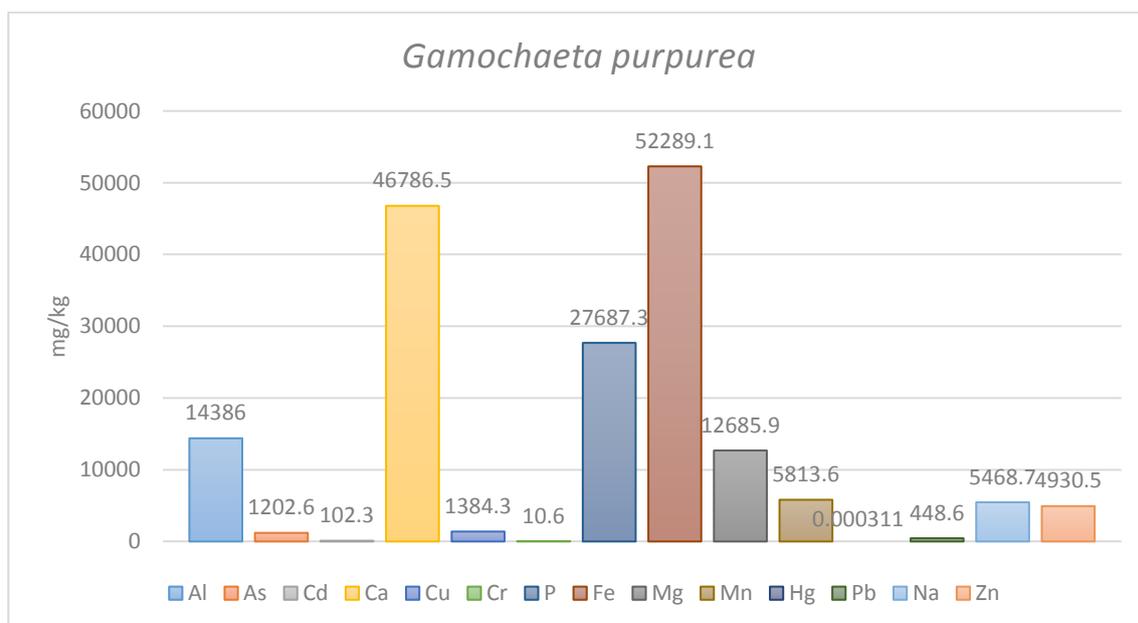
- La especie *Polytrichum juniperinum* presenta como mayor concentración de metales al aluminio, hierro y calcio, se puede apreciar que las concentraciones de estos en la especie son muy altas. Los metales con menor concentración presentes en esta especie son el mercurio, cromo y cadmio.

Cuadro N° 12: Concentración de metales pesados en *Gamochaeta purpurea* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Gamochaeta purpurea</i>	14386	1202.6	102.3	46786.5	1384.3	10.6	27687.3	52289.1	12685.9	5813.6	0.000311	448.6	5468.7	4930.5

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 4: Concentración de metales pesados en *Gamochaeta purpurea* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

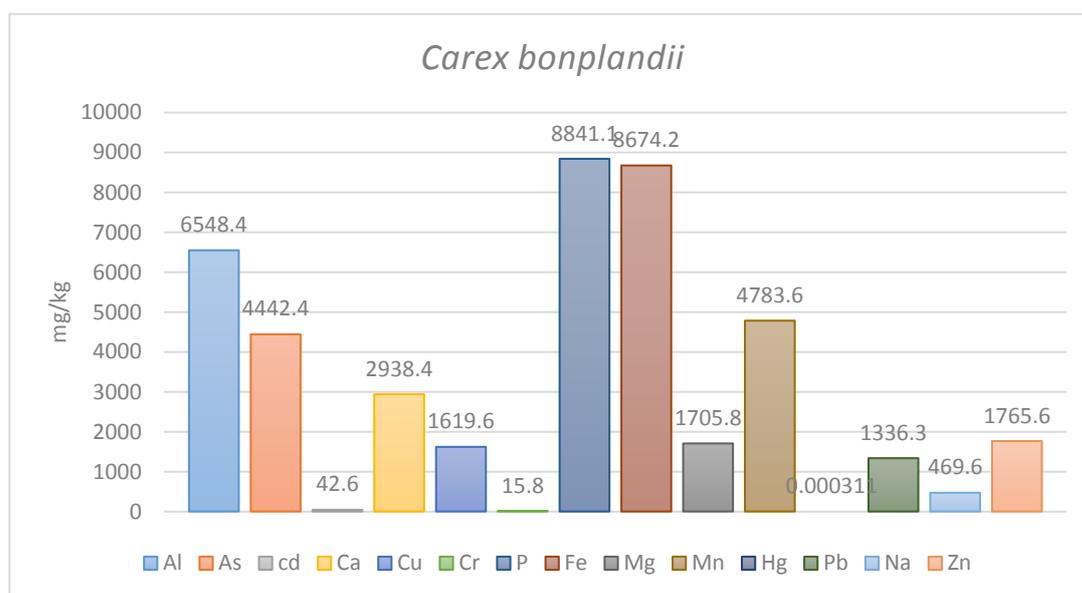
- La especie *Gamochaeta purpurea* presenta altas concentraciones de hierro, calcio, fósforo y aluminio.
- Mientras que las concentraciones más bajas son la del mercurio, cadmio y cromo.

Cuadro N° 13: Concentración de metales pesados en *Carex bonplandii* en mg/kg.

Muestra	Al	As	cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
Carex bonplandii	6548.4	4442.4	42.6	2938.4	1619.6	15.8	8841.1	8674.2	1705.8	4783.6	0.000311	1336.3	469.6	1765.6

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 5: Concentración de metales pesados en *Carex bonplandii* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

- La especie vegetal *Carex bonplandii* presenta una cantidad de elevada de fósforo, hierro y aluminio.
- El arsénico, cobre, plomo y cinc presentan concentraciones considerables.
- Los metales con menor concentración en esta especie son el mercurio, cromo y cadmio.

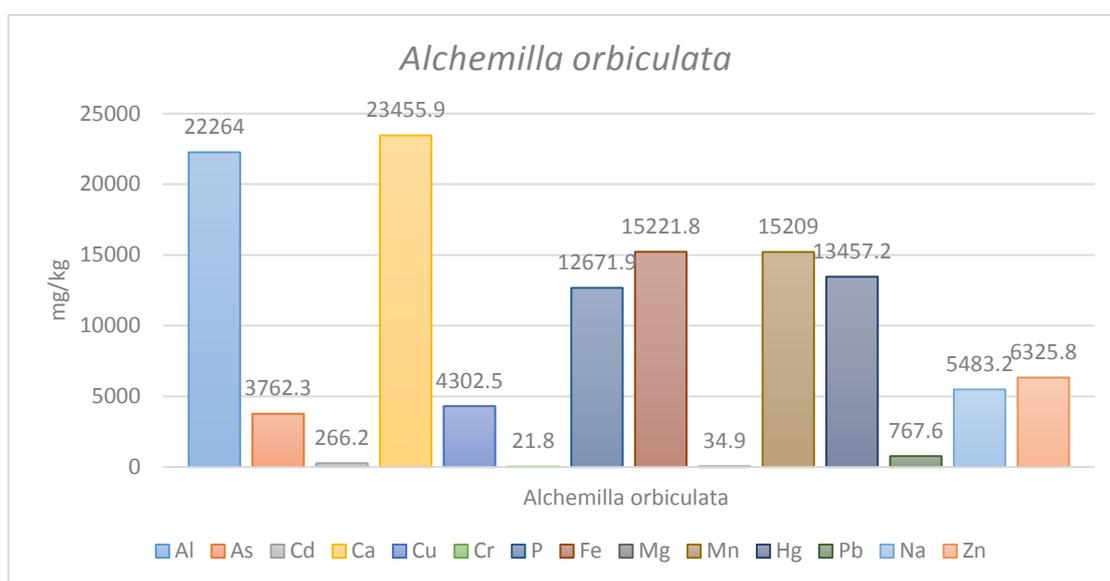
Se aprecia que en la primeras cinco especies vegetales analizadas la concentración de mercurio es mínima, siendo estas especies recolectadas a menor altitud que las demás.

Cuadro N° 14: Concentración de metales pesados en *Alchemilla orbiculata* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Alchemilla orbiculata</i>	22264	3762.3	266.2	23455.9	4302.5	21.8	12671.9	15221.8	34.9	15209	13457.2	767.6	5483.2	6325.8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 6: Concentración de metales pesados en *Alchemilla orbiculata* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

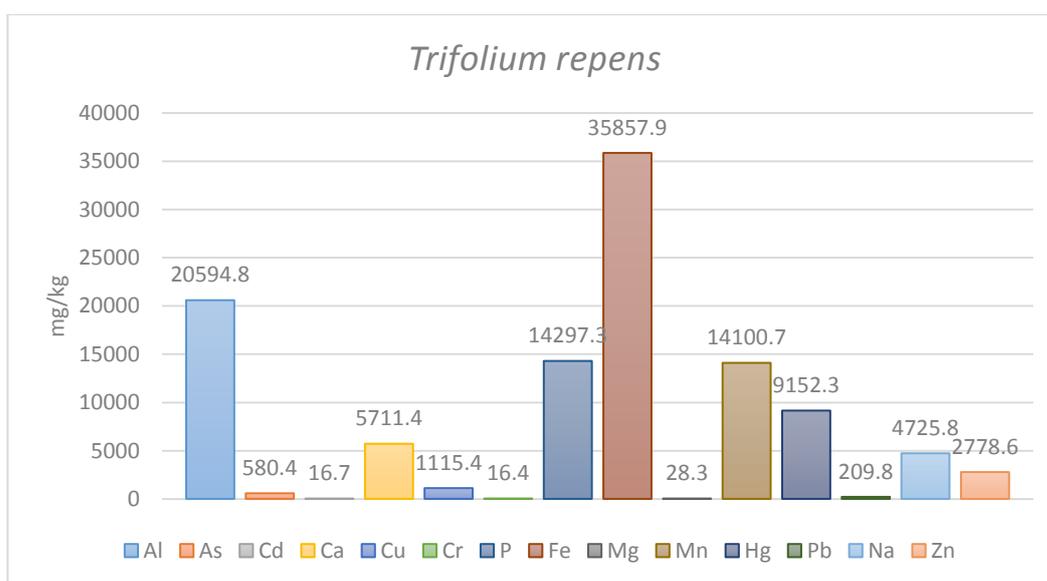
- En el gráfico se puede apreciar que la especie vegetal *Alchemilla orbiculata* presenta altas concentraciones de calcio y aluminio, también se aprecia la aparición de cantidades importantes de arsénico, cadmio, cobre, plomo y mercurio.

Cuadro N° 15: Concentración de metales pesados en *Trifolium repens* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Trifolium repens</i>	20594.8	580.4	16.7	5711.4	1115.4	16.4	14297.3	35857.9	28.3	14100.7	9152.3	209.8	4725.8	2778.6

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 7: Concentración de metales pesados en *Trifolium repens* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

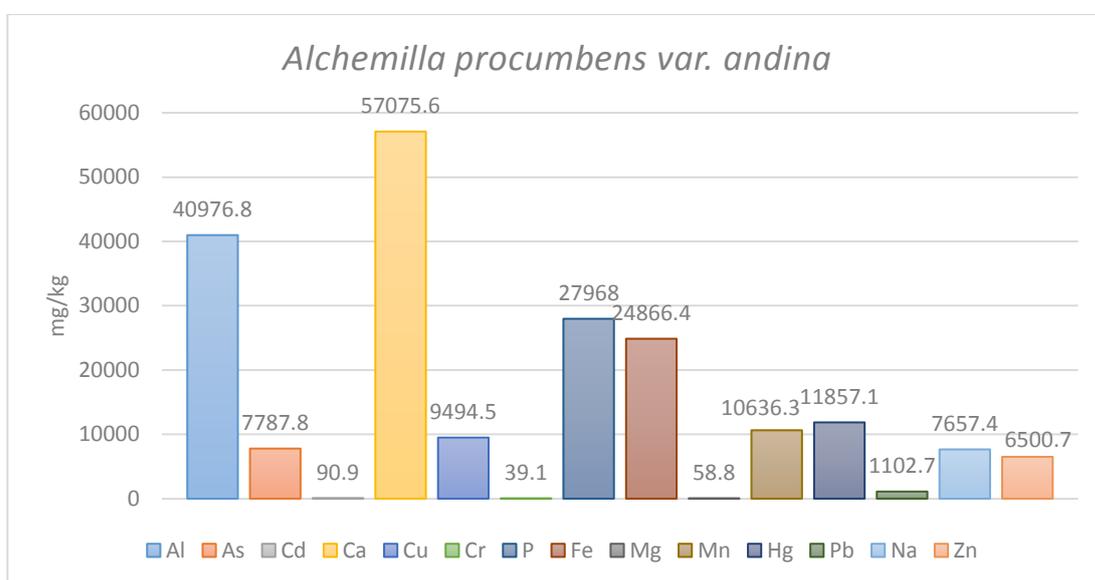
- En el caso de la especie vegetal *Trifolium repens* se observa que tiene una alta concentración de hierro y aluminio seguido de fósforo.
- A pesar de tener poca concentración en arsénico y cadmio se debe tomar en cuenta su elevada concentración de mercurio.

Cuadro N° 16: Concentración de metales pesados en *Alchemilla procumbens* var. *andina* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Alchemilla procumbens</i> var. <i>andina</i>	40976.8	7787.8	90.9	57075.6	9494.5	39.1	27968	24866.4	58.8	10636.3	11857.1	1102.7	7657.4	6500.7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 8: Concentración de metales pesados en *Alchemilla procumbens* var. *andina* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

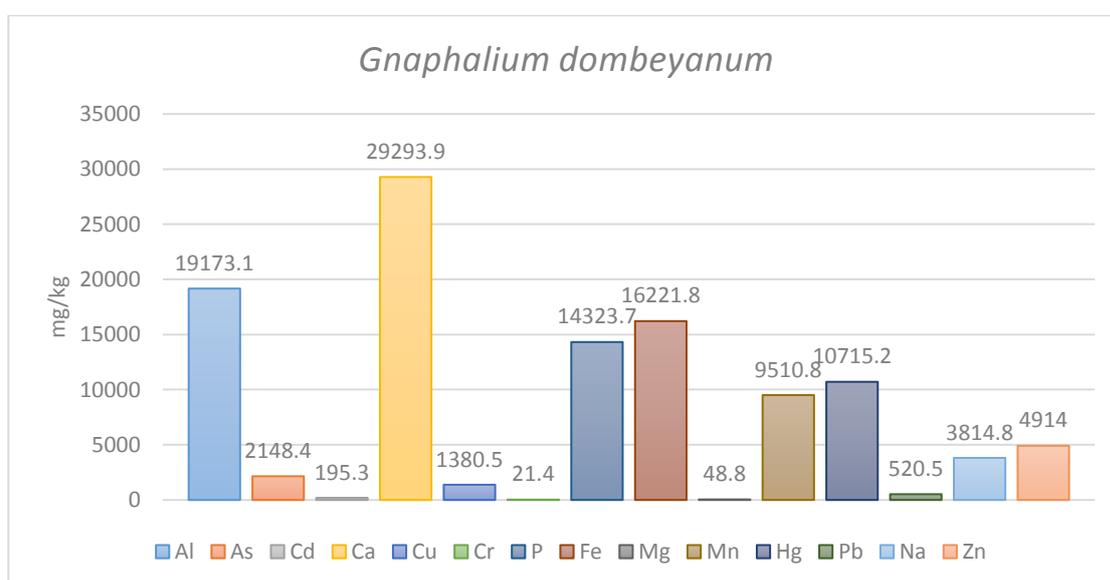
- La especie *Alchemilla procumbens* var. *andina* presenta altas concentraciones de calcio y aluminio respectivamente, en menor medida presenta fósforo y hierro.
- Es necesario mencionar sus concentraciones en arsénico, cobre, mercurio y plomo, las cuales son elevadas.
- Los metales con menores concentraciones son el cadmio, magnesio y cromo.

Cuadro N° 17: Concentración de metales pesados en *Gnaphalium dombeyanum* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	19173.1	2148.4	195.3	29293.9	1380.5	21.4	14323.7	16221.8	48.8	9510.8	10715.2	520.5	3814.8	4914

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 9: Concentración de metales pesados en *Gnaphalium dombeyanum* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

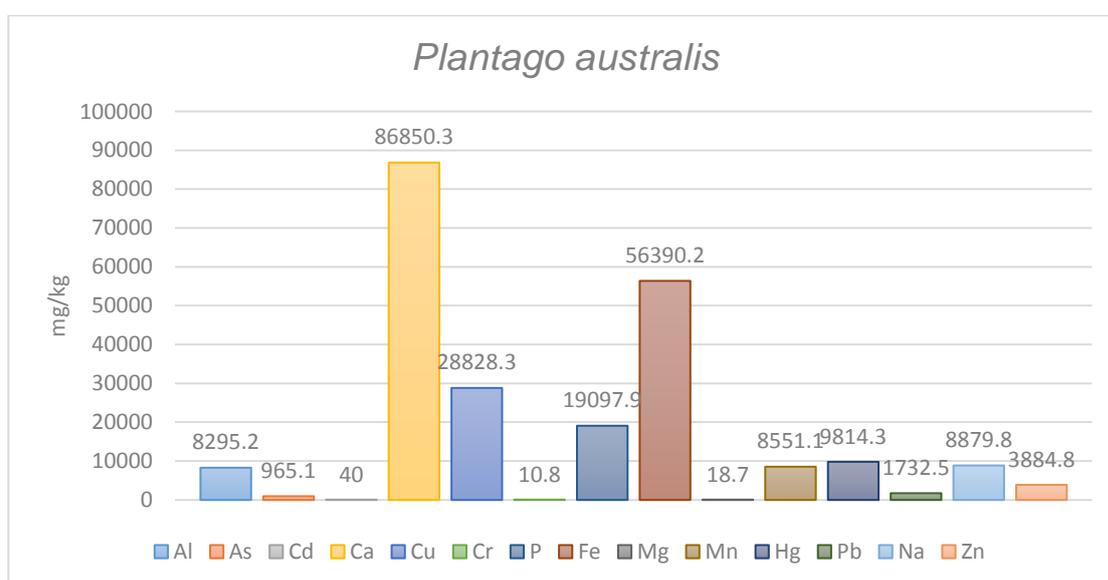
- La especie analizada *Gnaphalium dombeyanum* presenta concentraciones elevadas de calcio, aluminio, hierro y fósforo. Pero también presenta cantidades altas en otros metales importantes como son el arsénico, cobre y mercurio.
- Las concentraciones más bajas son para el cromo, cadmio, magnesio y plomo.

Cuadro N° 18: Concentración de metales pesados en *Plantago australis* en mg/kg.

Muestra	Al	As	Cd	Ca	Cu	Cr	P	Fe	Mg	Mn	Hg	Pb	Na	Zn
<i>Plantago australis</i>	8295.2	965.1	40	86850.3	28828.3	10.8	19097.9	56390.2	18.7	8551.1	9814.3	1732.5	8879.8	3884.8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 10: Concentración de metales pesados en *Plantago australis* en mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

- La especie *Plantago australis* presenta concentraciones muy altas en calcio y hierro. Le siguen en concentración el cobre y plomo.
- El Hg también cuenta con una concentración muy alta a tomar en consideración.
- Las concentraciones más bajas las vemos en el cadmio, cromo y magnesio.

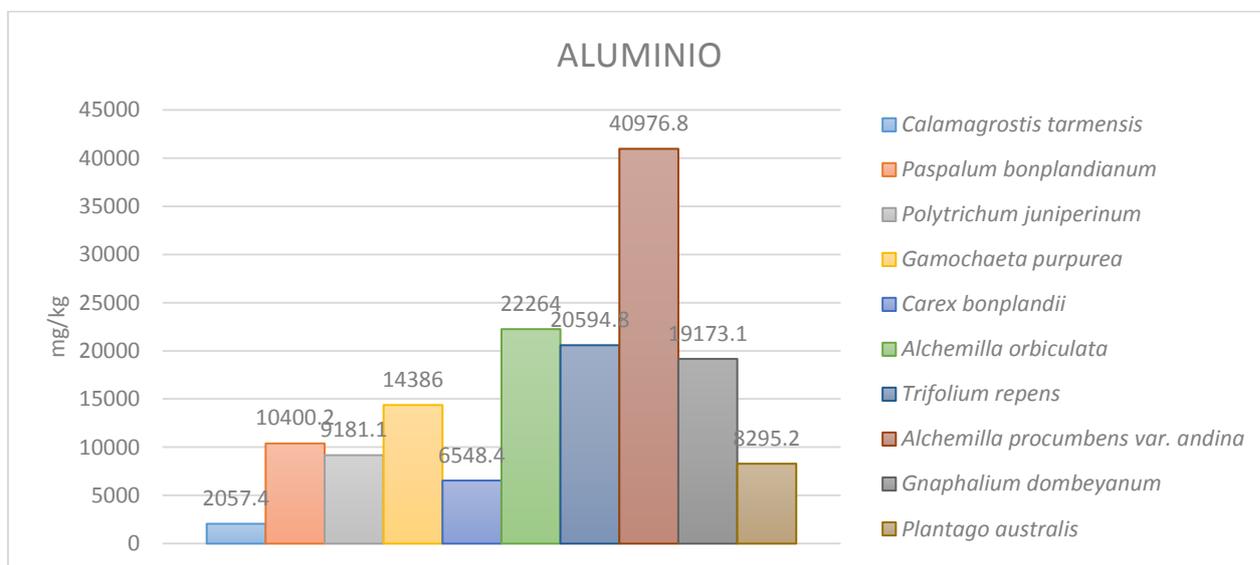
B. ANÁLISIS DE METALES PRESENTES EN CADA PLANTA.

Cuadro N° 19: Concentración de aluminio presente en mg/kg por especie vegetal.

Muestra	unidad	Aluminio
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	2057.4
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	10400.2
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	9181.1
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	14386
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	6548.4
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	22264
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	20594.8
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	40976.8
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	19173.1
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	8295.2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 11: Concentración de aluminio presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

- La presencia del aluminio se encuentra en mayor concentración en las especies *Alchemilla procumbens var. andina* (40976.8 mg/kg) y *Alchemilla orbiculata* (22264 mg/kg). A diferencia de las dos anteriores la especie

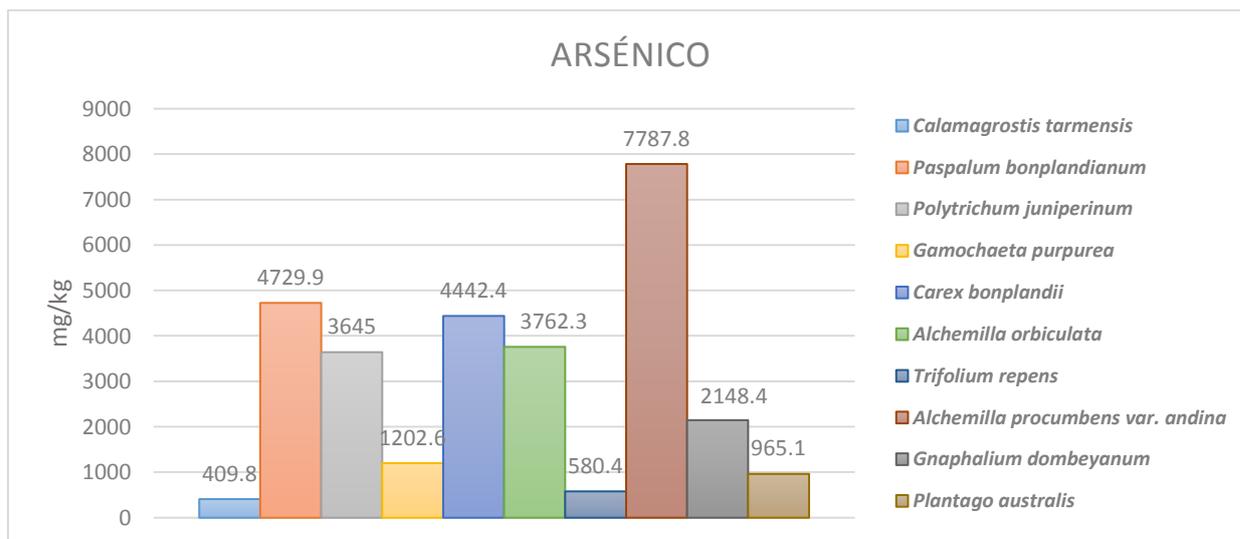
Calamagrostis tarmensis (2057.4 mg/kg), es la que menor concentración de aluminio presenta.

Cuadro N° 20: Concentración de arsénico presente en mg/kg por especie vegetal.

		Arsénico
Muestra	unidad	As
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	409.8
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	4729.9
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	3645
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	1202.6
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	4442.4
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	3762.3
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	580.4
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	7787.8
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	2148.4
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	965.1

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 12: Concentración de arsénico presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

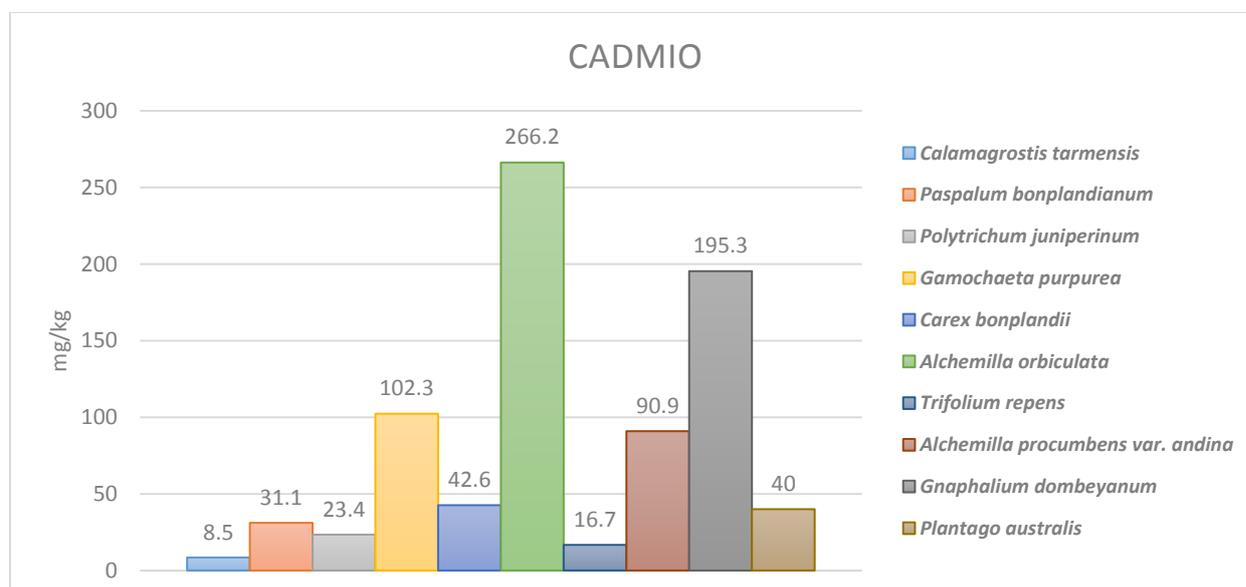
- Las especies que presentan mayores concentraciones de arsénico son la *Alchemilla procumbens var. andina* (7787.8 mg/kg) y el *Paspalum bonplandianum* (4729.9 mg/kg). Por otra parte la planta con menor presencia de arsénico es la *Calamagrostis tarmensis* (409.8 mg/kg).

Cuadro N° 21: Concentración de cadmio presente en mg/kg por especie vegetal.

Muestra	unidad	Cadmio Cd
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	8.5
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	31.1
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	23.4
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	102.3
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	42.6
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	266.2
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	16.7
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	90.9
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	195.3
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	40

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 13: Concentración de cadmio presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

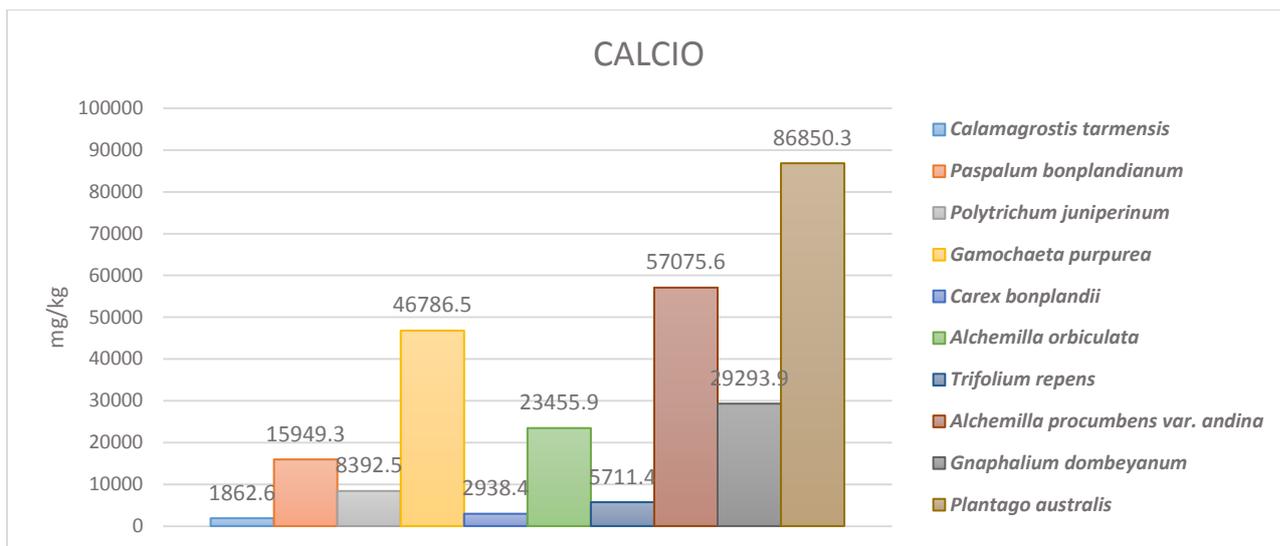
- En el caso del cadmio se aprecia que la *Alchemilla orbiculata* (266.2 mg/kg) junto con la *Gnaphalium dombeyanum* (195.3 mg/kg) son las especies con mayor concentración de este metal. La menor concentración de cadmio la presenta la especie *Calamagrostis tarmensis* (8.5 mg/kg).

Cuadro N° 22: Concentración de calcio presente en mg/kg por especie vegetal.

		Calcio
Muestra	unidad	Ca
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	1862.6
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	15949.3
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	8392.5
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	46786.5
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	2938.4
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	23455.9
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	5711.4
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	57075.6
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	29293.9
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	86850.3

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 14: Concentración de calcio presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

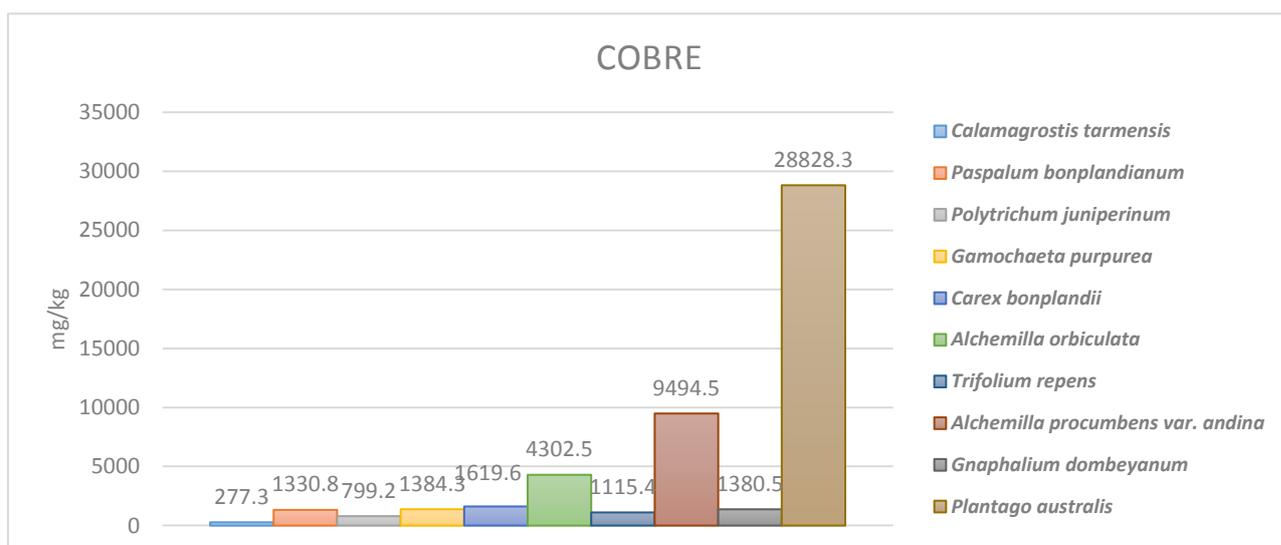
- Como se aprecia en el caso del calcio la especie *Plantago australis* (86850.3 mg/kg), es la que por lejos presenta una mayor concentración de este metal, seguido de la *Alchemilla procumbens var. andina* (57075.6 mg/kg). En este mismo caso se aprecia que otra vez la especie con menor concentración es la *Calamagrostis tarmensis* (1862.6 mg/kg).

Cuadro N° 23: Concentración de cobre presente en mg/kg por especie vegetal.

Muestra	unidad	Cobre Cu
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	277.3
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	1330.8
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	799.2
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	1384.3
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	1619.6
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	4302.5
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	1115.4
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	9494.5
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	1380.5
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	28828.3

Fuente: elaboración propia.

Gráfico N° 15: Concentración de cobre presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

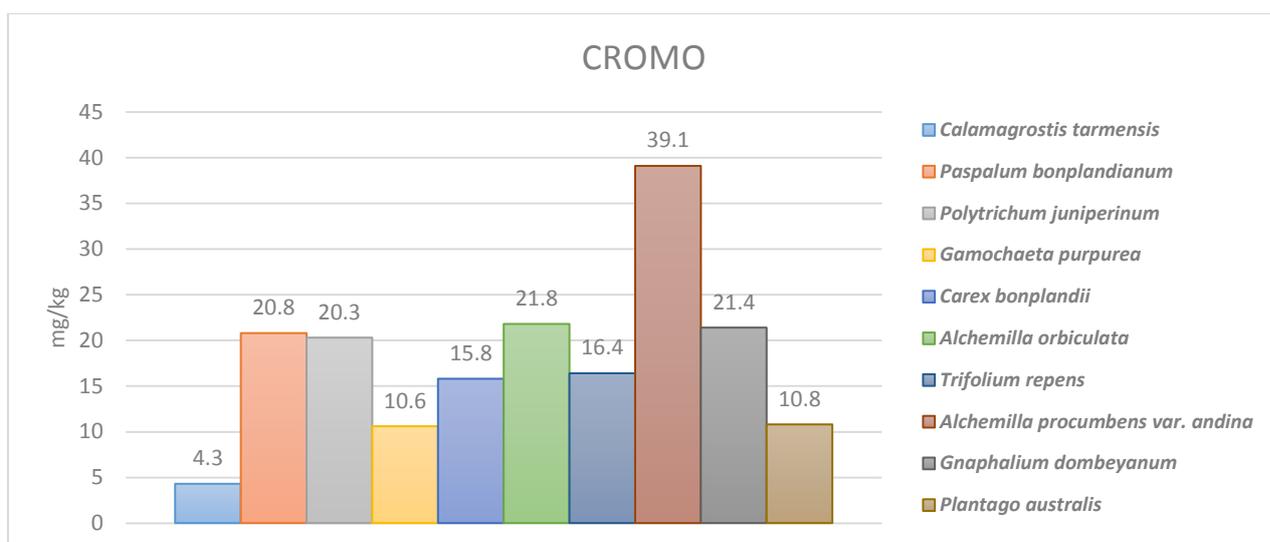
- En el caso del cobre se aprecia una mayor concentración en la especie *Plantago australis* (28828.3 mg/kg), con respecto a las demás. Para el cobre la especie con menor concentración de este metal es la *Calamagrostis tarmensis* (277.3 mg/kg).

Cuadro N° 24: Concentración de cromo presente en mg/kg por especie vegetal.

Muestra	unidad	Cromo
		Cr
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	4.3
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	20.8
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	20.3
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	10.6
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	15.8
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	21.8
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	16.4
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	39.1
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	21.4
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	10.8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 16: Concentración de cromo presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

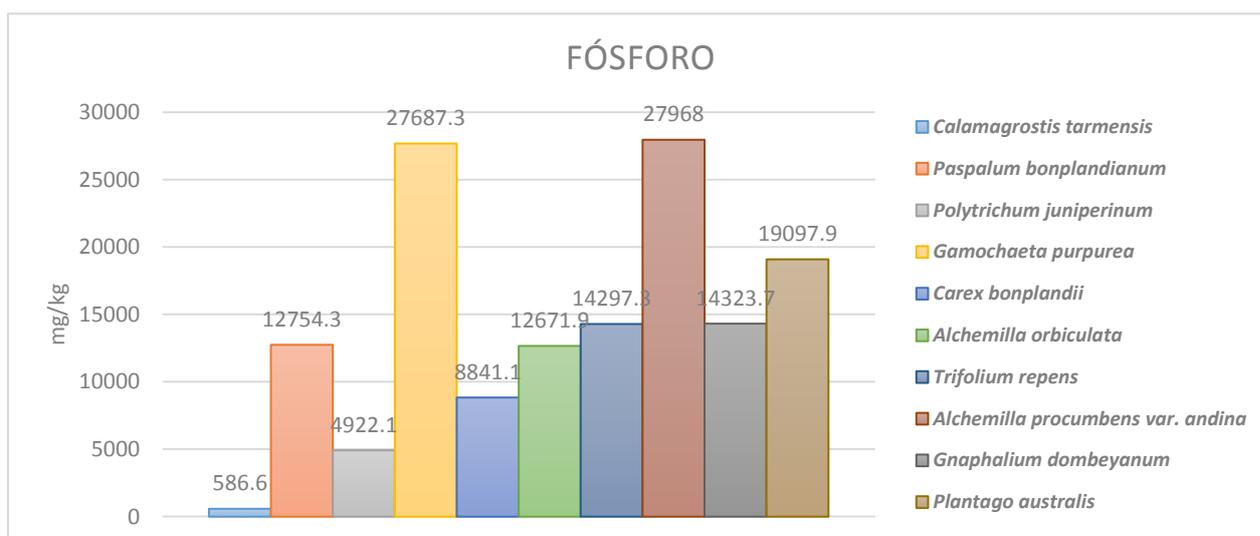
- La *Alchemilla procumbens var. andina* (39.1 mg/kg) y la *Alchemilla orbiculata* (21.8 mg/kg) son las que presentan mayores concentraciones de Cr, mientras la especie *Calamagrostis tarmensis* (4.3 mg/kg), es la que menos concentración tiene.

Cuadro N° 25: Concentración de fósforo presente en mg/kg por especie vegetal.

Muestra	unidad	Fósforo P
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	586.6
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	12754.3
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	4922.1
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	27687.3
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	8841.1
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	12671.9
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	14297.3
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	27968
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	14323.7
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	19097.9

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 17: Concentración de fósforo presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

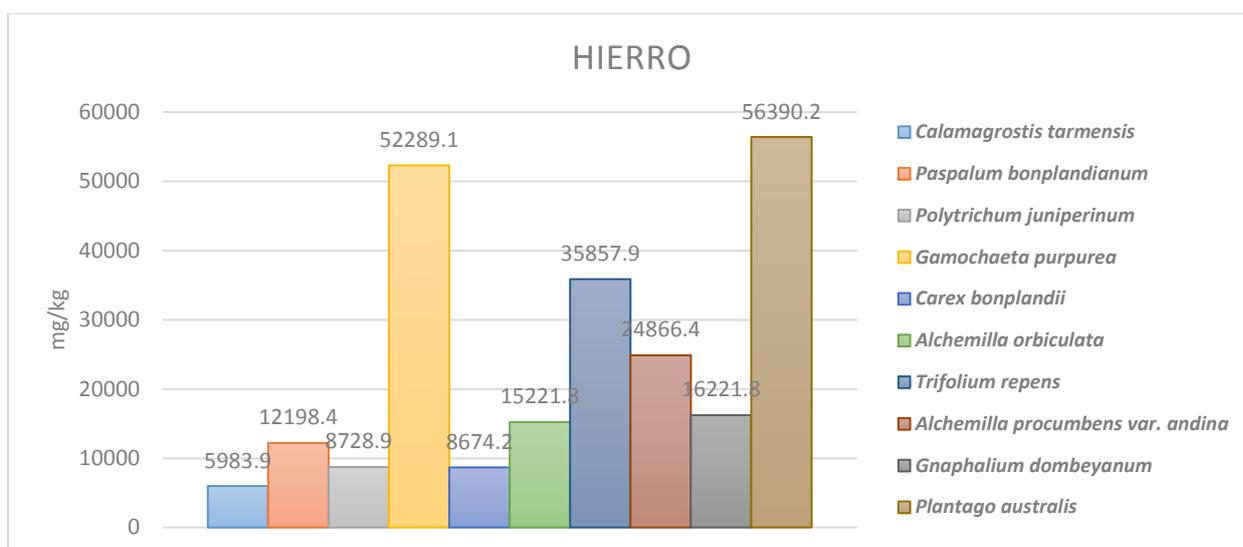
- Las concentraciones más altas de P las presentan las plantas *Alchemilla procumbens var. andina* (27968 mg/kg) y *Gamochaeta purpurea* (27687.3 mg/kg), mientras que la que menor concentración presenta es la especie *Calamagrostis tarmensis* (586.6 mg/kg).

Cuadro N° 26: Concentración de hierro presente en mg/kg por especie vegetal.

		Hierro
Muestra	unidad	Fe
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	5983.9
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	12198.4
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	8728.9
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	52289.1
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	8674.2
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	15221.8
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	35857.9
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	24866.4
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	16221.8
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	56390.2

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 18: Concentración de hierro presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

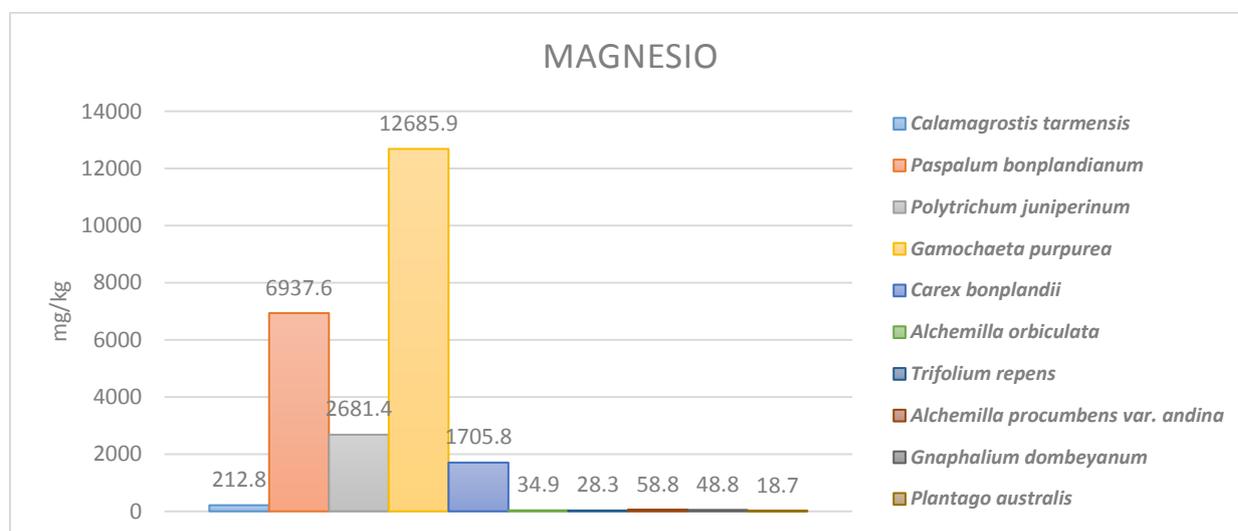
- Las concentraciones más altas de hierro se encuentran en las especies *Plantago australis* (56390.2 mg/kg) y *Gamochaeta purpurea* (52289.1 mg/kg), respectivamente. La planta *Calamagrostis tarmensis* (5983.9 mg/kg) presenta las concentraciones más bajas de hierro.

Cuadro N° 27: Concentración de magnesio presente en mg/kg por especie vegetal.

Muestra	unidad	Magnesio Mg
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	212.8
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	6937.6
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	2681.4
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	12685.9
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	1705.8
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	34.9
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	28.3
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	58.8
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	48.8
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	18.7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 19: Concentración de magnesio presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

- Para el caso del magnesio la especie con mayor concentración es la *Gamochaeta purpurea* (12685.9 mg/kg), seguida del *Paspalum bonplandianum* (6937.6 mg/kg). La menor concentración de este metal se presentó en la especie *Plantago australis* (18.7 mg/kg).

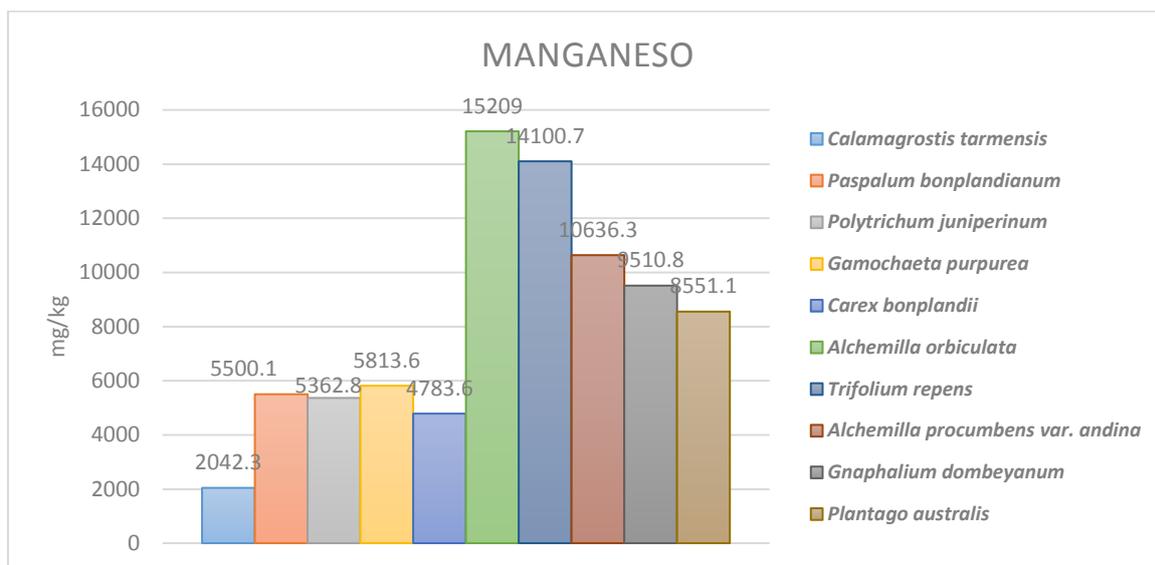
Cuadro N° 28: Concentración de manganeso presente en mg/kg por especie vegetal.

		Manganeso
Muestra	unidad	Mn
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	2042.3
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	5500.1
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	5362.8
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	5813.6
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	4783.6
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	15209
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	14100.7
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	10636.3

<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	9510.8
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	8551.1

Fuente: elaboración propia.

Gráfico N° 20: Concentración de manganeso presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: elaboración propia.

- El Mn está presente con las concentraciones más altas en las especies *Alchemilla orbiculata* (15209 mg/kg) y *Trifolium repens* (14100.7 mg/kg), mientras que la especie *Calamagrostis tarmensis* (2042.3 mg/kg), es la que menor concentración tiene.

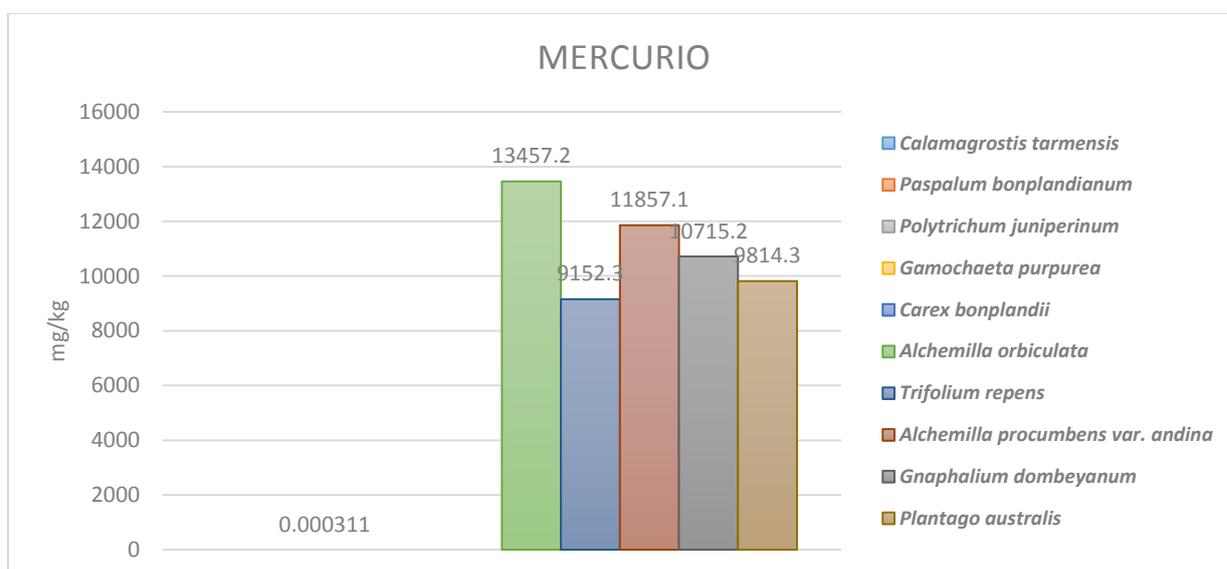
Cuadro N° 29: Concentración de mercurio presente en mg/kg por especie vegetal.

		Mercurio
Muestra	unidad	Hg
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	0.000311
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	0.000311
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	0.000311
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	0.000311
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	0.000311

<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	13457.2
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	9152.3
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	11857.1
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	10715.2
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	9814.3

Fuente: elaboración propia.

Gráfico N° 21: Concentración de mercurio presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

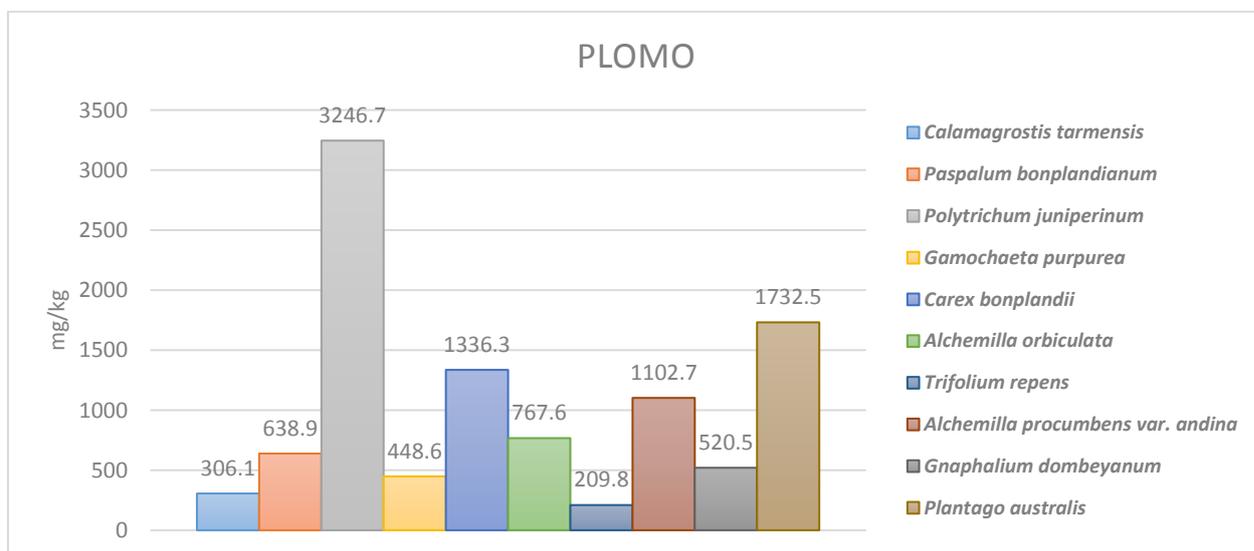
- El caso del mercurio es un tanto especial ya que se ve claro el contraste de las cinco primeras especies con las cinco restantes. En las especies *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Polytrichum juniperinum*, *Gamochaeta purpurea* y *Carex bonplandii* no presentaron concentraciones medibles superiores a los rangos mínimos del análisis del equipo ICP.
- Las especies *Alchemilla orbiculata* (13457.2 mg/kg) y *Alchemilla procumbens var. andina* (11857.1 mg/kg), presentaron las concentraciones más altas de mercurio, mientras que la especie *Trifolium repens* (9152.3 mg/kg), presentó la concentración más baja, fuera de las cinco primeras especies.

Cuadro N° 30: Concentración de plomo presente en mg/kg por especie vegetal.

		Plomo
Muestra	unidad	Pb
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	306.1
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	638.9
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	3246.7
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	448.6
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	1336.3
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	767.6
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	209.8
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	1102.7
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	520.5
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	1732.5

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 22: Concentración de plomo presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

- El plomo se presenta en mayores concentraciones en las especies *Polytrichum juniperinum* (3246.7 mg/kg) y *Plantago australis* (1732.5 mg/kg).

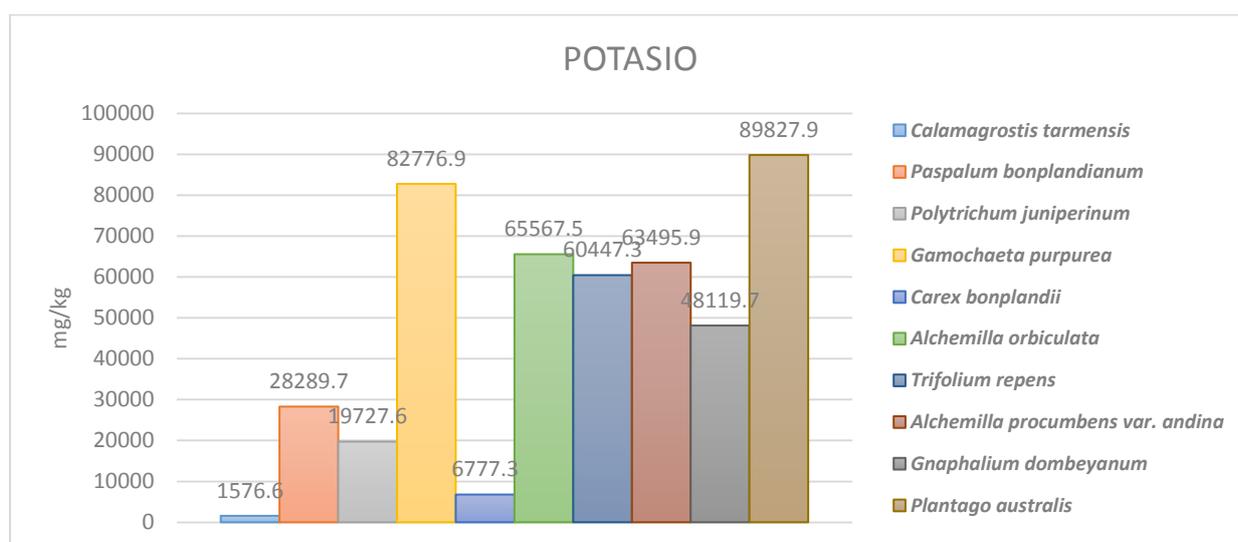
mg/kg), y en menor concentración en la especie *Calamagrostis tarmensis* (306.1 mg/kg).

Cuadro N° 31: Concentración de potasio presente en mg/kg por especie vegetal.

Muestra	unidad	Potasio K
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	1576.6
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	28289.7
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	19727.6
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	82776.9
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	6777.3
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	65567.5
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	60447.3
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	63495.9
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	48119.7
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	89827.9

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 23: Concentración de potasio presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

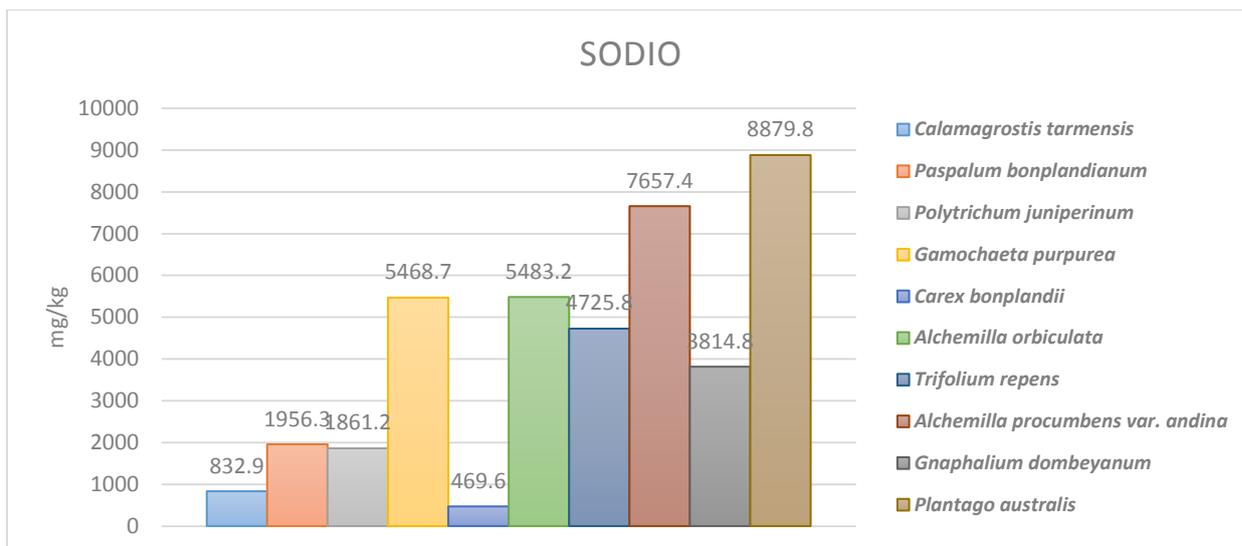
- La presencia del potasio en las diferentes especies es de altas concentraciones, aquellas que tienen la mayor concentración son el *Plantago australis* (89827.9 mg/kg) y la *Gamochaeta purpurea* (82776.9 mg/kg). La especie *Calamagrostis tarmensis* (1576.6 mg/kg) es la que menos concentración de potasio presenta.

Cuadro N° 32: Concentración de sodio presente en mg/kg por especie vegetal.

		Sodio
Muestra	unidad	Na
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	832.9
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	1956.3
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	1861.2
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	5468.7
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	469.6
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	5483.2
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	4725.8
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	7657.4
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	3814.8
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	8879.8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 24: Concentración de Sodio presente en mg/Kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

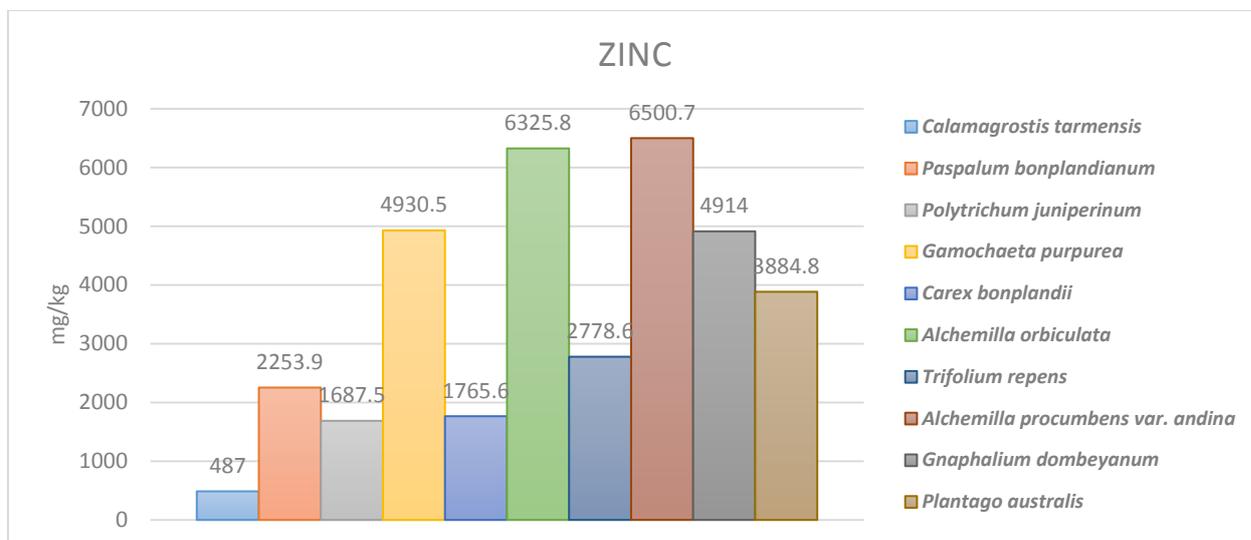
- Las concentraciones más altas de sodio las presentan las especies *Plantago australis* (8879.8 mg/kg) y *Alchemilla procumbens var. andina* (7657.4 mg/kg).
- La concentración más baja de sodio la presenta la especie *Calamagrostis tarmensis* (832.9 mg/kg).

Cuadro N° 33: Concentración de zinc presente en mg/kg por especie vegetal.

		Zinc
Muestra	unidad	Zn
<i>Calamagrostis tarmensis</i>	mg/kg	487
<i>Paspalum bonplandianum</i>	mg/kg	2253.9
<i>Polytrichum juniperinum</i>	mg/kg	1687.5
<i>Gamochaeta purpurea</i>	mg/kg	4930.5
<i>Carex bonplandii</i>	mg/kg	1765.6
<i>Alchemilla orbiculata</i>	mg/kg	6325.8
<i>Trifolium repens</i>	mg/kg	2778.6
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	mg/kg	6500.7
<i>Gnaphalium dombeyanum</i>	mg/kg	4914
<i>Plantago australis</i>	mg/kg	3884.8

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 25: Concentración de zinc presente en mg/kg por especie vegetal.



Fuente: Elaboración propia.

- Las concentraciones más altas de zinc se encuentran en las especies *Alchemilla procumbens var. andina* (6500.7 mg/kg) y *Alchemilla orbiculata* (6325.8 mg/kg), respectivamente.
- La concentración mínima de zinc se encontró en la especie *Calamagrostis tarmensis* (487 mg/kg).

C. CONCENTRACIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS DE METALES PESADOS.

Cuadro N° 34: Concentraciones máximas por metales y especie vegetal en mg/kg.

Metal	Especie	Max. Concentración mg/kg
Al	<i>Alchemilla procumbens var. Andina</i>	40976.8
As	<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	7787.8
Cd	<i>Alchemilla orbiculata</i>	266.2
Ca	<i>Plantago australis</i>	86850.3
Cu	<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	9494.5
Cr	<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	39.1
P	<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	27968
Fe	<i>Plantago australis</i>	56390.2
Mg	<i>Gamochaeta purpurea</i>	12685.9
Mn	<i>Alchemilla orbiculata</i>	15209
Hg	<i>Alchemilla orbiculata</i>	13457.2
Pb	<i>Polytrichum juniperinum</i>	3246.7
K	<i>Plantago australis</i>	89827.9
Na	<i>Plantago australis</i>	8879.8
Zn	<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	6500.7

Fuente: Elaboración propia.

- La especie *Alchemilla procumbens var. andina* presenta los valores más altos en concentración de los siguientes metales: Aluminio, arsénico, cobre, cromo, fósforo y zinc.
- La especie *Plantago australis* acapara las concentraciones más altas de los metales calcio, hierro, potasio y sodio.
- La planta *Alchemilla orbiculata* tiene las concentraciones más altas de cadmio, manganeso y mercurio.
- Por último las concentraciones más altas de magnesio y plomo se encuentran en las especies *Gamochaeta purpurea* y *Polytrichum juniperinum* respectivamente.

Cuadro N° 35: Concentraciones mínimas por metales y especie vegetal en mg/kg.

Metal	Especie	Concentraciones Mínimas mg/kg
Al	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	2057.4
As	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	409.8
Cd	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	8.5
Ca	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	1862.6
Cu	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	277.3
Cr	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	4.3
P	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	586.6
Fe	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	5983.9
Mg	<i>Plantago australis</i>	18.7
Mn	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	2042.3
Hg	<i>Calamagrostis tarmensis, Paspalum bonplandianum, Polytrichum juniperinum, Gamochaeta purpurea, Carex bonplandii.</i>	Menor.0.000311
Pb	<i>Trifolium repens</i>	209.8
K	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	1576.6
Na	<i>Carex bonplandii</i>	469.6
Zn	<i>Calamagrostis tarmensis</i>	487

Fuente: Elaboración propia.

- Las concentraciones mínimas encontradas de aluminio, arsénico, cadmio, calcio, cobre, cromo, fósforo, hierro, manganeso, potasio y zinc pertenecen a la especie *Calamagrostis tarmensis*.
- El mercurio presenta su concentración mínima en las especies *Calamagrostis tarmensis, Paspalum bonplandianum, Polytrichum juniperinum, Gamochaeta purpurea, Carex bonplandii*.

- La concentración mínima de magnesio la tiene la especie *Plantago australis*.
- La concentración más baja de plomo se encuentra en la especie *Trifolium repens*.
- La concentración más baja de sodio la presenta la especie *Carex bonplandii*.

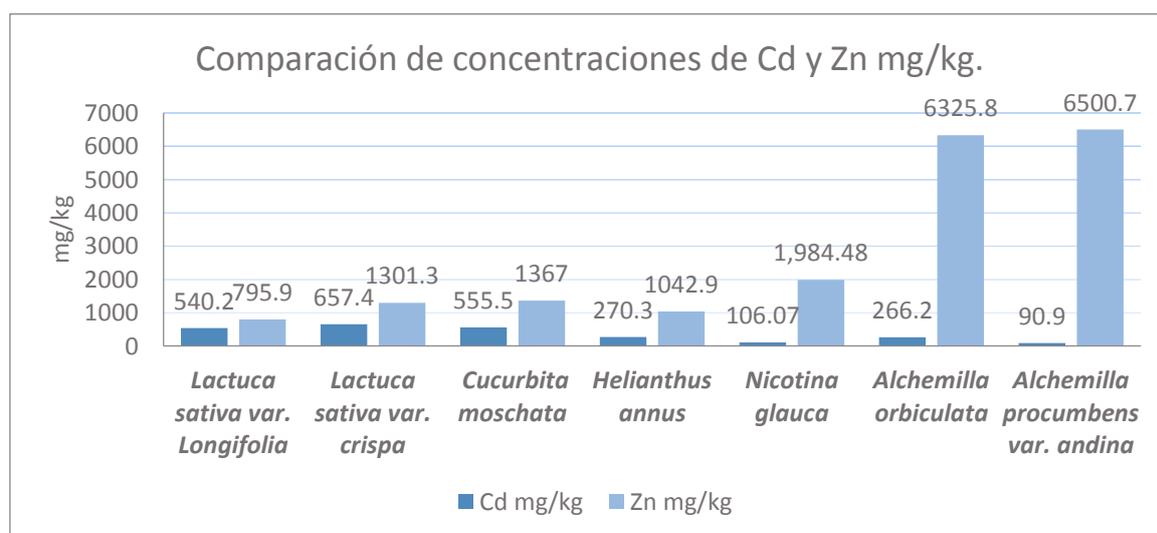
D. CUADROS COMPARATIVOS.

Cuadro N° 36: Comparación de concentraciones máximas de cadmio y zinc de las especies del cuadro N° 34 y especies analizadas.

Especie vegetal	Metales mg/kg	
	Cd	Zn
Lactuca sativa var. Longifolia	540.2	795.9
Lactuca sativa var. crispa	657.4	1301.3
Cucurbita moschata	555.5	1367
Helianthus annuus	270.3	1042.9
Nicotina glauca	106.07	1,984.48
<i>Alchemilla orbiculata</i>	266.2	6325.8
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	90.9	6500.7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 26: Comparación de concentraciones máximas de cadmio y zinc de las especies del cuadro N° 34 y especies analizadas.



Fuente: Elaboración propia.

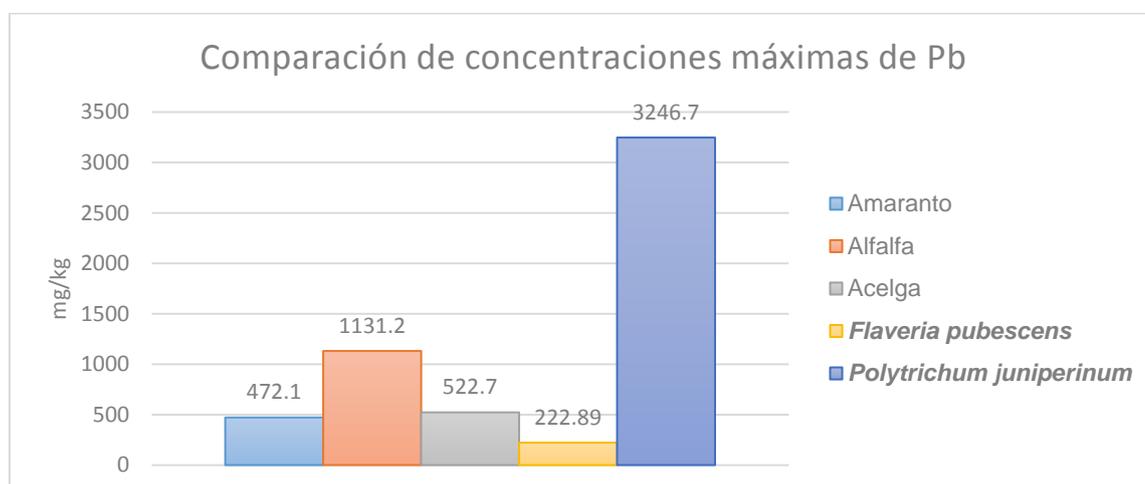
- En el Gráfico N° 26 se aprecia que la cantidad máxima de cadmio acumulada en la especie analizada *Alchemilla orbiculata* es inferior a todas las demás especies estudiadas por Villavicencio (2001). Siendo la que más Cd acumulado tiene la *Lactuca sativa var. crispata*.
- En el caso del zinc la acumulación de ambas especies analizadas en esta tesis superan ampliamente a los resultados obtenidos por Villavicencio (2001).

Cuadro N° 37: Comparación de concentración máxima de plomo mg/kg.

	Concentración máxima de Plomo mg/kg
Amaranto	472.1
Alfalfa	1131.2
Acelga	522.7
<i>Flaveria pubescens</i>	222.89
<i>Polytrichum juniperinum</i>	3246.7

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 27: Comparación de concentración máxima de plomo mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

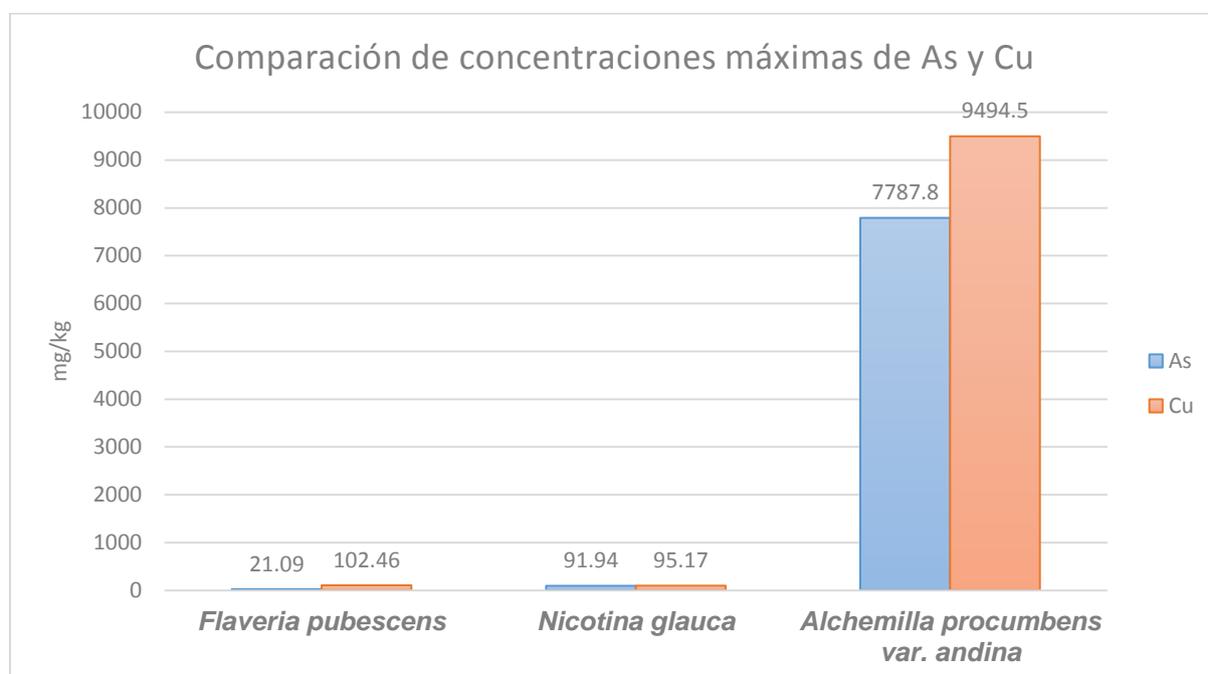
- En el gráfico N° 27 se aprecia claramente la diferencia de concentraciones de las distintas especies, siendo la estudiada en esta tesis la *Polytrichum juniperinum* la cual posee la concentración más alta de plomo seguida de la Alfalfa estudiada por Valencia (2013).

Cuadro N° 38: Comparación de concentración máxima de arsénico y cobre mg/kg.

Planta	Metal (mg/Kg)	
	As	Cu
<i>Flaveria pubescens</i>	21.09	102.46
<i>Nicotina glauca</i>	91.94	95.17
<i>Alchemilla procumbens var. andina</i>	7787.8	9494.5

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 28: Comparación de concentración máxima de arsénico y cobre mg/kg.



Fuente: Elaboración propia.

- Para el caso del arsénico y el cobre la especie vegetal estudiada en esta tesis la *Alchemilla procumbens var. andina* presenta una concentración ampliamente mayor a las especies presentadas por José Santos (2009), en ambos elementos.

E. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.

- Se comprueba que existe una concentración elevada de los metales en mención por parte de las especies analizadas en la presente tesis, siendo estos elementos el: Aluminio, arsénico, cadmio, calcio, cobre, cromo, fósforo, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo, potasio, sodio y zinc.

CONCLUSIONES:

- Se concluye en la investigación realizada que existe una fuerte hiperacumulación de metales pesados por parte de las especies estudiadas, las cuales podemos agrupar en dos grupos para poder apreciar mejor su desempeño al crecer en un medio contaminado como lo es un drenaje minero:

- Metales menos tóxicos:

- Ca *Plantago australis* 86850.3 mg/kg.
- P *Alchemilla procumbens var. andina* 27968 mg/kg.
- K *Plantago australis* 89827.9 mg/kg.
- Na *Plantago australis* 8879.8 mg/kg.
- Zn *Alchemilla procumbens var. andina* 6500.7 mg/kg.

- Metales nocivos para el ambiente.

- Al *Alchemilla procumbens var. Andina* 40976.8 mg/kg.
- As *Alchemilla procumbens var. andina* 7787.8 mg/kg.
- Cd *Alchemilla orbiculata* 266.2 mg/kg.
- Ca *Plantago australis* 86850.3 mg/kg.
- Cu *Alchemilla procumbens var. andina* 9494.5 mg/kg.
- Cr *Alchemilla procumbens var. andina* 39.1 mg/kg.
- Fe *Plantago australis* 56390.2 mg/kg.
- Mg *Gamochaeta purpurea* 12685.9 mg/kg.
- Mn *Alchemilla orbiculata* 15209 mg/kg.
- Hg *Alchemilla orbiculata* 13457.2 mg/kg.
- Pb *Polytrichum juniperinum* 3246.7 mg/kg.

- Se aprecia la superioridad de la *Alchemilla procumbens var. Andina* por ser la especie con más resistencia a los diferentes metales pesados estudiados, es importante recalcar que las especies estudiadas no solo presentan una resistencia constatada en un medio nocivo, sino también que su cualidad de hiperacumulación puede ser usada para métodos de fitorremediación futuros.

RECOMENDACIONES.

- Se recomienda un estudio en ambientes controlados para las especies hiperacumuladoras con mayores concentraciones en los distintos metales.
- Hacer estudios de fitorremediación en pasivos ambientales con las especies analizadas, para tener una mejor gama de datos con los cuales se puedan establecer nuevas especies que puedan contribuir al método.
- Tener en cuenta la resistencia de las especies analizadas con metales tóxicos como el cadmio, arsénico, cobre, plomo y mercurio para realizar estudios posteriores a las mismas en ambientes controlados u otros ambientes geográficos.
- Se recomienda seguir estudiando las especies vegetales presentes en los pasivos ambientales de toda la región Cajamarca para seguir identificando nuevas especies hiperacumuladoras que puedan mitigar la contaminación de los mismos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, D. C. (2001). Arsenic. En D. C. Adriano, *Trace Elements in the Terrestrial Environments. Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals* (pág. 867). New York.
- Alloway, B. J. (1995). Cadmium. En *Heavy Metals in Soils*. (pág. 368). New York.
- Baker, A. M. (2000). *Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils*. USA.
- Brooks, R. L. (1977). Detection of Nickeliferous Rocks by Analysis of Herbarium Specimens of Indicator Plants. *J. Geochem. Exploration*.
- Chaney, R. M. (1997). *Phytoremediation of soil*. Curr. Opin. Biotechnol.
- Chaney, R. R. (2004). An improved understanding of soil Cd risk to humans and low cost methods to phytoextract Cd from contaminated soils to prevent soil Cd risks. *BioMetals*.
- Concha, E. L. (2004). *Evaluación de las concentraciones de metales pesados para determinar la calidad de frutas de consumo masivo en la ciudad de Piura*. Piura: Departamento Académico de Ingeniería Química - Universidad Nacional de Piura.
- CooperAcción, 2. P. (2001). *Los conflictos de tierras en la provincia de Espinar. El caso de BHP y las comunidades de Tintaya Marquiri y Alto Huancané*. . Lima: OXFAM América.
- Cuevas, P. A. (2010). Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Prelitoral Catalana. Barcelona, Barcelona, España: Universidad de Barcelona.
- Fabiana Soares dos Santos, N. M. (2007). Mecanismos de hiperacumulación de metales pesados en plantas. Río de Janeiro - La Habana, Brasil - Cuba.
- Félix Lewandowsky, H. A. (2015). *REMEDIACION DE PASIVOS AMBIENTALES MINEROS EN HUALGAYOC*. Cajamarca.
- FONAM, F. N.-P. (2005). *Inventario, Diagnóstico y Priorización de los Pasivos Ambientales en la Cueva del Río Llaucano - Hualgayoc*. Lima.
- García I, D. C. (2005). Contaminación por metales pesados. *Tecnología de Suelos*.
- IHOBE. (1998). Calidad del Suelo. Valores Indicativos de Evaluación (VIE-A, VIE-B, VIE-C). España.
- J.P. Navarro-Aviñó, I. A.-M. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*.

- Jiménez, A. (2003). *Universidad Autónoma de Madrid*. Obtenido de <http://www.adi.uam.es/docencia/elementos/spv21/sinmarcos/elementos/as.html>
- José Enrique Santos Jallath, G. R. (Octubre de 2009). ESTUDIO SOBRE PLANTAS ACUMULADORAS DE As, Cd, Pb, Cu y Zn, EN JALES DE LA MINA LA NEGRA. Veracruz, México: XXVIII Convención Minera Internacional, AIMMGM AC.
- Kiekens, L. (1995). Zinc. En A. B. J., *Heavy Metals in Soils*. (pág. 368). New York : Blackie Academic and Professional Publ.
- Lara, J. L. (Diciembre de 2011). Determinación de la eficacia de la Azolla Caroliniana como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados. Quito, Ecuador.
- M. Llugany, R. T. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre?. *Ecosistemas*.
- Martens, S. y. (1994). The ecological significance of nickel hyperaccumulation-a plant chemical defense. *Oecologia*.
- Martinez-Alier, D. R. (2003). Los Pasivos Ambientales. *Íconos: revista de ciencias sociales*.
- McGrath, S. S. (1993). *The potential for the use of metal-accumulating plants for the in situ decontamination of metal-polluted soils. Integrated Soil and Sediment Research: A Basis for proper Protection*. Kluwer Academic Publishers.
- Méndez, J. P., Ramírez, C. A., & Gutiérrez, A. D. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*.
- P.S. Kidd, C. B. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Ecosistemas*.
- R.O. Carpena, M. P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas: Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*.
- Ramírez, A. V. (2008). Intoxicación ocupacional por mercurio. Cajamarca, Cajamarca, Perú: Médico del Trabajo. American College of occupational and environmental medicine.
- S. T. BEHMER, C. M.-C. (2005). *Metal hyperaccumulation in plants: mechanisms of defence against insect herbivores, Functional Ecology*.
- SNMPE, S. N. (2004). *Informe quinquenal de la SNMPE*.
- Sobrados, J. A., Hoyos, N. D., & Pérez, M. V. (s.f.). *Niveles de concentración de metales pesados en vegetales emergentes en pasivos mineros Hualgayoc, Cajamarca, Perú*. Hualgayoc.

- Solano Marín, A. M. (2005). Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc. *Tesis Doctoral*. Universidad de Murcia. Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología.
- Valencia, S. M. (Mayo de 2013). ESTUDIO PARA TRATAMIENTO DE BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON PLOMO UTILIZANDO EL MÉTODO DE BIORREMEDIACIÓN. Quito, Quito, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Campus Sur.
- Van Campen, D. R. (1991). Micronutrients in agriculture. *Soil Sci Soc Am*.
- Villavicencio, M. B. (2001). Fitoextracción en suelos contaminados con cadmio y zinc usando especies vegetales comestibles. México D.F., México.
- Virginia ILLERA, I. W. (2001). Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos y urbanos. *Revista internacional de contaminación ambiental*.

Linkografía:

- www.trópicos.org
- Norma de método EPA 200.7 Rev 4,4, 1994
http://www.accustandard.com/assets/200_7.pdf
- www.theplantlist.org.
- <http://goo.gl/uCE6O1>.

ANEXOS.

Anexo 1: Matriz de consistencia.

Matriz de Consistencia					
Objetivo General	Objetivos Específicos.	Hipótesis	Variables		Indicadores.
			Dependiente	Independiente.	
Concentración de metales pesados en especies vegetales que crecen en zonas adyacentes a los drenajes ácidos de mina en la provincia de Hualgayoc-Cajamarca.	<p>Identificar la especie que posee la mayor concentración de Fe, As, Cd, Pb y Hg.</p> <p>Clasificar taxonómicamente las especies colectadas.</p> <p>Contrastar los resultados obtenidos de concentración de metales pesado en las especies a estudiar con otras especies acumuladoras.</p>	<p>Las especies vegetales que crecen en zonas adyacentes a los drenajes ácidos de mina de la provincia de Hualgayoc presentan concentraciones elevadas de metales pesados.</p>	<p>Concentración de metales pesados en los drenajes ácidos de Mina</p>	<p>Concentración de los metales en las especies vegetales</p>	<p>Concentración del metal mg/kg.</p>

Anexo 2 Mapa de Hualgayoc.

Anexo N°3: Informe de ensayo del Laboratorio.



Cajamarca, 23 de noviembre de 2014

Sr:
JASON ERICK ARANGO RODRÍGUEZ
Av. Luis Rebaza Neyra N°607- Cajamarca.

Presente

De mi consideración:

Por la presente le saludo muy atentamente y a la vez le remitimos los resultados en el Informe de Ensayo N° C-469-k214-UAP-JAR de los análisis químicos de sus muestras de planta. Solicitado a nuestra empresa.

Agradeciendo la atención a la presente, quedo de Ud.

Atentamente


Alexandra Aurazo Rodríguez
Responsable Administrativo
y de la Calidad.

CC. File



Oficina Principal: Flor de la Canela 700 - Urbanización Palmeras del Golf
Telefax : 51-44-280426
Sucursal Cajamarca: Jr. Cinco Esquinas 661 - Cajamarca
Telefax : 51-76-362873
Dirección Electrónica: info@nkap.com.pe

web: www.nkap.com.pe

INFORME DE ENSAYO

C-469-K214-UAP-JAR

Pág 01 de 03

CLIENTE : UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
Vía Evitamiento S/n

ATENCIÓN : Jasón Erick Arango Rodriguez

MÉTODOS DE ENSAYO : Químico

ITEM DE ENSAYO : Planta

PRESENTACIÓN DE LOS ITEM DE ENSAYO : 10 Frascos boca ancha plástico de 500ml

No preservada

MUESTREO : Muestras tomadas por el cliente

LUGAR Y FECHAS DE RECEPCIÓN : Cajamarca, 16 de Noviembre de 2014
Hora: 11:00

LUGAR Y FECHAS DE EJECUCIÓN : Cajamarca, 16 de Noviembre de 2014

MÉTODO DE ENSAYO

Parámetro	Norma-Método	Límite de detección	Tiempo máximo de conservación recomendada/obligado
Metales por ICP	EPA 200.7, Rev 4.4, 1994	Ag $\leq 0.00155 \mu\text{g/L}$ As $\leq 0.026 \mu\text{g/L}$ Ba $\leq 0.133 \mu\text{g/L}$ Bi $\leq 0.000358 \mu\text{g/L}$ Be $\leq 0.000481 \mu\text{g/L}$ B $\leq 0.0814 \mu\text{g/L}$ Ca $\leq 0.0416 \mu\text{g/L}$ Cd $\leq 0.00145 \mu\text{g/L}$ Ce $\leq 0.00451 \mu\text{g/L}$ Co $\leq 0.000143 \mu\text{g/L}$ Cr $\leq 0.000259 \mu\text{g/L}$ Cu $\leq 0.000387 \mu\text{g/L}$ Fe $\leq 0.00723 \mu\text{g/L}$ Hg $\leq 0.000026 \mu\text{g/L}$ K $\leq 0.0365 \mu\text{g/L}$ Li $\leq 0.0000669 \mu\text{g/L}$ Mg $\leq 0.00254 \mu\text{g/L}$ Mn $\leq 0.0000659 \mu\text{g/L}$ Mo $\leq 0.000465 \mu\text{g/L}$ Se $\leq 0.0163 \mu\text{g/L}$ Na $\leq 0.107 \mu\text{g/L}$ Ni $\leq 0.000315 \mu\text{g/L}$ Pb $\leq 0.00481 \mu\text{g/L}$ P $\leq 0.00158 \mu\text{g/L}$ Sb $\leq 0.00687 \mu\text{g/L}$ Si $\leq 0.0389 \mu\text{g/L}$ Zn $\leq 0.00391 \mu\text{g/L}$ Sr $\leq 0.000419 \mu\text{g/L}$ Ti $\leq 0.000194 \mu\text{g/L}$ Tl $\leq 0.00048 \mu\text{g/L}$ V $\leq 0.000724 \mu\text{g/L}$ Zn $\leq 0.000507 \mu\text{g/L}$ (mg/L)	30d

Sello Fecha Emisión

Supervisor Administrativo

Supervisor del Laboratorio de Química




Alexandra Aurazo Rodriguez

Edder Neyra Jaico

23/11/2014

CIP 147028

LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CORRESPONDEN A LOS ENSAYOS SOLICITADOS PARA LOS ITEM DE ENSAYO RECIBIDOS.

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN EL PERMISO DE NKAP SRL.

*Todos los resultados de los ensayos son considerados confidenciales.

*Las muestras serán eliminadas al término del tiempo de almacenamiento, salvo requerimiento expreso del cliente.

* Informes de ensayo 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.

Anexo N° 4: Resultados análisis de laboratorio.



INFORME DE ENSAYO
C-469-K214-UAP-JAR

Pág. 02 de 03

Muzgo
Polytrichum juniperinum

Código de Laboratorio			C-459-01	C-459-02	C-459-03	C-459-04	C-459-05
Código de Cliente			F1	F2	F3	F4	F5
Item de Ensayo			Planta	Planta	Planta	Planta	Planta
Fecha de Muestreo			15/11/2014	15/11/2014	15/11/2014	15/11/2014	15/11/2014
Hora de Muestreo			11:10	11:19	11:32	11:42	11:51
Parámetro	Símbolo	Unidad					
Metales Totales por ICP							
Aluminio	Al	mg/Kg	2057.4	10400.2	9181.1	14386.0	6548.4
Antimonio	Sb	mg/Kg	< 0.0000538	< 0.0000538	< 0.0000538	< 0.0000538	< 0.0000538
Arsénico	As	mg/Kg	409.8	4729.9	3645.0	1202.6	4442.4
Bario	Ba	mg/Kg	33.6	123.7	110.8	107.2	29.0
Berilio	Be	mg/Kg	< 0.0000632	< 0.0000632	< 0.0000632	< 0.0000632	< 0.0000632
Boro	B	mg/Kg	118.4	636.8	662.6	520.0	615.6
Cadmio	Cd	mg/Kg	8.5	31.1	23.4	102.3	42.6
Calcio	Ca	mg/Kg	1862.6	15949.3	8392.5	46786.5	2938.4
Cerio	Ce	mg/Kg	< 0.00811	< 0.00811	< 0.00811	< 0.00811	< 0.00811
Cobalto	Co	mg/Kg	< 0.000184	< 0.000184	< 0.000184	< 0.000184	< 0.000184
Cobre	Cu	mg/Kg	277.3	1330.8	799.2	1384.3	1619.6
Cromo	Cr	mg/Kg	4.3	20.8	20.3	10.6	15.8
Estaño	Sn	mg/Kg	< 0.00145	< 0.00145	< 0.00145	< 0.00145	< 0.00145
Estroncio	Sr	mg/Kg	5.6	43.1	31.4	195.3	43.8
Fósforo	P	mg/Kg	586.6	12754.3	4922.1	27687.3	8841.1
Hierro	Fe	mg/Kg	5983.9	12198.4	8728.9	52289.1	8674.2
Litio	Li	mg/Kg	1.6	33.3	44.8	16.7	42.3
Magnesio	Mg	mg/Kg	212.8	6937.6	2681.4	12685.9	1705.8
Manganeso	Mn	mg/Kg	2042.3	5500.1	5362.8	5813.6	4783.6
Mercurio	Hg	mg/Kg	< 0.000311	< 0.000311	< 0.000311	< 0.000311	< 0.000311
Molibdeno	Mo	mg/Kg	< 0.000573	< 0.000573	< 0.000573	< 0.000573	< 0.000573
Niquel	Ni	mg/Kg	1.5	6.9	6.1	13.2	6.5
Plata	Ag	mg/Kg	< 0.000417	< 0.000417	< 0.000417	< 0.000417	< 0.000417
Plomo	Pb	mg/Kg	306.1	638.9	3246.7	448.6	1336.3
Potasio	K	mg/Kg	1576.6	28289.7	19727.6	82776.9	6777.3
Selenio	Se	mg/Kg	< 0.00941	< 0.00941	< 0.00941	< 0.00941	< 0.00941
Silicio*	Si	mg/Kg	1309.2	1648.4	3728.0	11153.9	672.8
Sodio	Na	mg/Kg	832.9	1956.3	1861.2	5468.7	469.6
Talio	Tl	mg/Kg	< 0.00703	< 0.00703	< 0.00703	< 0.00703	< 0.00703
Titanio	Ti	mg/Kg	< 0.0000165	< 0.0000165	< 0.0000165	< 0.0000165	< 0.0000165
Vanadio	V	mg/Kg	< 0.000219	< 0.000219	< 0.000219	< 0.000219	< 0.000219
Zinc	Zn	mg/Kg	487.0	2253.9	1687.5	4930.5	1765.6

(*) Los Métodos indicados no han sido acreditados por el Indecopi-SNA.



Código de Laboratorio			C-459-06	C-459-07	C-459-08	C-459-09	C-459-10
Código de Cliente			F6	F7	F8	F9	F10
Item de Ensayo			Planta	Planta	Planta	Planta	Planta
Fecha de Muestreo			15/11/2014	15/11/2014	15/11/2014	15/11/2014	15/11/2014
Hora de Muestreo			12:06	12:13	12:26	13:06	12:51
Parámetro	Símbolo	Unidad					
Metales Totales por ICP							
Aluminio	Al ✓	mg/kg	22264.0	20594.8	40976.8	19173.1	8295.2
Antimonio	Sb	mg/kg	< 0.0000538	< 0.0000538	< 0.0000538	< 0.0000538	< 0.0000538
Arsénico	As	mg/kg	3762.3	580.4	7787.8	2148.4	965.1
Bario	Ba	mg/kg	151.9	87.9	189.7	176.7	123.8
Berilio	Be	mg/kg	< 0.0000632	< 0.0000632	< 0.0000632	< 0.0000632	< 0.0000632
Boro	B	mg/kg	761.2	475.3	1067.2	668.1	554.4
Cadmio	Cd ✓	mg/kg	266.2	16.7	90.9	195.3	40.0
Calcio	Ca	mg/kg	23455.9	5711.4	57075.6	29293.9	86850.3
Cerio	Ce	mg/kg	< 0.00811	< 0.00811	< 0.00811	< 0.00811	< 0.00811
Cobalto	Co	mg/kg	< 0.000184	< 0.000184	< 0.000184	< 0.000184	< 0.000184
Cobre	Cu ✓	mg/kg	4302.5	1115.4	9494.5	1380.5	28828.3
Cromo	Cr ✓	mg/kg	21.8	16.4	39.1	21.4	10.8
Estaño	Sn	mg/kg	< 0.00145	< 0.00145	< 0.00145	< 0.00145	< 0.00145
Estroncio	Sr	mg/kg	230.9	217.1	174.5	193.4	245.5
Fósforo	P	mg/kg	12671.9	14297.3	27968.0	14323.7	19097.9
Hierro	Fe	mg/kg	15221.8	35857.9	24866.4	16221.8	56390.2
Litio	Li	mg/kg	< 0.0000208	< 0.0000208	< 0.0000208	< 0.0000208	< 0.0000208
Magnesio	Mg ✓	mg/kg	34.9	28.3	58.8	48.8	18.7
Manganeso	Mn ✓	mg/kg	15209.0	14100.7	10636.3	9510.8	8551.1
Mercurio	Hg	mg/kg	13457.2	9152.3	11857.1	10715.2	9814.3
Molibdeno	Mo	mg/kg	< 0.000573	< 0.000573	< 0.000573	< 0.000573	< 0.000573
Níquel	Ni	mg/kg	< 0.00106	< 0.00106	< 0.00106	< 0.00106	< 0.00106
Plata	Ag	mg/kg	< 0.000417	< 0.000417	< 0.000417	< 0.000417	< 0.000417
Plomo	Pb ✓	mg/kg	767.6	209.8	1102.7	520.5	1732.5
Potasio	K	mg/kg	65567.5	60447.3	63495.9	48119.7	89827.9
Selenio	Se	mg/kg	< 0.00941	< 0.00941	< 0.00941	< 0.00941	< 0.00941
Silicio*	Si	mg/kg	9127.9	7803.4	12091.8	5193.3	7398.8
Sodio	Na ✓	mg/kg	5483.2	4725.8	7657.4	3814.8	8879.8
Talio	Tl	mg/kg	< 0.00703	< 0.00703	< 0.00703	< 0.00703	< 0.00703
Titanio	Ti	mg/kg	< 0.0000165	< 0.0000165	< 0.0000165	< 0.0000165	< 0.0000165
Vanadio	V	mg/kg	< 0.000219	< 0.000219	< 0.000219	< 0.000219	< 0.000219
Zinc	Zn ✓	mg/kg	6325.8	2778.6	6500.7	4914.0	3884.8

(*) Los Métodos indicados no han sido acreditados por el Indecopi-SNA.



Anexo 5: fotos especies Vegetales.

Foto N° 4: *Calamagrostis tarmensis*.



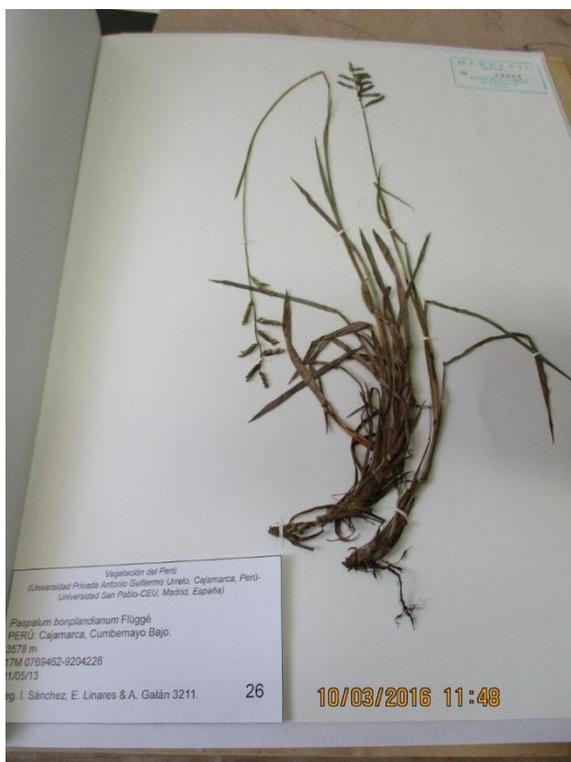
Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega.

Foto N° 5: *Calamagrostis tarmensis*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 6: *Paspalum bonplandianum*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 7: *Paspalum bonplandianum*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 8: *Polytrichum juniperinum*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 9: *Polytrichum juniperinum*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 10: *Gamochaeta purpurea*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 11: *Gamochaeta purpurea*.



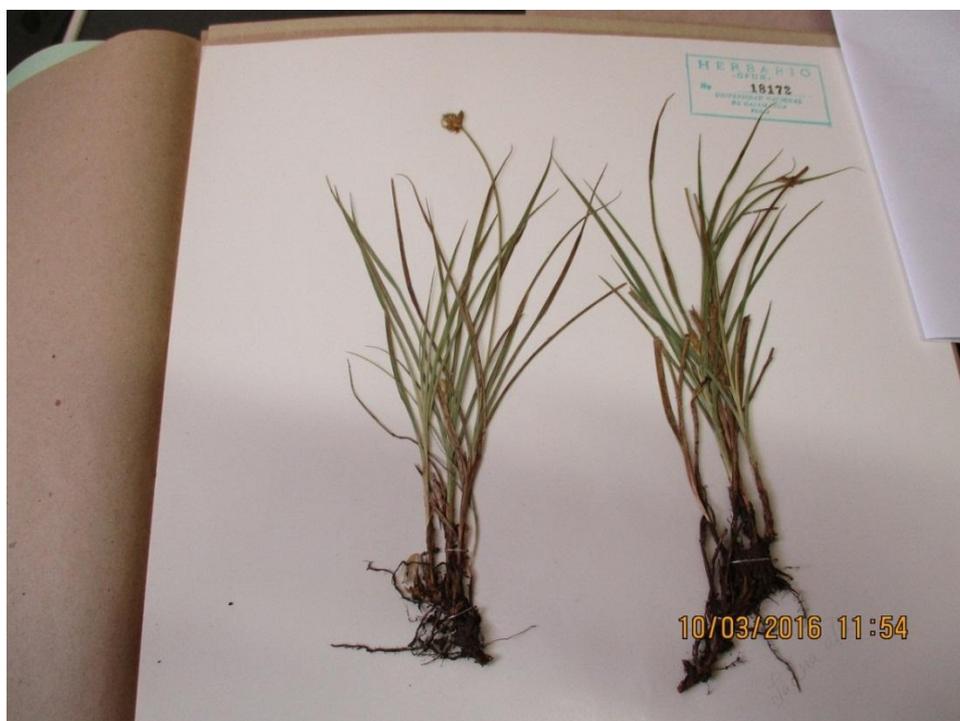
Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 12: *Carex Bonplandii*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 13: *Carex bonplandii*.



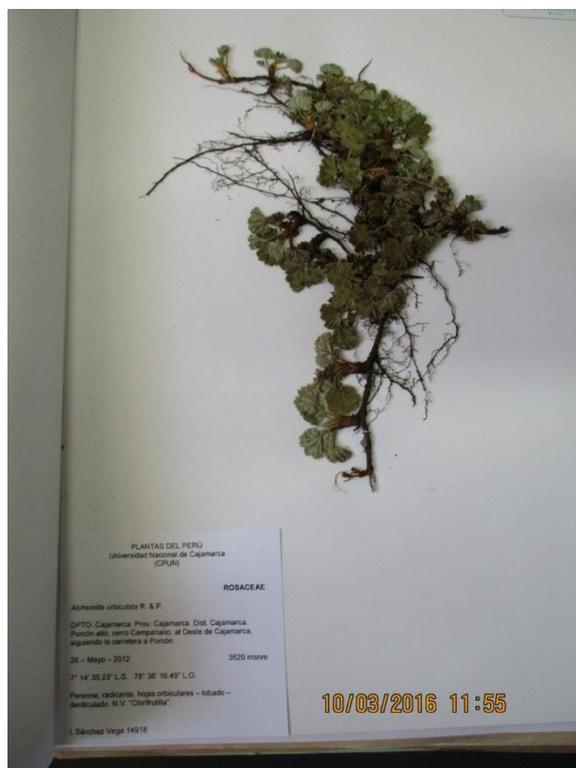
Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 14: *Alchemilla orbiculata*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 15: *Alchemilla orbiculata*.



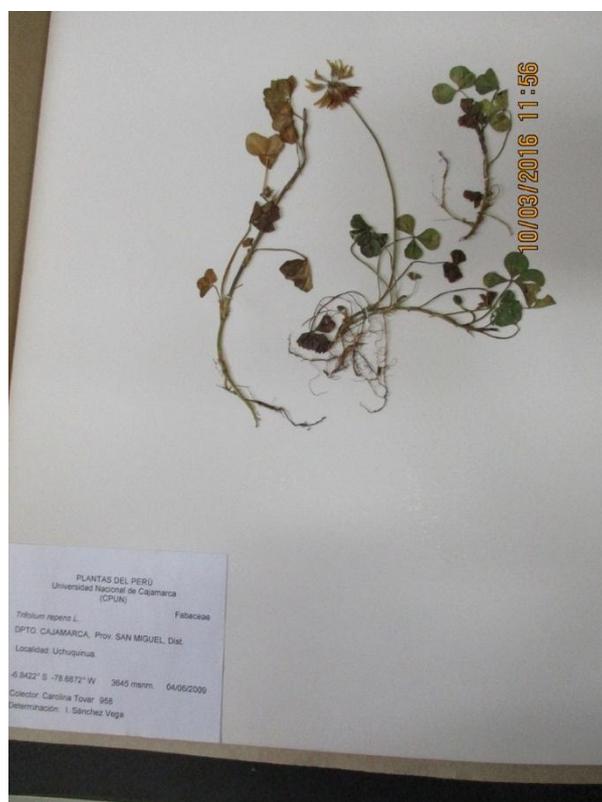
Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 16: *Trifolium repens*.



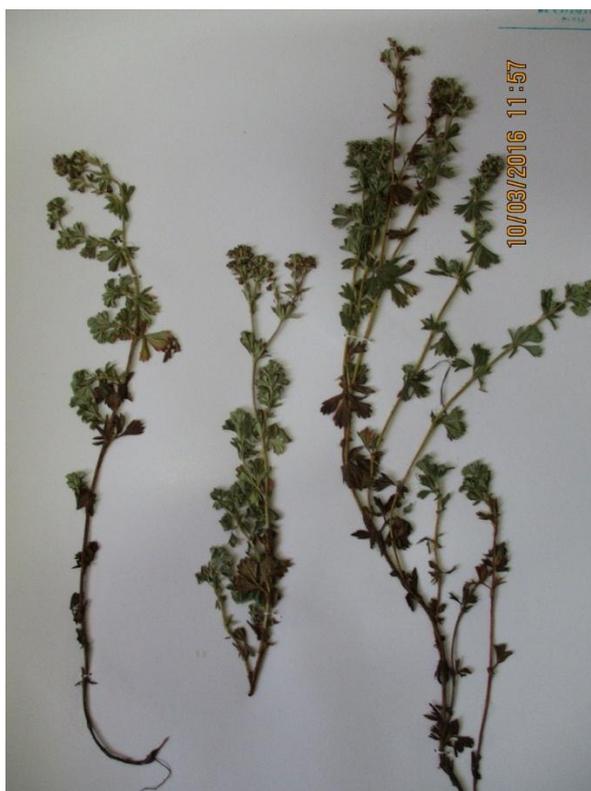
Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 17: *Trifolium repens*.



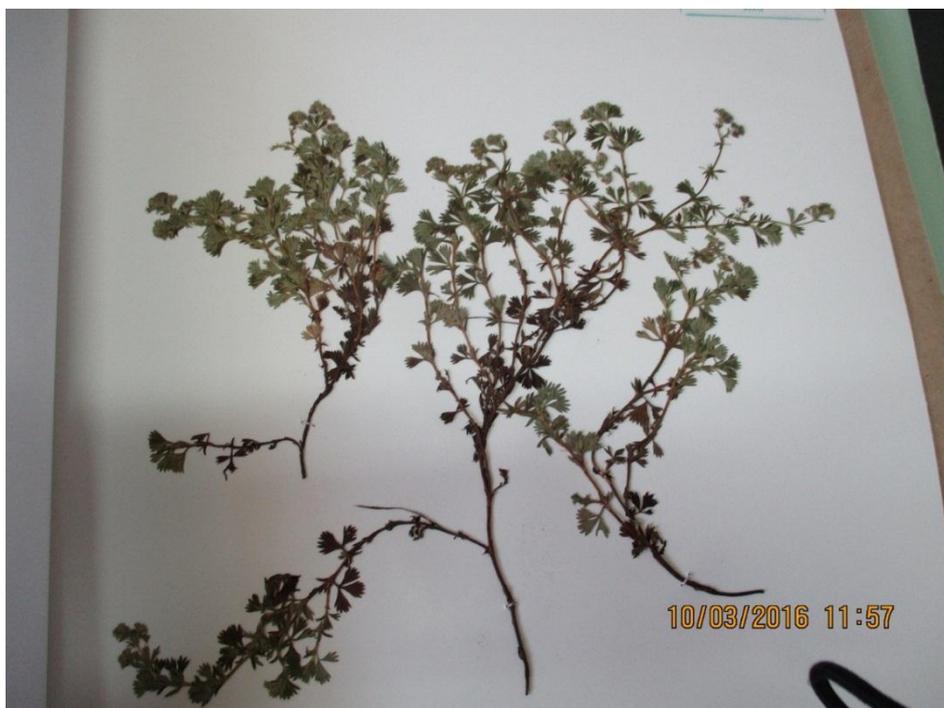
Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 18: *Alchemilla procumbens* var. *andina*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 19: *Alchemilla procumbens* var. *andina*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 20: *Gnaphalium dombeyanum*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 21: *Gnaphalium dombeyanum*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 22: *Plantago australis*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Foto N° 23: *Plantago australis*.



Fuente: Herbario Universidad Nacional de Cajamarca, Isidoro Sánchez Vega

Anexo N° 6: Galería de Fotos.

Foto N° 24: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.



Foto N° 25: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.



Foto N° 26: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.



Foto N° 27: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.



Foto N° 28: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.



Foto N° 29: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.



Foto N° 30: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.



Foto N° 31: Recolección de muestras drenaje ácido Hualgayoc.

