

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERIA AMBIENTAL



**“DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE
BIOCONCENTRACIÓN Y TRASLOCACIÓN DE
METALES PESADOS EN EL *Juncus arcticus*
Willd. Y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, DE ÁREAS
CONTAMINADAS CON EL PASIVO AMBIENTAL
MINERO ALIANZA - ANCASH 2013”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORAS:

**BACH. MEDINA MARCOS KATY DAMACIA
BACH. MONTANO CHÁVEZ YEIDY NAYCLIN**

ASESORES:

**DR. PALOMINO CADENAS EDWINJULIO
ING. LEÓN HUERTA FRANCISCO claudio**

HUARAZ-ANCASH-PERÚ

SETIEMBRE – 2014

DEDICATORIA

Con todo mi amor y cariño.

A ti mi Dios, que me diste la oportunidad de conocerte y servirte, gracias por tu amor y todas tus bendiciones.

A mis padres Maximiliano Medina y Raida Marcos, por ser los pilares más importantes en mi vida, quienes han sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores, por siempre estar a mi lado, apoyándome en todo momento y por todo el sacrificio que realizaron para que yo pudiera lograr mis sueños, gracias.

A mis hermanos Rildo, Lita y Yessy, gracias por estar siempre presentes, aconsejándome y apoyándome para poderme realizar.

A ti César Verde, por inspirarme a ser una mejor persona cada día, por toda tu comprensión y motivación a los largo de estos años.

A Yeidy Montano, que gracias a su apoyo, esfuerzo y conocimientos hicieron de esta experiencia una de las más especiales.

Katy Damacia Medina Marcos

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de tesis principalmente a Dios, por haberme dado la vida, por estar conmigo en todo momento, por todas sus bendiciones, por ayudarme y permitirme haber llegado hasta este momento tan importante de mi vida.

A mis padres Saúl Montano y Graciela Chávez, por todo su amor y comprensión que me brindan en todo momento, por todo el tiempo, dedicación esfuerzo y sacrificio que pusieron durante mi formación personal y académica, por ser el motor que me impulsa a seguir adelante, por siempre confiar en mí, darme su apoyo y por enseñarme a dar lo mejor de mí en todo, los quiero.

A mis hermanas Sofía, Glenda y Deysi por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional en todo lo que emprendo, por todos sus consejos y porque me han demostrado que siempre puedo confiar en ustedes.

A mi amiga Katy Medina, por todo el tiempo que hemos compartido y por todo el esfuerzo y dedicación que puso en el desarrollo de la tesis.

A nuestros profesores y asesores; que siempre nos apoyaron.

Yeidy Nayclin Montano Chávez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar damos infinitamente gracias a Dios, por protegernos durante todo nuestro camino y darnos fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda nuestra vida.

Agradecemos también la confianza y el apoyo brindado por parte de nuestras familias, que sin duda alguna en el trayecto de nuestras vidas nos han demostrado su amor, corrigiendo nuestras faltas y celebrando nuestros triunfos

A la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por acogernos durante todo el periodo de estudios y por los conocimientos adquiridos a través de las enseñanzas de ilustres profesionales de esta casa superior.

Al Proyecto de Investigación “*Desarrollo de Alternativas Sostenibles de Monitoreo y Biorremediación de las Aguas del Río Santa*” en especial, en la persona del Dr. Julio Palomino Cadenas por el financiamiento de nuestra tesis y por la realización de la pasantía de investigación a la Universidad de Viena-Austria, así mismo agradecemos de manera especial a la Dr. Irene Lichtscheidl, coordinadora del proyecto BIOREM y al Mag. Gerhard Kreitner por todas las enseñanzas y el apoyo brindando durante el desarrollo de la pasantía.

Al Laboratorio de Calidad Ambiental-FCAM-UNASAM, quien a través de sus profesionales nos brindó su apoyo y proporcionaron información, materiales y asesoramiento para la realización de todos los análisis de nuestra tesis.

A nuestros asesores Dr. Julio Palomino Cadenas e Ing. Francisco León Huerta; por la amistad que nos brindaron, por la confianza, el tiempo y la paciencia, así como por los aportes y el constante asesoramiento en el tema; haciendo posible el desarrollo de la presente investigación.

A nuestros compañeros y amigos de la Facultad de Ciencias del Ambiente, que en todo momento nos animaron a seguir y culminar la presente investigación.

RESUMEN

El presente estudio de investigación tuvo como objetivo determinar el factor de bioconcentración (BCF) y el factor de traslocación (TF) de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013, para ello se realizó una recolección de 03 muestras de cada especie, tanto del suelo como de la planta (parte aérea y raíz).

Para el desarrollo de la investigación se realizó el análisis de metales pesados en el suelo, encontrándose que las concentraciones de Hg, Tl, Ag, Ni, Mo, Co y Cr se encuentran dentro del límite de las Normas de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola, mientras que las concentraciones de Cd, Sb, Cu, Zn, Pb y As se encuentran por encima del límite de las Normas Canadienses. En su mayoría, el promedio de las concentraciones de los metales pesados de las muestras de suelos de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, se encuentran en mayor concentración que en el promedio de las muestras de suelos del *Juncus arcticus* Wild., para lo cual se desarrolló el análisis de varianza (ANOVA) hallándose para nuestro estudio un F menor al $F_{\text{crítico}}$, indicándonos que nuestros datos de las tres repeticiones no tienen diferencias significativas, por lo que se trabajó con el promedio de las repeticiones.

Así mismo se realizó el análisis de los principales metales pesados (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb, Zn, Ag y Ni) en el suelo, parte aérea y raíz de la planta, con lo cual se calculó el factor de bioconcentración y traslocación de las dos especies, con la finalidad de conocer su potencial de extracción y/o estabilización de metales pesados, obteniéndose resultados que muestran que el *Juncus arcticus* Willd. acumuló la mayor concentración de Fe, As, Zn, Al, Pb y Cu en las raíces (>8000, >6000, >5000, 2400, 987 y 784 mg/kg) que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf. Además basados en el promedio del BCF de cada especie de planta, las raíces del *Juncus arcticus* Willd. fueron más eficiente que las raíces de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, en extraer Zn, Cu, Mn, Cd, Sb, Al, As, Fe y Pb. Así mismo sobre la base del promedio del TF, la *Cortaderia rudiusscula* Stapf fue más eficiente que el *Juncus arcticus* Willd. en la traslocación de Mn, seguido del

Cd, mientras que el *Juncus arcticus* Willd. fue más eficiente que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf en la traslocación de Pb, Sb, As, Fe y Al.

Finalmente en nuestra investigación se recomienda usar a la *Cortaderia rudiusscula* Stapf como planta acumuladora en recuperación de cobertura vegetal de desmontes, y usar el *Juncus arcticus* Willd. en la acumulación de metales pesados en humedales, para el tratamiento de drenaje ácido de roca y drenaje ácido de mina.

ABSTRACT

This research study was carried out to determine the bio-concentration factor (BCF) and the translocation factor (TF) of heavy metals in two plant species, *Juncus arcticus* Willd. and *Cortaderia ruidiuscula* Stapf, contaminated with deleterious mining products which have significant environmental impact in the Alliance areas in Ancash, in 2013.

In this study, we selected 3 samples from each plant species, and both soil and plant analysis (shoot and root sampling) was performed.

The specific focus of our research was on heavy metals, and on analysis, we found that the concentrations of Hg, Tl, Ag, Ni, Mo, Co and Cr were within the limits of the Canadian Environmental Quality Standards for agricultural land. However, the concentrations of Cd, Sb, Cu, Zn, Pb and As were above the limits of the Canadian Standards.

Most of the concentrations of heavy metals in the soil samples of *Cortaderia ruidiuscula* Stapf were higher than those in the soil samples of *Juncus arcticus* Willd. This was found on statistical analysis of variance (ANOVA) in our study, where an F less than an F_{crítico} indicated that our data from the three replicates were of no significant difference; so we worked with the average of the replicates.

Likewise, an analysis of the main heavy metals (Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb, Zn, Ag and Ni) was performed on the ground, root and shoot of the plant, and the bio-concentration factor (BCF) and translocation factor (TF) of the two species were determined. In evaluating their potential use in the removal and/or stabilization of heavy metals, our results show that *Juncus arcticus* Willd. accumulated a higher concentration of Fe, As, Zn, Al, Pb and Cu in roots (> 8000, > 6000, > 5000, 2400, 987 and 784 mg/kg) than *Cortaderia ruidiuscula* Stapf. Also, based on the average BCF of each plant species, the roots of *Juncus arcticus* Willd. were more efficient than the roots of *Cortaderia ruidiuscula* Stapf, removing Zn, Cu, Mn, Cd, Sb, Al, As, Fe and Pb.

Further, based on the average TF, *Cortaderia rudiusscula* Stapf was more efficient than *Juncus arcticus* Willd. in the translocation of Mn, followed by Cd, while *Juncus arcticus* Willd. was more efficient than *Cortaderia rudiusscula* Stapf in translocation Pb, Sb, As, Fe and Al.

Based on these findings, we recommend the use of *Cortaderia rudiusscula* Stapf and *Juncus arcticus* Willd. as effective agents in the efficient control of the heavy metal effluent that can present great environmental and health problems to the land and the communities living in the affected areas.

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁG.
DEDICATORIA.....	I
DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	IIII
RESUMEN.....	V
INDICE.....	IX
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Hipótesis.....	3
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Fundamentación.....	4
1.5 Descripción del ámbito de investigación.....	5
CAPITULO II	
MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Antecedentes.....	13
2.2 Marco conceptual.....	17
2.1.1 Fitorremediación.....	17
2.1.2 Tolerancia de las Plantas hacia los Metales Pesados.....	17
2.1.3 Acumulación de metales pesados en las plantas.....	18
2.1.4 Fitocorrección de Suelos Contaminados.....	20
2.1.4.1 Fitoextracción de metales pesados:.....	20
2.1.4.2 Fitoestabilización de metales pesados.....	21
2.1.4.3 Fitovolatilización de metales pesados.....	21
2.1.4.4 Fitoestimulación o rizodegradación de metales pesados.....	21
2.1.4.5 Fitodegradación de metales pesados.....	21
2.1.4.6 Rizofiltración de metales pesados.....	22
2.1.5 Factores de concentración.....	22
2.1.5.1 Factor de bioconcentración (BCF).....	22
2.1.5.2 Factor de traslocación (TF).....	23
2.3 Definición de términos:.....	24

2.2.1	Pasivo ambiental minero.....	24
2.2.2	Relaves.....	24
2.2.3	Metales pesados.....	24
2.2.4	Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados.....	25
2.2.5	Factor de traslocación (FT).....	25
2.2.6	Factor de bioconcentración (FBC).....	25

CAPITULO III

METODOLOGÍA	26
3.1 Diseño de la investigación.....	26
3.1.1 Tipo de Diseño de investigación.....	26
3.1.2 Universo.....	27
3.1.3 Población.....	27
3.1.4 Muestra.....	28
3.1.5 Diseño y caracterización de la muestra.....	28
3.1.6 Muestreo de campo.....	29
3.1.6.1 Colecta de ejemplares de plantas para la herborización	29
3.1.6.2 Muestreo de suelos y plantas:.....	30
3.1.6.3 Manejo y análisis de las muestras de suelos y plantas	33
3.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos:.....	35
3.2.1 Herborización de las plantas.....	35
3.2.2 Determinación de los metales pesados.....	36
3.2.3 Corrección de los datos.....	38
3.2.4 Procesamiento, análisis y evaluación de datos.....	38
3.2.5 Identificación de plantas hiperacumuladoras:.....	39
3.2.6 Cálculo de las relaciones de concentración:.....	39
3.2.7 Categorización de las plantas en función a su concentración y factores de bioconcentración y traslocación.....	40
3.3. Recursos.....	42
3.3.1 Recursos humanos.....	42
3.3.2 Bienes y servicios	42
3.3.2.1 Bienes de campo:	42
3.3.2.2 Bienes de gabinete:	43
3.3.2.3 Servicios:	43

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
4.1. Concentración de metales pesados en el suelo.	44
Análisis de varianza (ANOVA) a las concentraciones de metales pesados en el suelo:	45
Margen de error de las concentraciones de metales pesados en el suelo:	46
Correlación de los metales pesados en los suelos:	50
4.2. Concentración de metales pesados en la planta.	51
Análisis de varianza (ANOVA) a las concentraciones de metales pesados en la raíz y en la parte aérea de cada planta.....	52
Niveles fitotóxicos en la planta:	71
Correlación de los metales pesados en las plantas	72
4.3. Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en las plantas. ...	73
Correlación del BCF entre metales pesados de las plantas.....	79
Correlación del TF entre metales pesados en las plantas	80
Comparación del BCF y TF del <i>Juncus arcticus</i> Willd. y la <i>Cortaderia rudiuscula</i> Stapf con otros estudios de investigación	81

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
5.1. Conclusiones.....	84
5.2. Recomendaciones.....	87
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 88
ANEXO	100

RELACIÓN DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura N°01: Ubicación del Pasivo Ambiental Minero Alianza.....	07
Figura N°02: Representación esquemática de los distintos mecanismos de fitocorrección.....	22
Figura N°03: Diseño de la investigación.....	30

RELACIÓN DE TABLAS

CONTENIDO

	Pág.
Tabla N°01: Zonas de vida del distrito de Ticapampa.....	10
Tabla N°02: Diseño de muestra.....	31
Tabla N°03: Codificación de las muestras de planta para la herborización.....	33
Tabla N°04: Codificación de las muestras de suelos.....	35
Tabla N°05: Codificación de las muestras de raíz de la planta.....	36
Tabla N°06: Codificación de las muestras de la parte aérea de la planta.....	36
Tabla N°07: Identificación de las plantas.....	39
Tabla N°08: Determinación de los metales pesados.....	41
Tabla N°09: Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health from Canadian Environmental Quality Guidelines y los Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo – Perú.....	50
Tabla N°10: Concentraciones de metales pesados en el suelo del <i>Juncus arcticus</i> Willd. y de la <i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf.....	52
Tabla N°11: Muestras del suelo de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013.....	54
Tabla N°12: Correlación de los metales pesados en los suelos.....	56
Tabla N°13: Concentraciones de Al en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	58
Tabla N°14: Concentraciones de As en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	60

Tabla N°15:	Concentraciones de Cd en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	61
Tabla N°16:	Concentraciones de Cu en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	63
Tabla N°17:	Concentraciones de Fe en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	65
Tabla N°18:	Concentraciones de Mn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	67
Tabla N°19:	Concentraciones de Pb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.....	69
Tabla N°20:	Concentraciones de Sb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.....	70
Tabla N°21:	Concentraciones de Zn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.....	73
Tabla N°22:	Concentraciones de Ag en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.....	74
Tabla N°23:	Concentraciones de Ni en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.....	76
Tabla N°24:	Metales pesados en concentraciones deficientes, normales y fitotóxicos en la parte aérea de la planta (mg/kg).....	78
Tabla N°25:	Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en las plantas.....	81
Tabla N°26:	Correlación del BCF entre metales del <i>Juncus arcticus</i> Willd.....	85

Tabla N°27:	Correlación del BCF entre metales de la <i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf.....	86
Tabla N°28:	Correlación del TF entre metales del <i>Juncus arcticus</i> Willd.....	87
Tabla N°29:	Correlación del TF entre metales de la <i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf.....	87
Tabla N°30:	Factor de Bioconcentración y Factor de Traslocación de diferentes estudios de investigación.....	88

RELACIÓN DE GRÁFICOS

CONTENIDO	Pág.
Gráfico N°01: Concentración de metales pesados en el suelo de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza y las Normas de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola.....	53
Gráfico N°02: Concentración del Al en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	58
Gráfico N°03: Concentración promedio del Al en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	59
Gráfico N°04: Concentración del As en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	60
Gráfico N°05: Concentración promedio del As en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	61
Gráfico N°06: Concentración del Cd en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	62
Gráfico N°07: Concentración promedio del Cd en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	62
Gráfico N°08: Concentración del Cu en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	64
Gráfico N°09: Concentración promedio del Cu en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	64
Gráfico N°10: Concentración del Fe en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	66

Gráfico N°11:	Concentración promedio del Fe en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	66
Gráfico N°12:	Concentración del Mn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	67
Gráfico N°13:	Concentración promedio del Mn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	68
Gráfico N°14:	Concentración del Pb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	69
Gráfico N°15:	Concentración promedio del Pb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	70
Gráfico N°16:	Concentración del Sb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	71
Gráfico N°17:	Concentración promedio del Sb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	71
Gráfico N°18:	Concentración del Zn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	73
Gráfico N°19:	Concentración promedio del Zn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero	
	Alianza.....	74

Gráfico N°20:	Concentración del Ag en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	75
Gráfico N°21:	Concentración del Ag en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	75
Gráfico N°22:	Concentración del Ni en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	76
Gráfico N°23:	Concentración del Ni en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.....	77

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Los metales y metaloides se transfieren del suelo a las plantas, dependiendo de la especiación química, pH del suelo, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, contenido de arcilla, carbonatos y potencial redox (Kabala y Singh, 2001).

Las plantas pueden adoptar distintas estrategias para contrarrestar la toxicidad de metales en su entorno. Unas basan su resistencia a través de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras prefieren acumular el metal en la parte aérea, en una forma no tóxica para la planta (Llugany, Tolrá, Poshnrieder y Barceló, 2007).

Existen ciertos factores que permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea (Lokeshwari y Chandrappa, 2006). Olivares y Peña (2009) definen al factor de bioconcentración (FB) como el cociente de la concentración de metales en los órganos aéreos entre la del suelo; mientras que el factor de traslocación (FT) es

definido como el cociente de la concentración del metal en los órganos aéreos entre la de la raíz (Zhang, Cai, Tu y Ma, 2002; Olivares y Peña, 2009).

Por lo anterior, el objetivo del trabajo es: Determinar el factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013

1.1. Planteamiento del problema.

Ancash, es una de las regiones con mayor cantidad de yacimientos mineros y con serios problemas socioambientales debido a la presencia de pasivos abandonados por actividades mineras pasadas. Según el inventario de Pasivos Ambientales Mineros (PAMs), actualizado por el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) en marzo de 2010, se registró 804 PAMs sólo en Ancash, siendo ésta la segunda región con mayores impactos ambientales sobre el aire, agua y suelo, muchas veces de manera irreversible, por lo que es necesario buscar alternativas sostenibles de remediación, que la propia naturaleza refleja al mostrar una variedad de especies nativas que crecen en estas áreas perturbadas; sin embargo muchas de estas especies solo han sido identificadas como fitorremediadoras más no clasificadas en función a su potencial de fitoextracción y/o fitoestabilización de metales pesados. Su clasificación a través de la determinación de factores de bioconcentración y traslocación nos permitirá hacer un trabajo de remediación mucho más eficiente, ya que estas serán destinadas en función a sus características fitorremediadoras para descontaminar zonas perturbadas con metales pesados. Por todo lo antes mencionado nos planteamos la siguiente pregunta:

¿Cuál es el factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013?

1.2. Hipótesis.

Considerando que las plantas pueden ser exclusoras, indicadoras y acumuladoras de acuerdo al Autor Baker, 1981; formulamos la siguiente hipótesis:

Se obtienen valores altos del factor de bioconcentración y traslocación, que coloca a las plantas *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf como plantas fitorremediadoras de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo general.

Determinar el factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Determinar la concentración de metales pesados en el suelo del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013
- Determinar la concentración de metales pesados en las raíces del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013
- Determinar la concentración de metales pesados en la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013

- Determinar el factor de bioconcentración de metales pesados del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013
- Determinar el factor de traslocación de metales pesados del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash, 2013

1.4. Fundamentación.

Los afluentes del Río Santa, están siendo seriamente contaminados por prácticas mineras inadecuadas, pasivos ambientales mineros que llegan a alterar la calidad de las aguas de la cuenca. Se han medido concentraciones importantes de metales pesados como fierro, plomo, zinc, cobre, cadmio, arsénico y antimonio en zonas afectadas con relaves mineros como Ticapampa (Romero, Flores y Pacheco, 2010)

La biorremediación es una práctica que está tomando importancia a nivel mundial dado que el aumento de la actividad industrial está degradando cada vez más los ecosistemas naturales. Durante los últimos años se han desarrollado tecnologías que permiten remediar la contaminación del ambiente a través del uso de plantas y sus organismos relacionados.

La fitorremediación es, por tanto, una de las técnicas más promisorias para remediar suelos contaminados con metales pesados, sin embargo, es aún, una tecnología incipiente, siendo el mayor problema la falta de antecedentes y resultados, debido a la larga duración de este tipo de proyectos, que son dependientes del crecimiento de las plantas, la actividad biológica y las condiciones climáticas. Sin embargo, es necesario seguir investigando sobre el potencial de fitoestabilización y fitoextracción de cada especie nativa, es por ello la necesidad de estudiar los factores de bioconcentración y traslocación, para hacer un uso más eficiente de sus beneficios y los proyectos pilotos de investigación que se realicen, generarán resultados en los próximos años, que contribuirán con estos estudios.

1.5. Descripción del ámbito de investigación (Romero et al., 2010).

El pasivo ambiental minero Alianza constituye un relave polimetálico de flotación de minerales sulfurados de cobre, plomo y zinc, el cual se localiza en la cuenca media del Río Santa, la cual ha sido negativamente impactada desde el año de 1900, por las labores mineras de Collaracra, el Triunfo y la Florida; en el año de 1908, por el funcionamiento de la planta concentradora y de la fundición de la empresa minera The Anglo French Ticapampa Silver Mining Co. y en el año de 1967, por la labor minera de la explotación de la plata, plomo y zinc y el funcionamiento de la planta concentradora, a cargo Compañía Minera Alianza S.A. Empresa Nacional; como consecuencia de la realización de labores mineras y las actividades de beneficio de minerales, se tiene pasivos ambientales, tales como: 4 canchas de relaves polimetálicos y filtraciones de agua de relavera, cuyos drenajes se vierten de manera directa al cuerpo de agua receptor de la cuenca del Río Santa, cuya calidad de aguas se han convertido en un lugar sin indicio de vida acuática, siendo el consumo de esta agua nocivo para los seres vivos.

El pasivo ambiental minero Alianza tiene una dimensión de 759x200 metros con una altura máxima de 19 metros, lo que nos daría alrededor de 5 millones de toneladas métricas de relave.

El depósito de relaves "Alianza" se inicia en el año de 1912, con la compañía francesa The Anglo French Silver Mining Co., pasando posteriormente a diferentes compañías mineras, la última de 1967 a 1985, fecha en que paraliza los procesos metalúrgicos de beneficio de minerales.

1.5.1. Ubicación y acceso (CESEL Ingenieros, 2009).

El pasivo ambiental minero Alianza, del depósito de relaves de Ticapampa se encuentra ubicado dentro de la Cordillera Negra y pertenece políticamente a los distritos de Ticapampa y Aija, provincias de Recuay y Aija respectivamente, departamento y región de Ancash; con altitudes entre los 4100 y 4975 msnm; sus coordenadas perimétricas en

coordenadas UTM son, Norte 8 921 351 y Este 232 163, el Datum utilizado es el PSAD-56, Zona 18.

El depósito de relaves se encuentra en una franja entre la carretera a Huaraz y el Río Santa. Los relaves se encuentran en la ribera izquierda del río Santa. Sobre una reciente terraza fluvial, casi en el cauce actual del río.

Los accesos para llegar a la zona donde se ubica el Pasivo Ambiental Minero, se hacen a través de la Carretera Panamericana Norte hasta el desvío de Conococha camino al Callejón de Huaylas, la cual se encuentra asfaltada.

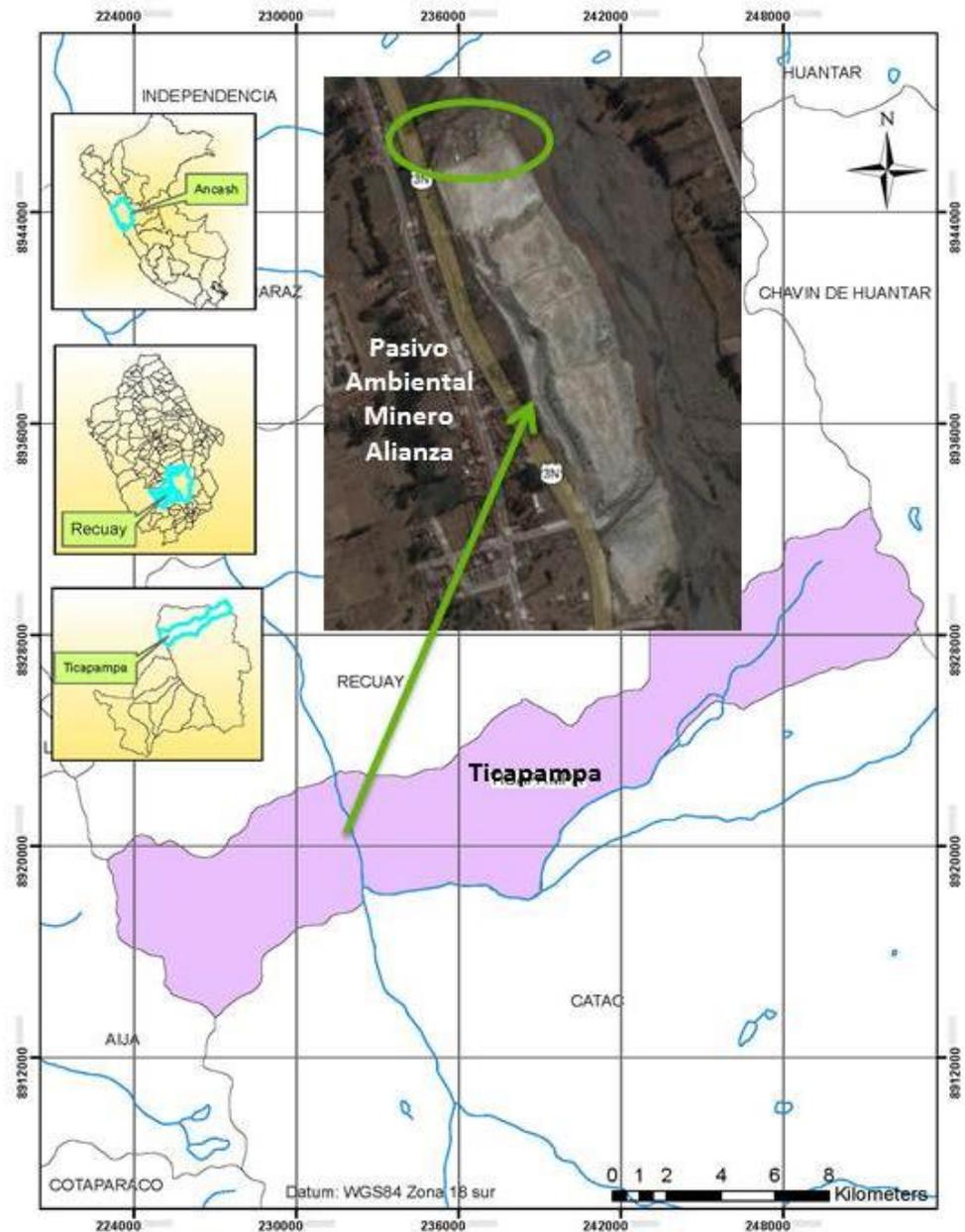


Figura N°01: Ubicación del Pasivo Ambiental Minero Alianza

1.5.2. Características del ámbito de estudio.

1.5.2.1. Recurso hídrico.

Los relaves se encuentran en la ribera izquierda del río Santa. Sobre una reciente terraza fluvial, casi en el cauce actual del río. El principal cauce de drenaje regional lo constituye el río Santa, al cual bajan una serie de quebradas tributarias de naturaleza torrentosa.

Hidrografía.

El río Santa es uno de los cursos principales y es el más caudaloso de la Costa peruana. Nace en la laguna Aguash, la que vierte sus aguas al río Tuco y luego a la laguna Conococha y discurre en su tramo superior de Sur a Norte entre las cordilleras Blanca y Negra y en su tramo inferior de Este a Oeste.

El área total de drenaje es 14954 km², presentando un caudal medio multianual de 143m³/s en su entrega al Océano Pacífico. Recorre una longitud de 316 km y una pendiente media de 1,4 %.

La mayoría de afluentes del río Santa nacen en los 5000 msnm, alimentándose de la precipitación estacional y de los nevados que ocupan un área total de 616 km² y las descargas de 630 lagunas, estos afluentes están ubicados en su margen izquierda, donde la cadena de montañas recibe el nombre de cordillera Blanca.

Uno de sus principales afluentes es el río Tablachaca o río Negro que se une al río Santa en la localidad conocida como Condorcerro. Es el afluente más caudaloso y su desarrollo es de Este a Oeste.

El área cultivada y servida por el río Santa es de 47807 ha, de las cuales 6516 ha están ubicadas en el valle costero y 41391 ha, están ubicadas a lo largo del llamado Callejón de Huaylas.

Respecto a la actividad minera, existen muchas minas y depósitos de relaves abandonados, que constituyen focos de contaminación ambiental, y es necesario tomar medidas para mitigar el impacto ambiental. (CESEL Ingenieros, 2009)

Hidrología:

La cuenca de interés correspondiente a la zona aguas arriba de la relavera, se encuentra ubicada entre las coordenadas 233 200 y 235 200 Este y 8 918 800 y 8 919 300 Norte de la Zona 18, en la cuenca del río Santa, departamento de Ancash. La cuenca no presenta ríos notables, sino que se originan en meses de máximas avenidas, discurriendo en dirección oeste.

1.5.2.2. Ambiente socioeconómico.

El estudio está conformado por la población comprendida en el área de influencia de los pasivos ambientales conformado por el distrito de Ticapampa. El distrito de Ticapampa, posee una extensión de 142.29 km², se encuentra a 3456 m.s.n.m. y está conformado por los centros poblados de San Julio, Yacucancha, Cancana, Tranga, Tomapata, Salinas, Rampac, Pocra, Jecosh, Yuyucachi, Compina, Chaupis, Hatun Huishca, Cutacancha, Yanamaray, Anascancha y Conde. Pertenece a la provincia de Recuay. Limita por el norte con Recuay, al sur con Catac, al oeste Aija y por el este con la provincia de Huari, departamento de Ancash (CESEL Ingenieros et al., 2009).

1.5.2.3. Zonas de vida.

El distrito de Ticapampa, está conformada por las siguientes zonas de vida:

Tabla N°01: Zonas de vida del distrito de Ticapampa

Zona de Vida	PPmin (mm)	PPmax (mm)	Tmin (C°)	Tmax (C°)	Hmin (msnm)	Hmax (msnm)
Nival Tropical	500	1000	0	15	4500	5000
Tundra muy húmeda Andino Tropical	250	500	3	6	4300	5000
Bosque húmedo Montano tropical	500	1000	6	12	2800	3800
Páramo muy húmedo Subandino Tropical	500	1000	3	6	3900	4500
Estepa Montano Tropical	250	500	6	12	2800	3800

Fuente: Holdridge, 1967

Donde: PPmin; precipitación mínima, PPmax; precipitación máxima, Tmin; temperatura mínima, Tmax; temperatura máxima, Hmin; altitud mínima, Hmax; altitud máxima.

1.5.2.4. Características morfológicas y topográficas.

El depósito de relaves está compuesta por una zona 1, con capa superficial arena limo-arcillosa con grava (SC-CM) de color naranja oscuro, húmeda, baja plasticidad y medianamente densa, alcanzando una profundidad de .90m, y por una zona 2, con capa superficial de arena limosa (SM) mezclada con raíces y gravas, de color marrón, húmeda, no plástica y suelta, está capa alcanza una profundidad de 0.50m. (CESEL Ingenieros et al., 2009).

1.5.2.5. Fisiografía.

Se distinguen las siguientes unidades fisiográficas:

- Gran Paisaje Llanura Aluvial: Está integrado por áreas planas originadas por depósitos fluviales del río Santa y los depósitos aluviales provenientes de las partes altas de la cuenca. Dentro de este gran paisaje se ha identificado el paisaje: llanura aluvial del cuaternario.
- Gran Paisaje Montañoso: El gran paisaje montañoso se ha formado debido a procesos estructurales, dominados por la acción combinada de movimientos orogénicos y epirogénicos de levantamiento. A la acción modeladora de la erosión pluvial, que poco a poco fue formando importantes estratos de dicho material, se sumaron los procesos de diagénesis hasta que finalmente, por acción del levantamiento de la Cordillera de los Andes, se originó este gran paisaje. (CESEL Ingenieros et al., 2009).

1.5.2.6. Geología.

Para definir las condiciones geológicas se ha empleado la información del Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET, 2011), el área de estudio se encuentra en el flanco occidental, de la cordillera blanca y el flanco la Cordillera Negra y en el valle del río Santa. La zona pertenece a la Era Cenozoica, del Sistema Cuaternario y de la serie Halógeno, con unidades de depósitos aluviales, morrenicos, glaciofluviales, lacustres. Presenta un relieve accidentado y agreste con flancos empinados y superficies rocosas.

1.5.2.7. Suelos.

De acuerdo al Mapa de Suelos del Perú elaborado por la ex Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN, 1972), los relaves de Ticapampa se encuentra conformado por cuatro asociaciones de grandes grupos de suelos:

- Litosol Andino Distrito – Lad: Los litosoles andinos dísticos de baja elevación son similares a los de alta elevación, donde están pobremente desarrollados. Sin embargo, en comparación con los litosoles andinos dísticos de alta elevación que tienen estratos orgánicos bien desarrollados, los litosoles andinos dísticos de baja elevación tienen poco o ningún contenido de materia orgánica. Estos suelos generalmente están asociados a los kastanozems, pero se pueden encontrar de manera individual.
- Paramosol Distrito – Pd-lad: Los paramosoles dísticos generalmente están compuestos de suelos coluviales y residuales con turba, que generalmente se derivan y están asociados con litosoles andinos dísticos. Debido a las condiciones climáticas.
- Paramosol Andosol - Pa-lad: Los paramosoles andosoles son tipos de suelos dominantes de los paramosoles altoandinos y generalmente se encuentran en zonas relativamente planas o en mesetas altoandinas. Están desprovistos de capas orgánicas distinguibles y no se pueden clasificar como éutricos o dísticos. Los andosoles generalmente están asociados con litosoles andinos dísticos.
- Fluvial eutricto - Fe(a): Los fluviosoles éutricos generalmente se presentan en valles con un relieve topográfico local que varía de plano a ondulado. Generalmente son suelos aluviales irrigados que se encuentran en climas áridos.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.

La idea de utilizar la fitorremediación en suelos fue introducida en el año 1983 (Chaney, 1983) y ganó aceptación en 1990 al tratarse de una alternativa “verde”. Los organismos gubernamentales incluyen la fitorremediación como estrategia de limpieza para dar un mejor aprovechamiento a los fondos disponibles. Además, empresas consultoras están incluyendo en sus paquetes tecnológicos la fitorremediación, para anunciar su participación con el medio ambiente (Pilon-Smits, 2005). Aunque existen numerosas investigaciones en este campo (Brooks 1998), existen pocos trabajos en América del Sur (Bech J., Poschenrieder., CH., Llugany, M., Barceló, J., Tume, P., Tobías, F.J., Barranzuela, J.L. y Vásquez, E.R, 1997 y Ginocchio y Baker, 2004).

El tiempo que toma descontaminar un sitio depende de diversos factores. Entre los más importantes están: tipo y número de plantas que se emplean, tipo y cantidad de sustancias químicas presentes, tamaño y profundidad del área contaminada, tipo de suelo y condiciones ambientales presentes (US-EPA, 2003). La fitorremediación, mediante diversas técnicas, puede utilizarse para

reducir, estabilizar o transformar una amplia variedad de contaminantes (Miller, 1996).

Actualmente se reconoce que las técnicas de fitocorrección, basadas en el uso de plantas (fitorremediación), son alternativas prometedoras a las técnicas clásicas de descontaminación para suelos con contaminación difusa o moderada (McGrath, 2002; McIntyre, 2003; Vassilev, 2004).

Se han realizado trabajos de investigación tales como:

“Evaluación de tres especies nativas del desierto Chihuahuense para uso en fitorremediación”, los objetivos del presente trabajo fueron: evaluar la tolerancia de las especies *Eleocharis macrostachya*, *Schoenoplectus americanus* y *Sporobolus airoides* a dosis crecientes de arsénico, en condiciones de inundación, y cuantificar la acumulación de As en la fitomasa. La especie *Eleocharis macrostachya* presentó un incremento de As de 0.215 µg/g en la parte aérea y 0.155 µg/g en la raíz por cada miligramo de arsénico adicionado en el sustrato; para dosis de 3, 6 y 9 mg/l los factores de biconcentración fueron 3.45, 3.00, 2.76 y los factores de traslocación fueron 0.18, 0.94, 1.20 respectivamente; estos valores indican que *E. macrostachya* es tolerante a dosis de 3 y 6 mg/L y, a dosis de 9 mg/L se comporta como acumuladora de arsénico, la especie acumula el metaloide en forma proporcional a las dosis aplicadas. Sin embargo, de acuerdo con los factores de bioconcentración y translocación obtenidos, según los criterios de clasificación establecidos por Fitz y Wenzel, la planta se clasifica como tolerante y acumuladora (Fitz y Wenzel, 2002). En especie *Schoenoplectus americanus*, la concentración aumentó en la parte aérea en 0.085 µg/g y en la raíz en 0.127 mg/g por cada mg/l que se adicionó; para dosis de 3, 6 y 9 mg/l los factores de biconcentración fueron 1.75, 1.09, 1.72 y los factores de traslocación fueron 1.16, 2.09, 0.64 respectivamente; estos valores indican que *S. americanus* es acumuladora bajo las dosis de 3 y 6 mg/L y al aumentar la concentración a 9 mg/l, el factor de translocación disminuye a valores menores de uno, por lo que la planta pasa a ser tolerante. En la especie *Sporobolus airoides*, la concentración aumentó en 0.055 µg/g en la parte aérea y en la raíz en 0.046 µg/g, por cada mg/l que se adicionó; para dosis de 3, 6 y 9 mg/l los factores de biconcentración fueron 0.89, 0.37, 0.88 y los factores de

traslocación fueron 0.44, 0.75, 1.01 respectivamente; Estos valores indican que *S. airoides* empieza a traslocar a dosis de 9 mg/L, sin embargo, el factor de bioconcentración sigue siendo menor de uno, por lo que la planta se clasifica como tolerante (Fitz y Wenzel, 2002).

Se encontró que las especies *E. macrostachya* y *S. americanus* tienen potencial para la fitorremediación de áreas inundadas contaminadas con arsénico. (Núñez, G.O., Alarcón, M.T., Melgoza, A., Rodríguez, F.A., Royo, M.H., 2007).

“Contaminación por metales pesados y la acumulación en el suelo y especies de plantas silvestres de la industria, área de Islamabad, Pakistán” donde la base del Factor de Bioconcentración y el Factor de traslocación de las especies de plantas fueron identificados con potencial para la fitoestabilización y fitoextracción, *B. reptans*, *S. P. nigrum oleracea* y *X. stromarium*, tenían valores muy altos del Factor de bioconcentración y podrían ser útiles para fitoestabilización de suelos contaminados con Cu y Pb, la mayoría de las especies fueron eficientes para captar y traslocar más de un metal de sus raíces a la parte aérea. Según el valor más alto del Factor de traslocación, *el hysterothoirus P.* y *A. viridis* puede ser utilizado para la fitoextracción de Pb y Ni (Riffat, N. M., Syed, Z. H., Ishfaq, N., 2010).

“Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación” se evaluó en la especie *Amaranthus dubius* el factor de bioconcentración (BCF) de nutrientes minerales y metales no esenciales, dada por el cociente entre su concentración en los órganos aéreos y la de los respectivos suelos, en muestras colectadas en tres sitios del Estado Miranda, Venezuela: El Jarillo, la Escuela Técnica Agropecuaria Carrizal y La Maitana. También se comparó el BCF con el de otras seis especies, entre ellas *A. hybridus*. Se encontró que en las dos especies de amaranto el BCF de K fue mayor y se observó bioconcentración de N, P, K, Mg, Ca y Cd en sus hojas; sin embargo, para Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Co, Cr y Pb se obtuvo un $BCF < 1$. En Carrizal se hizo un segundo muestreo, colectando las raíces, comparándose *A. dubius* con tallos verdes o rojizos, y no se encontraron diferencias en la

composición elemental en plantas de diferente coloración. Las hojas presentaron mayor concentración que las raíces para N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn (factor de transferencia, $TF > 1$). *A. dubius* resultó muy rico en N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn, elementos que interesan en la dieta animal, obteniéndose valores mayores en las hojas en comparación con las inflorescencias; sin embargo, se alerta sobre la necesidad de un control de los elementos no esenciales que pueden presentarse en concentraciones no recomendadas para el consumo, tal como ocurrió con Cd, Al, Cr y Pb en las muestras colectadas. (Olivares, E., Peña, E., 2009).

“Bioacumulación de metales pesados en leche de ganado vacuno en el área de influencia del pasivo ambiental de Chahuapampa - Utcuyacu - Catac”, donde las variables analizadas del metal con mayor concentración en el agua, suelo y pasto es el plomo, con una concentración promedio de 0.915 mg/l (sobrepasando el LMP establecido por la LGA, Clase III, CEQG y EPA 0.1 mg/l y el Reglamento Ambiental Boliviano 0.50 mg/l), 54.50 mg/Kg suelo (encontrándose por debajo de los LPM establecidos por CEQG 70 mg/Kg) y 5.44 mg/Kg pasto (encontrándose por debajo del LPM, establecido según el Manual de Nutrición de Plantas de Jones J.B. 30mg/Kg); mientras que el metal con mayor concentración en leche es el mercurio con un valor promedio de 1.47 mg/l leche (LMP establecido por la FAO/OMS es 0.01 mg/l leche). En cuanto a los resultados obtenidos el carácter toxico de los metales pesados (As, Pb, Cd, Hg), es posible que afecten el equilibrio del ecosistema estudiado, provocando un efecto de bioacumulación entre los organismos de la cadena trófica (Moreno, V.Y., Vizconde, S. J., 2006).

“Cobertura vegetal en la biorremediación de relaves mineros”, donde se concluye que las plantas que se usan en recuperación de relaves mineros, son aquellas que han incorporado en sus genes capacidades de adaptación, tolerancia y acumulación de metales pesados, conociéndose como tolerantes e hiperacumuladoras de estos contaminantes a nivel de la rizósfera, raíz, o parte aérea. Entre las especies más estudiadas pertenecen a las familias *Poaceae*, *Plantaginaceae*, *Fabaceae*, *Poligonaceae*, *Scrophulariaceae* (Romero, L.J., 2012).

2.2. Marco conceptual.

2.1.1. Fitorremediación.

La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen in situ o ex situ la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas. La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes. (Kelley, C., Gaither, K. K., Baca-Spry, A., Cruickshank, B. J., 2000; Miretzky, P., Saralegui, A., Fernández-Cirelli, A., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen, S., Singh, S., D'Souza, S. F., 2007; Cho, C., Yavuz-Corapcioglu, M., Park, S., Sung, K., 2008).

2.1.2. Tolerancia de las Plantas hacia los Metales Pesados.

La tolerancia hacia los metales pesados está representada por la habilidad de sobrevivir en un suelo que es tóxico a otras plantas, y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente (Macnair, M., 2002), lo cual determina su sobrevivencia (Kuiper, 1984).

Los mecanismos de tolerancia son en gran parte internos: los metales son absorbidos por plantas crecidas en sustrato metalífero, presentando una serie de adaptaciones fisiológicas y bioquímicas desarrolladas en varios grados para diferentes metales en diferentes especies y poblaciones (Baker, A.M.J., 1987).

Esta tolerancia deriva del desarrollo de diferentes estrategias basadas en mecanismos que les permiten hiperacumular metales en formas no tóxicas o, por el contrario, excluirlos fuera de sus tejidos (Baker, 1981).

La revegetación de áreas degradadas con este tipo de especies ayuda a estabilizar el suelo y a recuperar los ciclos en la capa superficial, y es el primer paso en la descontaminación o fitocorrección. La

identificación de nuevas especies pioneras de rápido crecimiento capaces de crecer en suelos pobres contaminados, tales como aquellos originados sobre los residuos mineros, y el estudio de su comportamiento frente a los metales, continúa siendo, por tanto, de gran importancia en el desarrollo de la fitocorrección (Alvarez, 2003).

Un sistema eficiente de fitorremediación requiere especies de plantas que satisfagan 2 prerequisites: tolerancia a metales y capacidad de acumulación (absorción, detoxificación y secuestro). Además la planta ideal debería poseer la habilidad de sobrevivir a más de un metal en el medio de crecimiento (Saxena, 1999).

2.1.3. Acumulación de metales pesados en las plantas.

Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo porque restringen su absorción y/o translocación hacia las hojas (estrategia de exclusión); sin embargo, otras los absorben y acumulan activamente en su biomasa aérea (estrategia acumuladora), lo que requiere una fisiología altamente especializada (Baker y Walker, 1990). Se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones sobre el nivel de fondo hasta respuestas extremas, en las que el metal llega a exceder el 1% de la materia seca de la planta.

Brooks, Lee, Reeves y Jaffré (1977) fueron los primeros en utilizar el término “planta hiperacumuladora” para referirse a plantas capaces de acumular >1000 Ni mg/kg de materia seca. El término se redefinió posteriormente para designar plantas que acumulaban >10 000 mg/kg de Mn o Zn, >1000 mg/kg de Co, Cu, Ni o Pb y >100 mg/kg de Cd (Baker, McGrath, Reeves y Smith, 2000).

Básicamente, la capacidad fitoextractora de una planta depende de su capacidad de absorber, translocar y secuestrar el metal de interés en su parte aérea cosechable, así como de la cantidad de biomasa producida. Dado que las plantas hiperacumuladoras son relativamente

raras y muchas de ellas producen una escasa biomasa y poseen una baja tasa de crecimiento (Baker et al., 2000), su uso efectivo en los procesos de fitoextracción es limitado. Adicionalmente, se podrían utilizar plantas tolerantes no hiperacumuladoras en combinación con enmiendas del suelo con el objetivo de rebajar la biodisponibilidad y exposición de los metales (fitoestabilización) (Vangronsveld & Cunningham, 1998; Berti & Cunninham, 2000). A pesar de la gran dedicación al tema, todavía son pocas las plantas estudiadas para su uso en fitocorrección, y siguen siendo necesarios nuevos estudios geobotánicos y búsquedas adicionales de especies con valor potencial en este tipo de técnicas de fitocorrección.

Las plantas poseen 3 estrategias básicas para crecer sobre suelos contaminados (Raskin, 1994). La primera se presenta en plantas exclusoras de metales, las cuales previenen la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de estos sobre un amplio rango de concentración de metales en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces. La segunda se encuentra en las plantas denominadas indicadoras de metales, que acumulan los mismos en sus tejidos aéreos y generalmente reflejan el nivel de metal en el suelo (Ghosh & Singh, 2005). Finalmente, la tercera estrategia es la de las plantas acumuladoras, las cuales pueden concentrar metales en sus partes aéreas, en niveles que exceden varias veces el nivel presente en el suelo (Rotkittikhun, R; M. Kruatrachue; R. Chaiyarat; C. Ngernsarsaruay; P. Pokethitiyook; A. Paijitrapaporn & A.J.M. Baker, 2006).

Los órganos de las plantas difieren en su capacidad para acumular metales. En la mayoría de las plantas, raíces, tallos, hojas, frutos y semillas presentan diferentes niveles de concentración y acumulación de metales pesados (Kloke, 1994). Cuando la fuente de metales pesados es el suelo, en general los niveles decrecen en el orden: raíces > tallos > hojas > frutos > semillas. Por ejemplo, plantas jóvenes de girasol (*Helianthus annuus*) creciendo en solución nutritiva suplementada con Cd, Cu, Pb y Zn acumularon metales especialmente

en las raíces y en los tallos (Kastori, 1992). Los aportes por deposición aérea pueden cambiar el orden, especialmente para Pb. Se clasificó al B, Cd, Mn, Mo (molibdeno), Se y Zn como elementos fáciles de translocar a la parte superior de las plantas Ni, Co y Cu como intermedios, y Cr, Pb y Hg (mercurio) como los translocados en última instancia (Chaney & Giordano, 1977).

2.1.4. Fitocorrección de Suelos Contaminados.

La fitocorrección engloba un grupo de técnicas emergentes basadas en el uso de especies vegetales y sus microorganismos asociados para extraer, acumular, inmovilizar o transformar los contaminantes del suelo (Figura N°02) (Barceló y Poschenrieder, 2003; Ghosh y Singh, 2005; Pilon-Smits, 2005).

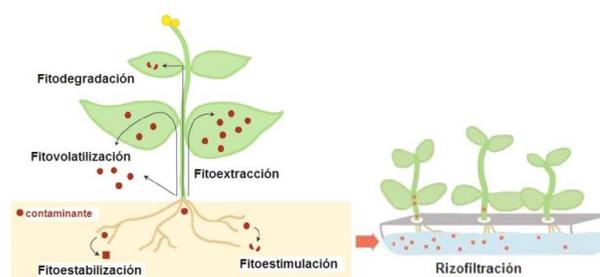


Figura N°02: Representación esquemática de los distintos mecanismos de fitocorrección. El contaminante puede ser estabilizado o degradado en la rizosfera, secuestrado o degradado dentro de la planta, o volatilizado (**Fuente:** Pilon-Smits et al., 2005).

Los diferentes mecanismos de fitocorrección se describen a continuación:

2.1.4.1. Fitoextracción de metales pesados:

Su aplicación se basa en el uso de plantas que poseen una capacidad natural por encima de lo usual para absorber y concentrar en sus partes aéreas determinados metales pesados

(principalmente As, Cd, Co, Ni, Se o Zn) sin desarrollar síntomas de toxicidad.

2.1.4.2. Fitoestabilización de metales pesados.

Las plantas idóneas para su uso en la fitoestabilización son aquellas tolerantes a altas concentraciones de metales pero que no absorben ni movilizan los contaminantes, limitando la absorción por las raíces y/o evitando su translocación a la parte aérea ($[\text{raíz}]:[\text{suelo}] < 1$ y/o $[\text{hojas}]:[\text{raíz}] < 1$).

2.1.4.3. Fitovolatilización de metales pesados.

Es el proceso por el cual las plantas y la actividad microbiana asociada, a través de enzimas especializados, pueden transformar, degradar y finalmente volatilizar los contaminantes desde el suelo. La volatilización puede producirse tanto desde el sistema radicular como desde la parte superficial del suelo. (Torres y Zuluaga, 2009).

2.1.4.4. Fitoestimulación o rizodegradación de metales pesados.

Es el proceso por medio del cual las raíces de las plantas, su microflora asociada y/o los productos excretados destruyen el contaminante en la zona radicular. (Torres et al., 2009).

2.1.4.5. Fitodegradación de metales pesados.

Es el proceso mediante el cual las plantas toman el contaminante y lo metabolizan transformándolo en un material sin riesgos para el medio natural. (Torres et al., 2009).

2.1.4.6. Rizofiltración de metales pesados.

Se basa en que algunas plantas acuáticas, de humedales, algas, bacterias y hongos, resultan ser buenos biosorbentes de metales mediante su absorción a partir de aguas contaminadas a través de sus raíces (Ej. Typha, Phragmites). A principios de los 90, se abrieron nuevas perspectivas con el uso también de plantas terrestres que se habían desarrollado en cultivos hidropónicos y que permitía unos sistemas radiculares más extensos para “filtrar”, adsorber y absorber metales desde medios acuáticos (Raskin et al., 1994; Dushenkov, Nanda, Motto y Raskin., 1995; Dushenkov & Kapulnik, 2000).

2.1.5. Factores de concentración.

Existen ciertos factores que permiten conocer la capacidad que tienen las plantas para absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea (Lokeshwari y Chandrappa, 2006).

2.1.5.1. Factor de bioconcentración (BCF).

También conocido como Índice de bioconcentración (BF), Coeficiente de absorción biológica (BAC), Coeficiente de transferencia (TC), Factor de concentración (Cf) o Coeficiente de bioacumulación (BAC); se utiliza para medir la capacidad de captación de un metal por una planta (raíz y parte aérea) con relación a su concentración en el suelo. Para las plantas, el BCF se utiliza como una medida de la eficiencia de acumulación de metales en biomasa, donde valores > 1 indican que las especies son potencialmente hiperacumuladora (Audet y Charest, 2007) y aquellas especies exclusoras poseen BCF menores que 1, tanto menores cuanto mayor es su capacidad de exclusión. Existen dos factores de bioconcentración que mencionamos a continuación:

Factor de bioconcentración en la raíz de la planta.

También conocida como Factor de concentración biológica (BCF) o Root accumulation factor (RAF). Se calcula como la relación entre la concentración de metales en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo (Yoon, 2006).

Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.

También conocida como Factor de bioacumulación (BAF), Coeficiente de acumulación biológica (BAC), Factor de remediación (RC) o Shoot accumulation factor (SAF). Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo (Vyslouzilova, 2003).

2.1.5.2. Factor de traslocación (TF).

Es el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y raíz (Olivares et al., 2009). Factores de traslocación mayores a 1 sugieren gran capacidad para transportar metales desde las raíces a los vástagos, explicada en su mayor parte por eficientes sistemas de transporte de metales (Zhao, 2002) y, probablemente, por secuestro de metales en las vacuolas de las hojas y en el apoplasto (Lasat, 2000). Las plantas hiperacumuladoras se caracterizan por una relación concentración de metal parte aérea / concentración de metal raíz, mayor a 1. En cambio, las plantas no acumuladoras tienen una más alta concentración de metal en raíces que en hojas y tallos (Baker, 1981; Brown, 1995).

De acuerdo con Deng (2004) y con Audet y Charest (2007), un valor del Factor de Traslocación mayor a 1 indica una eficiente traslocación del metal a brotes, por lo que la planta puede usarse

con fines de fitoextracción. Si por el contrario, dicho valor es menor a 1, la translocación del metal es baja, por lo que éste es retenido principalmente en las raíces y puede usarse para fitoestabilización.

2.3. Definición de términos:

2.2.1. Pasivo ambiental minero.

La denominación pasivo ambiental minero hace referencia a los impactos ambientales generados por la operaciones mineras abandonadas con o sin dueño u operador identificables y en donde no se hayan realizado un cierre de minas reglamentado y certificado por la autoridad correspondiente (Yupari, 2004).

2.2.2. Relaves.

Son los residuos sólidos sin valor comercial que se desecha de los procesos metalúrgicos de beneficio de minerales, y los cuales son almacenados en las llamadas relaveras; cuyos diseños de construcción, operación y mantenimiento deben ser desarrollados de acuerdo a normas establecidas para evitar el impacto en el deterioro del medio ambiente. Si se cumple lo establecido, la presa de relaves debe de garantizar su estabilidad estática, pseudo estáticas y potencial de licuefacción (Ministerio de Energía y Minas, Perú (1995).

2.2.3. Metales pesados.

Son aquellos elementos químicos que presentan una densidad superior a 5 g/cm^3 , una masa atómica mayor a la del sodio de $22,99 \text{ g/mol}$ y número atómico superior a 20 (IUPAC, 2002).

2.2.4. Tolerancia de las plantas hacia los metales pesados.

La tolerancia hacia los metales pesados está representada por la habilidad de sobrevivir en un suelo que es tóxico a otras plantas, y se manifiesta mediante una interacción entre el genotipo y su ambiente (Macnair et al., 2002).

2.2.5. Factor de traslocación (FT).

Es una medida del transporte interno de un metal e indica la relación entre la concentración acumulada en la parte aérea y la raíz de una planta (Mattina, 2003).

2.2.6. Factor de bioconcentración (FBC).

Se utiliza para medir la capacidad de captación de un metal por una planta con relación a su concentración en el suelo. (Audet et al., 2007).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño de la investigación.

3.1.1 Tipo de Diseño de investigación.

Cuantitativo de tipo no experimental. Estudio prospectivo por la época de obtención de los datos; es transversal porque se estudiará la evolución del fenómeno en estudio en un tiempo determinado y analítico porque se está evaluando la interacción de las variables.

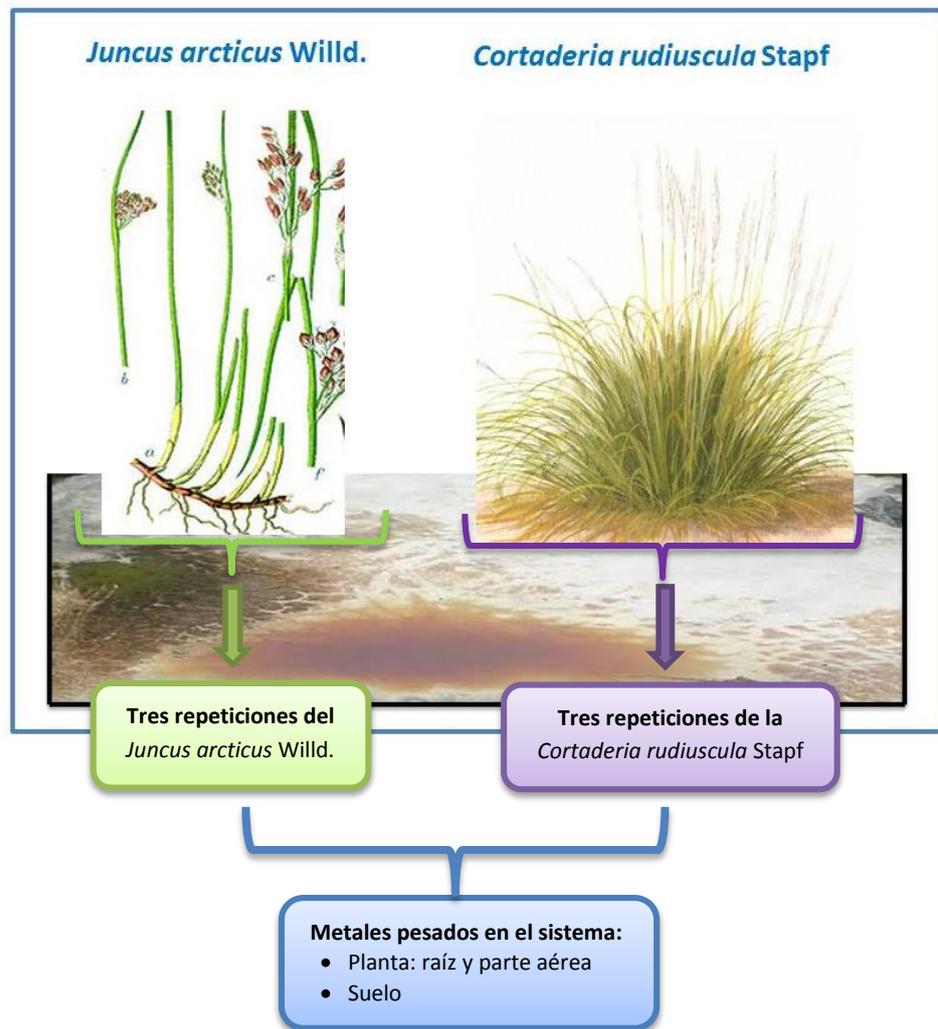


Figura N°03: Diseño de la investigación

3.1.2 Universo.

El universo para esta investigación son todos los pasivos ambientales mineros en el Perú.

3.1.3 Población.

Pasivo ambiental minero Alianza del distrito de Ticapampa, provincia de Recuay, región Ancash, Perú.

3.1.4 Muestra.

Se contó con dos tipos de muestra:

- **Vegetal:** *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf. A su vez se tomaron submuestras para cada planta: raíz y parte aérea. Se trabajó en cada caso con tres repeticiones.
- **Suelos:** substrato en el que crecen las especies vegetales consideradas como muestras. También se tomaron muestras con tres repeticiones para cada planta.

3.1.5 Diseño y caracterización de la muestra.

Para la obtención de los resultados, se analizaron metales pesados en dos especies de plantas cada una con tres repeticiones y sus respectivos suelos. A continuación el diseño de muestra se refleja en la tabla N°02.

Tabla N°02: Diseño de muestra

Marco de muestreo	Unidad de muestreo	Tamaño de muestreo	Método de muestreo	Unidad de análisis	Método de análisis
Pasivo ambiental minero Alianza del distrito de Ticapampa, provincia de Recuay, región Ancash, Perú	<i>Juncus arcticus</i> Willd.	Tres repeticiones de la parte aérea	Aleatorio estratificado	Metales pesados*	EPA-821-R-01-010 METHO D 200.7 REV.4.4 (1994)
		Tres repeticiones de la parte radicular			
	<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	Tres repeticiones de la parte aérea			
		Tres repeticiones de la parte radicular			
	Suelo de la rizósfera de cada una de las especies vegetales	Tres repeticiones de suelo de cada especie vegetal			

(*) Metales pesados: Ag, Al, As, Cd, Ce, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Tl, Sb, Sn, Co, Cr, Zn

3.1.6 Muestreo de campo.

Se realizó previamente al muestreo de las plantas y el suelo, el reconocimiento del sitio, con la finalidad de evaluar las condiciones del sitio, las rutas de acceso y los peligros potenciales asociados al muestreo.

3.1.6.1 Colecta de ejemplares de plantas para la herborización (OSINFOR - Protocolo para la Herborización, 2013):

- Se hizo la identificación de los ejemplares, a través de la observación visual de toda la zona de estudio, considerando aquellos ejemplares con flores y semillas.
- Se recolectaron tres duplicados por planta.
- Se hizo la delimitación de la zona suelo-raíz a extraer, se usó el pico y la lampa con mucho cuidado de no dañar o cortar las raíces del ejemplar.
- Se procedió a separar la raíz de la parte aérea solo de la segunda planta, usando la tijera de acero inoxidable. Luego se retiró el suelo de las raíces, lavándolas con agua.
- Los ejemplares fueron puestos en periódicos para finalmente ser colocadas en las prensas de madera y sujetadas con hilo pabilo.
- Se anotaron en cada etiqueta los datos de la colecta como; código de muestra (tabla N°03), ubicación, punto de georeferencia, altitud, fecha y hora de recolección, ver anexo N°01.

Tabla N°03: Codificación de las muestras de planta para la herborización

Código de muestra	Descripción
MP1-1	Primera muestra de planta uno
MP1-2	Segunda muestra de planta uno
MP1-3	Tercera muestra de planta uno
MP2-1	Primera muestra de planta dos
MP2-2	Segunda muestra de planta dos
MP2-3	Tercera muestra de planta dos

3.1.6.2 Muestreo de suelos y plantas:

Métodos de toma de muestra de suelo y plantas.

Se utilizó el método de Muestreo Selectivo (CCME, 1993), y el Método de la Línea de Intercepción (ITR, 1999), consiste en escoger sitios con diferencias obvias o típicas, tales diferencias se determinan a través de evaluaciones visuales y criterios técnicos del muestreador, se consideró también factores como los cambios de color superficial del suelo, las áreas de perturbación física o las áreas sin vegetación o con vegetación muerta, así mismo se consideró el área foliar (superficie de hoja de la especie) y la composición de la cubierta (porcentaje de cobertura de cada especie).

Colecta de las muestras de suelos:

- La excavación del hoyo se realizó con una lampa, a una profundidad aproximada de 30 cm y un ancho de 50 cm, muestreo de suelo a poca profundidad (CCME et al, 1993).
- Se colectaron un total de 6 muestras de suelo, cada una de 1 Kg, en caso de que estas superaran dicho peso, se procedió a hacer la técnica las cuartos opuestos (para fraccionamiento); que consiste en homogenizar la muestra inicial para luego

extenderla en un plástico, a fin de separar los cuartos opuestos, dicho procedimiento se repitió las veces como sea necesario para obtener el peso requerido de 1 Kg (MINEM, 2000).

Envasado e identificación de la muestra de suelo:

- La muestra se envasó en una bolsa de plástico zip-lock resistente al transporte y se identificó con cinta masking tape y plumón indeleble. Se utilizó doble bolsa plástica y ambas fueron etiquetadas (MINEM, 2000).
- En la rotulación de la muestra se incluyó la siguiente información: Código de la muestra y fecha de recolección, como lo muestra la tabla N°04.

Tabla N°04: Codificación de las muestras de suelos

Código de la muestra	Descripción
MS1-1	Primera muestra de suelo del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MS1-2	Segunda muestra de suelo del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MS1-3	Tercera muestra de suelo del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MS2-1	Primera muestra de suelo de la <i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf
MS2-2	Segunda muestra de suelo de la <i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf
MS2-3	Tercera muestra de suelo de la <i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf

Luego las muestras de suelo fueron transportadas con su respectiva cadena de custodia (anexo N°02) para ser almacenadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (FCAM - UNASAM).

Colecta de las muestras de plantas:

- Las muestras de plantas frescas, fueron recolectadas de las mismas áreas de muestreo establecidas para los suelos. Por ello, la información sobre suelos y plantas es co - representativa permitiendo desarrollar las relaciones suelo-planta de dicha área.
- Se tomaron muestras de las plantas, jalando con mucho cuidado, para evitar dañar las raíces de las plantas, así mismo se utilizó tijeras de acero inoxidable, para obtener la parte aérea de las mismas plantas (Subhashini, 2013).
- Se tomaron un total de 6 muestras de plantas, 6 muestras de la parte aérea y 6 muestras de la raíz de la misma planta.

Envasado e identificación de la muestra de plantas:

- Cada muestra fue colocada en una bolsa zip-lock previamente rotulada. Cada muestra de material recolectado, tanto de la parte aérea como raíz, contenían entre 150 y 250 gramos aproximadamente (peso húmedo).
- En la rotulación de la muestra se incluyó la siguiente información: Código de la muestra, tipo de muestra y fecha de recolección, como lo muestra la tabla N°05 y 06.

Tabla N°05: Codificación de las muestras de raíz de la planta

Código de la muestra	Descripción
MR1-1	Primera muestra de raíz del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MR1-2	Segunda muestra de raíz del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MR1-3	Tercera muestra de raíz del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MR2-1	Primera muestra de raíz de la <i>Cortaderia ruidiuscula</i> Stapf
MR2-2	Segunda muestra de raíz de la <i>Cortaderia ruidiuscula</i> Stapf
MR2-3	Tercera muestra de raíz de la <i>Cortaderia ruidiuscula</i> Stapf

Tabla N°06: Codificación de las muestras de la parte aérea de la planta

Código de la muestra	Descripción
MA1-1	Primera muestra de la parte aérea del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MA1-2	Segunda muestra de la parte aérea del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MA1-3	Tercera muestra de la parte aérea del <i>Juncus arcticus</i> Willd.
MA2-1	Primera muestra de la parte aérea de la <i>Cortaderia ruidiuscula</i> Stapf
MA2-2	Segunda muestra de la parte aérea de la <i>Cortaderia ruidiuscula</i> Stapf
MA2-3	Tercera muestra de la parte aérea de la <i>Cortaderia ruidiuscula</i> Stapf

- Luego las muestras de planta fueron transportadas con sus respectivas cadenas de custodia (anexo N°03 y anexo N°04) para ser almacenadas en el Laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo (FCAM - UNASAM).

3.1.6.3 Manejo y análisis de las muestras de suelos y plantas (Rodríguez, 2001):

Preparación de muestras de suelo:

- Se secó una porción homogenizada de suelo a temperatura de ambiente por 7 días.

- Se tamizó el suelo seco, con el tamiz de malla 63 μ .
- Se pesó 01 gramo de suelo seco tamizado, y se colocó en un recipiente de teflón.
- El suelo seco fue atacado con las mezclas de ácidos; 5 mL de $\text{HNO}_{3(\text{CC})}$ y 15 mL de $\text{HCl}_{(\text{CC})}$ a 100 °C de temperatura, por tres horas, en baño de arena o en digestor de microondas según metodología.
- Se enfrió el extracto digerido y se enrazó a 100 mL con agua ultrapura, posteriormente se centrifugó a 3000 rpm, durante 20 minutos.

Preparación de muestras de planta:

- Las muestras de planta fueron lavadas a fondo con agua destilada.
- Se secó una porción homogenizada de planta (parte aérea y raíz) a temperatura de ambiente por 7 días.
- Se trituró la planta seca lo más fino posible, de forma separada tanto la parte aérea y raíz.
- Se pesó 01 gramo de la parte aérea y raíz previamente tamizada, y se colocó en un recipiente de teflón cada una de ellas.
- Posteriormente se atacó ambos gramos con las mezclas de ácidos; 5 mL de $\text{HNO}_{3(\text{CC})}$ y 15 mL de $\text{HCl}_{(\text{CC})}$ a 100 °C de temperatura, por tres horas, en baño de arena o en digestor de microondas según metodología.

- Se enfrió el extracto digerido y enrazó a 100 mL con agua ultrapura, luego se centrifugó a 3000 rpm, durante 20 minutos (Rodríguez et al, 2001).

Todas las muestras fueron sometidas a análisis de metales totales por ICP dentro de los 14 días siguientes a su recolección. Se mantuvieron registros de cadena de custodia (anexo N°05) de todas las muestras que fueron enviadas al Laboratorio SAG, para ser analizadas.

Análisis de metales totales por ICP.

El método de análisis por ICP que utilizó el Laboratorio SAG fue; EPA-821-R-01-010 METHOD 200.7 REV.4.4 (1994). Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.

3.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos:

3.2.1 Herborización de las plantas.

Se siguió el procedimiento del Herbario de la Universidad Nacional de Trujillo - HUT, ver anexo N°06.

3.2.1.1 Identificación:

- Las plantas fueron identificadas por el biólogo José Mostacero León, decano de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo.
- Se corroboró la información del tipo de familia, género y especie de cada planta, en el Herbario de la Universidad de Trujillo - HUT y en la página web trópicos.org, como a continuación se detalla, en la tabla N°07:

Tabla N°07: Identificación de las plantas

	MP1	MP2
Autor	Willdenow, Carl Ludwig von	Stapf, Otto.
Clase	Equisetopsida C. Agardh	Equisetopsida C. Agardh
Sub clase	Magnoliidae Novák ex Takht.	Magnoliidae Novák ex Takht.
Super orden	Lilianaes Takht.	Lilianaes Takht.
Orden	Poales Small	Poales Small
Familia	Juncaceae Juss.	Poaceae Barnhart
Género	Juncus L.	Cortaderia Stapf
Especie	<i>Juncus arcticus</i> Willd.	<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf

MP1: Muestra de la planta N°01. **MP2:** Muestra de la planta N°02.

Fuente: <http://tropicos.org>

3.2.1.2 Montaje de las plantas y su respectivo etiquetado:

- Cuando las plantas ya se encontraron completamente secas, se eligió un ejemplar de entre las tres repeticiones del *Juncus arcticus* Willd y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, evaluando su estado de conservación y su estructura externa, posteriormente a cada una de ellas se las colocó sobre una cartulina blanca y sujetó con cola sintética para mantenerlas firmes y colocarles sus respectivas etiquetas llenadas con información obtenida el día de la recolección e identificación (anexo N°07).
- Ambos ejemplares fueron sellados y se les asignó un código (número colocado en la parte superior derecha) correlativo de ingreso a la colección general del HUT, ver anexo N°08 y 09. El código de identificación del *Juncus arcticus* Willd. fue 57666 y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf fueron 57667 y 57668.

3.2.2 Determinación de los metales pesados.

Según el reporte técnico de la IUPAC en el 2002, se determinó los metales pesados en función a su densidad ($>5/\text{cm}^3$), masa atómica ($>22,99 \text{ g/mol}$) y número atómico (>20).

Tabla N°08: Determinación de los metales pesados

Elementos analizados por el método ICP				
Elemento	Densidad (g/cm ³ a 20°C)	Masa Atómica (g/mol)	Número atómico	Metal Pesado
Plata (Ag)	10.50	107.87	47	Si
Aluminio (Al)*	2.70	26.98	13	No
Arsénico (As)	5.72	74.92	33	Si
Boro (B)	2.34	10.81	5	No
Bario (Ba)	3.50	137.34	56	No
Berilio (Be)	1.85	9.01	4	No
Calcio (Ca)	1.55	40.08	20	No
Cadmio (Cd)	8.65	112.40	48	Si
Cerio (Ce)**	6.67	140.12	58	Si
Cobalto (Co)	8.90	58.93	27	Si
Cromo (Cr)	7.19	52.00	24	Si
Cobre (Cu)	8.96	63.54	29	Si
Hierro (Fe)	7.86	55.85	26	Si
Mercurio (Hg)	16.60	200.59	80	Si
Potasio (K)	0.97	39.10	19	No
Litio (Li)	0.53	6.94	3	No
Magnesio (Mg)	1.74	24.31	12	No
Manganeso (Mn)	7.43	54.94	25	Si
Molibdeno (Mo)	10.20	95.94	42	Si
Sodio (Na)	0.97	22.99	11	No
Níquel (Ni)	8.90	58.71	28	Si
Fósforo (P)	1.82	30.97	15	No
Plomo (Pb)	11.40	207.19	82	Si
Antimonio (Sb)	6.62	121.75	51	Si
Selenio(Se)	4.79	78.96	34	No
Silicio (SiO ₂)	2.33	28.09	14	No
Estaño (Sn)**	7.30	118.69	50	Si
Estroncio (Sr)	2.60	87.62	38	No
Titanio (Ti)	4.51	47.90	22	No
Talio(Tl)**	11.85	204.37	81	Si
Vanadio (V)	4.51	50.94	23	No
Zinc (Zn)	7.14	65.37	30	Si

Nota: *Se consideró dentro del análisis y evaluación por ser un metal tóxico

**Metales pesados no significativos en esta investigación

Los resultados de todos los elementos químicos obtenidos del laboratorio SAG (anexo N°10, 11 y 12) fueron tamizados en función a la categorización de metales pesados.

3.2.3 Corrección de los datos.

Los datos de metales pesados fueron corregidos usando el procedimiento operativo estándar para análisis del arsénico y selenio en los suelos, sedimentos y sólidos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, como se muestra a continuación:

$$\text{Metal (mg/kg)} = \frac{[\text{concentración de metal (mg/L)} * \text{[volumen de la muestra (L)}]}{[\text{peso de la muestra (kg)}]}$$

Solución:

$$\text{Metal (mg/kg)} = X(\text{mg/L}) * 100\text{mL} (1\text{L}/1000\text{mL}) / 1\text{gr} (1\text{Kg}/1000\text{gr})$$

$$\text{Metal (mg/kg)} = X(\text{mg/L}) * 1000\text{L} / 10\text{Kg}$$

$$\text{Metal (mg/kg)} = X * 100$$

Donde "X" es la concentración del metal en mg/L

Se logró obtener datos de los metales pesados corregidos como lo muestra los anexos N°13, 14 y 15.

3.2.4 Procesamiento, análisis y evaluación de datos.

En esta etapa se recolectó datos y antecedentes relacionados al tema de investigación para conocer el nivel de acumulación de metales pesados respecto a plantas fitorremediadoras de estudios anteriores, así mismo se realizó la consulta a especialistas del tema, se procesó la información obtenida de los resultados de los análisis de metales pesados tanto de la parte aérea, raíz de la planta y del suelo contaminado, lo cual

nos permitirá determinar los factores de bioconcentración y traslocación. Finalmente se generó gráficos estadísticos que muestren las relaciones entre variables respecto a la acumulación de metales pesados.

3.2.5 Identificación de plantas hiperacumuladoras:

Brooks, Lee, Reeves y Jaffré (1977) fueron los primeros en utilizar el término “planta hiperacumuladora” para referirse a plantas capaces de acumular >1000 Ni mg/kg de materia seca. El término se redefinió posteriormente para designar plantas que acumulaban >10 000 mg/kg de Mn o Zn, >1000 mg/kg de Co, Cu, Ni y Pb y >100 mg/kg de Cd (Baker et al, 2000).

3.2.6 Cálculo de las relaciones de concentración:

3.2.6.1 El factor de bioconcentración.

Se calcula al dividir la concentración del metal en la fitomasa de la planta (mg/kg) entre la concentración del elemento en el suelo (mg/kg).

El factor de bioconcentración se calculó de acuerdo al método propuesto por Olivares y Peña (2009), a través de las siguientes fórmulas:

$$BCF_{Raíz} = [metal]_{raíz} / [metal]_{suelo}$$

$$BCF_{Aérea} = [metal]_{aérea} / [metal]_{suelo}$$

Donde:

$BCF_{Raíz}$ = Factor de bioconcentración en las raíz de la planta.

$BCF_{Aérea}$ = Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.

$[\text{metal}]_{\text{raíz}}$ = Concentración del metal solo en la raíz de la planta en mg/Kg.

$[\text{metal}]_{\text{aérea}}$ = Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.

$[\text{metal}]_{\text{suelo}}$ = Concentración del metal en el suelo en mg/Kg.

3.2.6.2 El factor de traslocación (TF).

Se determinó dividiendo la concentración de la fitomasa aérea (mg/kg) entre la concentración de la fitomasa de la raíz de la planta, de acuerdo a Zhang, Cai, Tu y Ma (2002) y Olivares y Peña (2009) utilizando la siguiente relación.

$$TF = [\text{metal}]_{\text{aérea}}/[\text{metal}]_{\text{raíz}}$$

Donde:

TF = Factor de traslocación

$[\text{metal}]_{\text{raíz}}$ = Concentración del metal solo en la raíz de la planta en mg/Kg.

$[\text{metal}]_{\text{aérea}}$ = Concentración del metal solo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.

3.2.7 Categorización de las plantas en función a su concentración y factores de bioconcentración y traslocación.

Para poder realizar la categorización en la planta es necesario primero determinar si la planta es hiperacumuladora o no (ítem 3.2.7.1), en caso lo sea, se pasa a determinar el factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta (ítem 3.2.7.2) y el factor de traslocación (ítem 3.2.7.4) para conocer con ambos factores cuan hiperacumuladora es la planta, en caso contrario solo se determina el factor de bioconcentración

en la parte raíz (ítem 3.2.7.3), y el factor de traslocación (ítem 3.2.7.4) para saber si la planta es fitoestabilizadora o no.

a. Concentración del metal en la parte aérea de la planta (Baker et al., 2000).

Si Cd (mg/kg) > 100 mg/kg planta hiperacumuladora.

Si Cu, Co, Cr, Ni o Pb (mg/kg) > 1000 (mg/kg) planta hiperacumuladora.

Si Mn o Zn (mg/kg) > 10 000 mg/kg planta hiperacumuladora

b. Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta (Baker, 1981; Ma, 2001).

Si el BCFaérea < 1 la planta es excluyente

Si el $1 < \text{BCFaérea} < 10$ la planta es acumuladora

Si el BCFaérea > 10 la planta es hiperacumuladora

c. Factor de bioconcentración en la parte raíz de la planta (Baker, 1981; Ma, 2001).

Si el BCFraíz < 1 la planta es excluyente

Si el $1 < \text{BCFraíz} < 10$ la planta es acumuladora

Si el BCFraíz > 10 la planta es hiperacumuladora

d. Factor de translocación.

Si el TF > 1 significa que la planta traslada eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (Baker y Brooks, 1989), por lo que su potencial es la de hiperacumular metales en la parte aérea.

Si el $TF < 1$ significa que la planta no traslada eficazmente los metales pesados a la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces.

3.3. Recursos.

3.3.1 Recursos humanos.

Tesistas:

Bach. Medina Marcos, Katy Damacia.

Bach. Montano Chávez, Yeidy Nayclin

Asesores principales:

Dr. Palomino Cadenas, Edwin Julio

Mg. León Huerta, Francisco Claudio

3.3.2 Bienes y servicios

Se utilizaron los siguientes:

3.3.2.1 Bienes de campo:

- 02 lampas.
- 02 palas pequeñas de jardinería.
- 02 rastrillos.
- 02 tijeras de podar.
- 12 mascarillas.
- 01 caja de Guantes de Nitrilo
- 01 cuaderno de apuntes.
- 02 lapiceros.
- Estiquers.
- 02 marcadores.

- 01 juego de cernidores.
- 28 bolsas de polietileno con cierre hermético.
- Cinta de embalaje.
- 01 cinta masking tape.
- 04 prensas.
- 01 cámara digital
- 01 piceta.
- 02 papeles toallas.

3.3.2.2 Bienes de gabinete:

- Libros y revistas.
- Materiales de escritorio.

3.3.2.3 Servicios:

- Trámites administrativos: Legalización del tema de tesis, designación de jurado o comisión revisora, revisión de tesis y sustentación de tesis.
- Transporte terrestre Huaraz – Ticapampa - Huaraz.
- Alimentación.
- Alquiler de cámara fotográfica.
- Alquiler de 02 computadoras portátiles.
- Alquiler de GPS.
- Análisis de laboratorio de planta y suelo.
- Internet.
- Impresiones.
- Copias fotostáticas.
- Anillados.
- Empastados.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Concentración de metales pesados en el suelo.

La tabla N°09 nos muestra en la primera fila las Normas de Calidad Ambiental Canadienses para los 14 metales pesados en el Suelo Agrícola, mientras que en la segunda fila se muestra los Estándares de Calidad Ambiental Peruano, el cual solo considera 04 metales pesados: As, Cd, Pb y Hg, variando su concentración solo en el As, siendo las normas canadienses más exigentes que las peruanas al considerar 12 mg/kg frente a 50 mg/kg de As en el Suelo Agrícola. Para la investigación se trabajó con las Normas de Calidad Ambiental Canadienses.

Tabla N°09: Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health from Canadian Environmental Quality Guidelines y los Estándares de Calidad Ambiental para el Suelo – Perú.

Nombre químico	CEQG Canadienses Suelo Agrícola (mg/kg)	ECA Peruano Suelo Agrícola (mg/kg)
Antimonio (Sb)	20	-
Arsénico (As)	12*	50*
Cadmio (Cd)	1.4	1.4
Cromo (Cr)	64	-
Cobalto (Co)	40	-
Cobre (Cu)	63	-
Plomo (Pb)	70	70
Mercurio (Hg)	6.6	6.6
Molibdeno (Mo)	5	-
Niquel (Ni)	50	-
Plata (Ag)	20	-
Talio (Tl)	1	-
Estaño (Sn)	5	-
Zinc (Zn)	200	-

CEQG: Canadian Environmental Quality Guidelines (Normas de Calidad Ambiental Canadienses)

ECA: Estándares de Calidad Ambiental

Nota: *Existe una variación de concentración para el As

Análisis de varianza (ANOVA) a las concentraciones de metales pesados en el suelo:

Se aplicó el análisis de varianza a las repeticiones de concentraciones de metales pesados en el suelo de *Juncus arcticus* Willd. y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf (ver anexo N°16 y 17), obteniéndose un $F(0.006) < F_{\text{crítico}}(3.179)$ y un $F(0.021) < F_{\text{crítico}}(3.191)$, con un alfa de 0.05 y con una probabilidad del 95% respectivamente, lo que indicó que los datos de las tres repeticiones de cada planta no presentan diferencias significativas por lo que se concluye que los datos de las tres repeticiones tanto del *Juncus arcticus* Willd. y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf son estadísticamente iguales.

Margen de error de las concentraciones de metales pesados en el suelo:

Para poder hallar el margen de error, se consideró el número de repeticiones (n), el promedio y la desviación estándar de las tres repeticiones, así mismo se trabajó con un nivel de confianza del 95%, que representa un alfa de 0.05 y cuya fórmula es igual a $100(1 - \alpha)\%$, para la cual se calculó el área debajo de la curva normal estándar que fue igual a (1 - alfa) o 95%, obteniéndose un valor de ± 1.96 . Por todo lo antes mencionado, la fórmula para calcular el margen de error de las concentraciones de metales pesados en el suelo, fue el siguiente:

$$\bar{x} \pm 1.96 \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

A continuación se muestra la tabla N°10 del promedio, la desviación estándar y el margen de error de las concentraciones de metales pesados en el suelo del *Juncus arcticus* Willd. y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

Tabla N°10: Concentraciones de metales pesados en el suelo del *Juncus arcticus* Willd. y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

MP	<i>Juncus arcticus</i> Willd.						<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf					
	MS1-1	MS1-2	MS1-3	MS1	S	ME	MS2-1	MS2-2	MS2-3	MS2	S	ME
Ce	10	12	9	11	1	2	18	12	13	14	3	4
Al	1172	954	802	976	186	210	2798	1698	1675	2057	642	726
Fe	>8000	>8000	>8000	>8000	0	0	>8000	>8000	>8000	>8000	0	0
Mn	113	152	129	131	20	22	434	120	119	224	182	206
Hg	0.3	0.1	0.3	0.2	0	0.1	0.3	0.6	0.5	0.5	0	0.2
Tl	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0	0.3	0.3	0.3	0.3	0	0
Ag	1.6	0.1	0.1	0.6	1	1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
Ni	0.1	0.0	0.3	0.1	0	0.1	1.4	3.0	0.0	1.5	1	2
Mo	0.3	1.1	0.5	0.6	0	0.4	2.0	0.2	0.3	0.8	1	1
Co	1.3	0.6	0.9	0.9	0	0.4	4.4	1.5	1.0	2	2	2
Cr	2.3	2.8	1.9	2	0	1	6.0	2.4	2.8	4	2	2
Sn	11	4	3	6	4	5	7	3	5	5	2	2
Cd	6	6	4	5	1	1	11	11	12	11	1	1
Sb	28	24	59	37	19	21	43	29	45	39	9	10
Cu	91	53	51	65	23	26	223	110	199	177	59	67
Zn	441	189	344	325	127	143	456	341	559	452	109	123
Pb	1369	1296	1381	1349	46	53	2646	1756	1724	2042	523	592
As	>6000	>60000	4989	5663	584	661	>6000	>6000	>6000	>6000	0	0

Donde:

MP: Metal pesado

S: Desviación estándar

ME: Margen de error

El promedio MS2 de las muestras de suelo de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, en su mayoría, las concentraciones de los metales pesados se encuentra en mayor concentración que en el promedio MS1 de las muestras de suelo del *Juncus arcticus* Willd. (gráfico N°01).

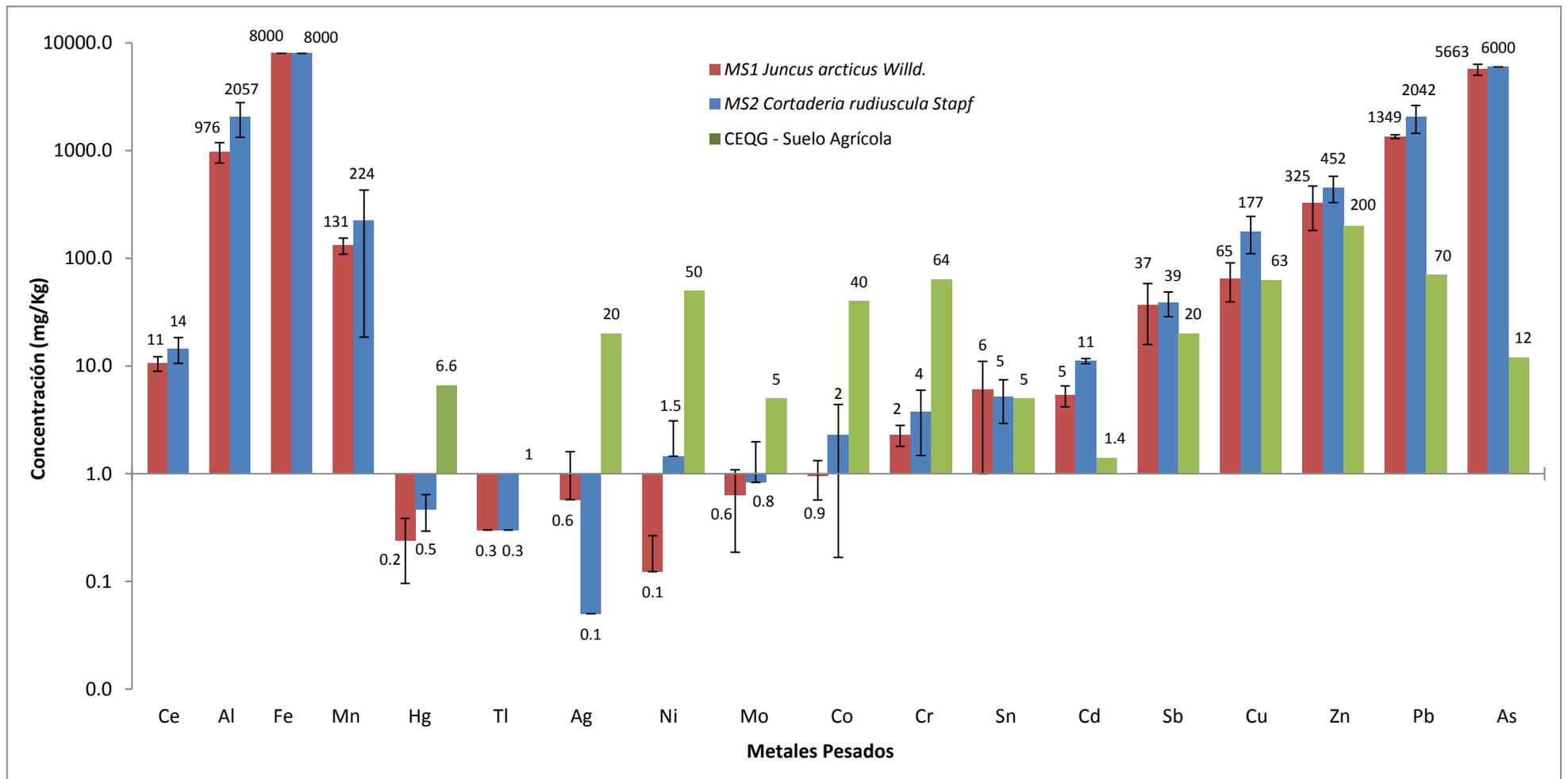


Gráfico N°01: Concentración de metales pesados en el suelo de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza y las Normas de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola

Como lo muestra el gráfico N°01, no se cuenta con Normas de Calidad Ambiental Canadienses para el Ce, Al, Fe y Mn, sin embargo las concentraciones de Al, Fe y Mn son significativos llegando hasta concentraciones mayores a 8000 mg/kg, 2057 mg/kg y 224 mg/kg en promedio respectivamente. Para los demás 14 metales pesados se puede observar que el Hg, Tl, Ag, Ni, Mo, Co y Cr se encuentran dentro del límite de las Normas Canadienses, mientras que el Cd, Sb, Cu, Zn, Pb y As se encuentran fuera del límite de las Normas Canadienses. El Sn se encuentra en el límite canadiense y el Ce no genera daños significativos al ambiente y al ser humano, además de no contar con una norma para el suelo, no cuenta con normas para el sedimento y agua, por ello para este estudio fue irrelevante su investigación. Según el gráfico N°01, la concentración de As para suelo agrícola excede 500 veces la norma canadienses (12 mg/kg) y 120 veces el ECA peruano (50 mg/kg).

Tabla N°11: Muestras del suelo de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013

Suelo recolectado de la especie	Total Al (mg/kg)	Total As (mg/kg)	Total Cd (mg/kg)	Total Cu (mg/kg)	Total Fe (mg/kg)	Total Mn (mg/kg)	Total Pb (mg/kg)	Total Sb (mg/kg)	Total Zn (mg/kg)
<i>Juncus articus</i> Wild.	1172	>6000	6	91	>8000	113	1369	28	441
	954	>6000	6	53	>8000	152	1296	24	189
	802	4989	4	51	>8000	129	1381	59	344
Promedio	976	5663	5	65	8000	131	1349	37	325
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	2798	>6000	11	223	>8000	434	2646	43	456
	1698	>6000	11	110	>8000	120	1756	29	341
	1675	>6000	12	199	>8000	119	1724	45	559
Promedio	2057	6000	11	177	8000	224	2042	39	452

Se colectaron 06 muestras de suelo de diferentes sitios de las áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza y se compararon los valores del anexo N°15 (18 MP) respecto a la tabla N°09; considerando solo aquellas concentraciones de metales pesados que sobrepasan las Normas de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola como lo muestra la tabla N°11. El suelo está principalmente contaminado con Fe y As, también se encontraron elevadas concentraciones de Al y Pb, en menores concentraciones Cd, Cu, Mn, Sb y Zn.

La concentración total de Fe y As en las muestras colectadas fue mayor al límite de detección del método (L.D.M), solo en una muestra la concentración de As es menor a 6000 mg/kg, mientras que en los demás sitios, los valores sobrepasan a los 8000 mg/kg y 6000 mg/kg para el Fe y el As respectivamente.

Para el caso del Cd, las concentraciones van de 4 mg/kg para el *Juncus articus* Wild. a 12 mg/kg para la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, llegando a superar 8 veces más la CEQG de 1.4 mg/kg. Para el caso del Cu y del Zn los valores obtenidos en el suelo de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf superan al doble, el límite de la CEQG, llegando hasta 223 mg/kg y 559 mg/kg respectivamente. Mientras que para el Pb las concentraciones van de 1296 mg/kg para el *Juncus articus* Wild. a 2646 mg/kg para la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, llegando a sobrepasar de 18 a 37 veces más la CEQG de 70 mg/kg para suelo agrícola, mientras que el nivel de referencia global del Pb en suelos no contaminados es de 20 mg/kg (Kabata-Pendias y Pendias, 2001), finalmente para el caso del As, las concentraciones van de 4989 mg/kg para el *Juncus articus* Wild. y 6000 mg/kg en los demás sitios tanto para el *Juncus articus* Wild y la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, llegando a superar a 500 veces más el límite de 12 mg/kg, establecidos por la CEQG para suelo agrícola.

Correlación de los metales pesados en los suelos:

Se determinó a través de una correlación simple. Las concentraciones de metales pesados en las muestras de suelos recolectados de diferentes puntos de muestreo tuvieron una correlación positiva (tabla N°12) y para los siguientes metales, una alta correlación con un $r=0.98$ (Al-Pb, $p<0.01$, $N=6$), $r=0.90$ (Al-Cu,

$p < 0.01$, $N=6$), $r=0.89$ (Mn-Pb, $p < 0.01$, $N=6$), $r=0.87$ (Cu-Cd, $p < 0.01$, $N=6$), $r=0.85$ (Cu-Pb, $p < 0.01$, $N=6$), $r=0.83$ (Al-Mn, $p < 0.01$, $N=6$), $r=0.81$ (Al-Cd, $p < 0.05$, $N=6$), $r=0.77$ (Cu-Zn, $p < 0.05$, $N=6$) y $r=0.72$ (Cd-Pb, $p < 0.05$, $N=6$) respectivamente.

Tabla N°12: Correlación de los metales pesados en los suelos

Metal pesado	Cd	Cu	Mn	Pb	Sb	Zn
Al	0.81	0.90	0.83	0.98	0.04	0.50
Cd		0.87	0.39	0.72	0.08	0.57
Cu			0.63	0.85	0.18	0.77
Mn				0.89	0.16	0.17
Pb					0.19	0.45
Sb						0.38

Esto significa que un sitio que tiene altas concentraciones de As y Fe también tiende a tener altas concentraciones de Pb, Cu y Al, lo que podría indicar que los 6 metales vienen de fuentes similares de contaminación. Los suelos de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf fueron los más contaminados a los cinco metales pesados.

4.2. Concentración de metales pesados en la planta.

Las concentraciones de metales en plantas varían con cada especie de planta (Alloway, Jackson & Morgan, 1990). La absorción de metales pesados del suelo se produce de forma pasiva con el flujo de masa del agua en las raíces, o a través del transporte activo que cruza la membrana plasmática de las células epidérmicas de la raíz. En condiciones normales de cultivo, las plantas pueden potencialmente acumular ciertos iones metálicos en un orden de magnitud mayor que el medio circundante (Kim, Kang, Johnson, Lee, 2003).

En este estudio, un total de 06 muestras de plantas (02 especies de plantas, con 03 repeticiones cada una) fueron colectadas de 06 sitios diferentes, de las áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza. Las concentraciones de Al, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Sb y Zn en el suelo, raíz y parte aérea de las plantas se muestra en los anexos N° 13, 14 y 15.

Análisis de varianza (ANOVA) a las concentraciones de metales pesados en la raíz y en la parte aérea de cada planta:

Se aplicó el análisis de varianza a las repeticiones de concentraciones de metales pesados en la raíz del *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia rudiusscula* Stapf (ver anexo N°18 y 19), obteniéndose un $F(0.121) < F_{\text{crítico}}(3.316)$ y un $F(0.202) < F_{\text{crítico}}(3.316)$, con un alfa de 0.05 y con una probabilidad del 95% respectivamente, lo que indicó que los datos de las tres repeticiones de la raíz de cada planta no presentan diferencias significativas por lo que se concluye que los datos de las tres repeticiones tanto de la raíz del *Juncus arcticus* Willd. y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf son estadísticamente iguales.

Así mismo se aplicó el análisis de varianza a las repeticiones de las concentraciones de metales pesados en la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia rudiusscula* Stapf (ver anexo N°20 y 21), obteniéndose un $F(0.902) < F_{\text{crítico}}(3.316)$ y un $F(0.579) < F_{\text{crítico}}(3.316)$, con un alfa de 0.05 y con una probabilidad del 95% respectivamente, lo que indicó que los datos de las tres repeticiones de la parte aérea de cada planta no presentan diferencias significativas por lo que se concluye que los datos de las tres repeticiones tanto de la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf son estadísticamente iguales.

A continuación se muestran las tablas y gráficos de los metales pesados seleccionados para esta investigación, a cuyas repeticiones se les calculó su promedio, desviación estándar y margen de error.

Aluminio:

Las concentraciones de Al total en las plantas van de 470 a 2481 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la raíz del *Juncus arcticus* Willd. (tabla N°13).

Tabla N°13: Concentraciones de Al en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus articus</i> Wild.	MS1	1172	954	802	976	186	210
	MR1	2400	1691	1088	1726	657	743
	MA1	708	2481	705	1298	1024	1159
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	2798	1698	1675	2057	642	726
	MR2	515	795	776	695	156	177
	MA2	812	470	531	604	183	207

En el 67% de las muestras de plantas, las concentraciones de Al en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Al en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad del Al de las raíces a la parte aérea y una relativa inmovilización de metales pesados en las raíces (gráfico N°02).

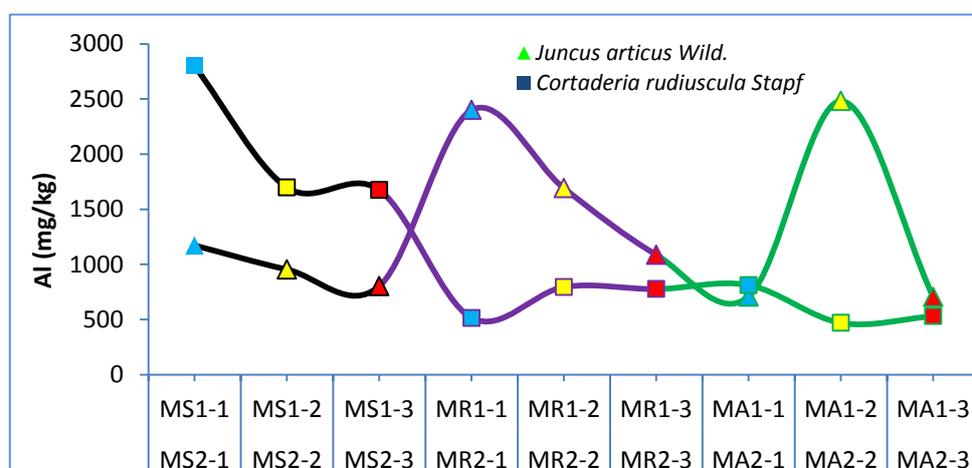


Gráfico N°02: Concentración del Al en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

El efecto inicial del estrés por Al, es la inhibición del crecimiento radicular, además, la acumulación de aluminio indica que la sensibilidad al elemento ocurre en el ápice radicular; los mecanismos de resistencia a aluminio están confinados principalmente en el ápice de la raíz (Casierra y Aguilar, 2007).

En el gráfico N°03 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

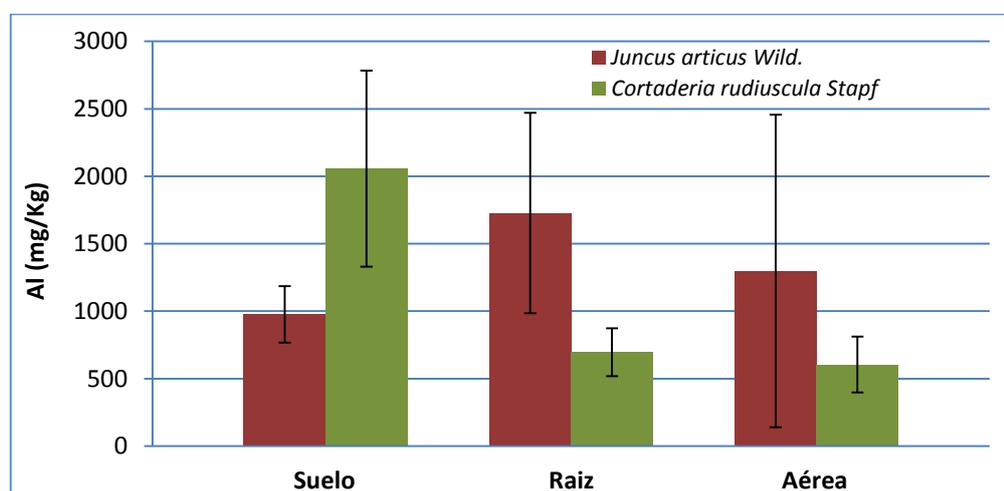


Gráfico N°03: Concentración promedio del Al en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Arsénico:

Las concentraciones de As total en las plantas van de 644 a concentraciones mayores de 6000 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la raíz del *Juncus arcticus* Willd. (tabla N°14).

Tabla N°14: Concentraciones de As en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus arcticus</i> Willd.	MS1	>6000	>6000	4989	5663	584	661
	MR1	>6000	4981	>6000	5660	588	666
	MA1	644	3632	1204	1826	1588	1797
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	>6000	>6000	>6000	6000	0	0
	MR2	1695	2418	3027	2380	667	754
	MA2	4885	1544	2145	2858	1781	2016

En el 83% de las muestras de plantas, las concentraciones de As en la raíz fueron mayores que las concentraciones de As en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de As de las raíces a la parte aérea de las plantas y la inmovilización de metales pesados en raíces (gráfico N°04).

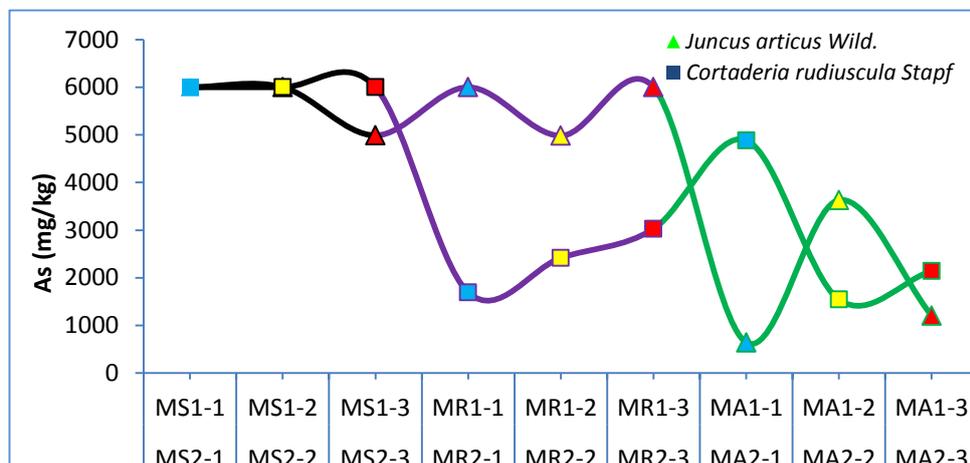


Gráfico N°04: Concentración del As en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°05 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

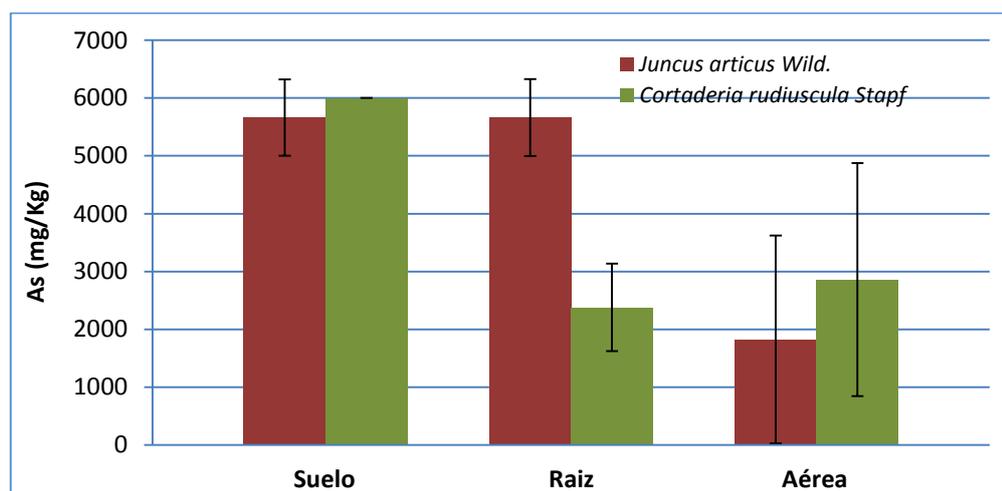


Gráfico N°05: Concentración promedio del As en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Cadmio:

Las concentraciones de Cd en las plantas van de 3 a 20 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. (tabla N°15)

Tabla N°15: Concentraciones de Cd en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus arcticus</i> Willd.	MS1	6	6	4	5	1	1
	MR1	12	14	5	10	5	5
	MA1	7	20	8	12	7	8
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	11	11	12	11	1	1
	MR2	4	5	5	5	1	1
	MA2	7	3	4	5	2	3

Ninguna de las dos especies de plantas acumuló Cd a concentraciones mayores de 100 mg/kg en la parte aérea, según el criterio para ser considerado un hiperacumulador (Baker et al., 2000). En el 50% de las muestras de plantas, las concentraciones de Cd en la raíz fueron mayores que las concentraciones de As en la parte aérea de la planta, lo que indica una mediana movilidad de Cd de las raíces a la parte aérea de la planta (gráfico N°06).

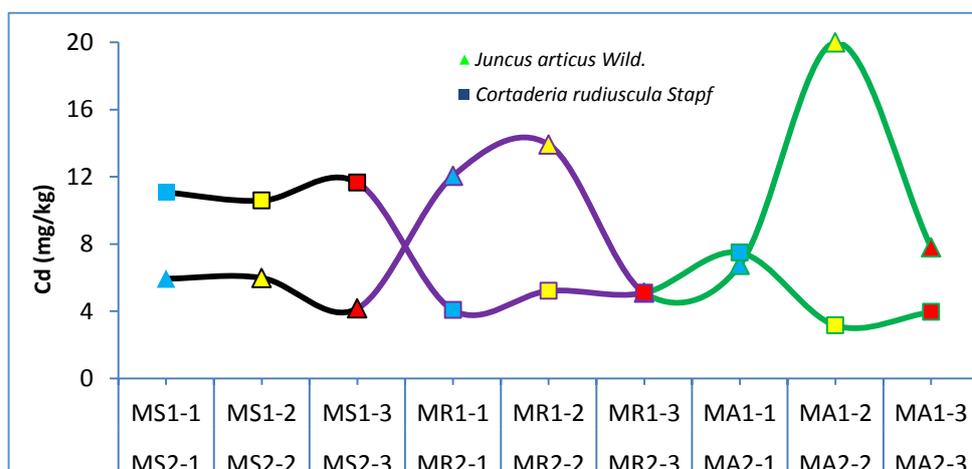


Gráfico N°06: Concentración del Cd en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°07 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

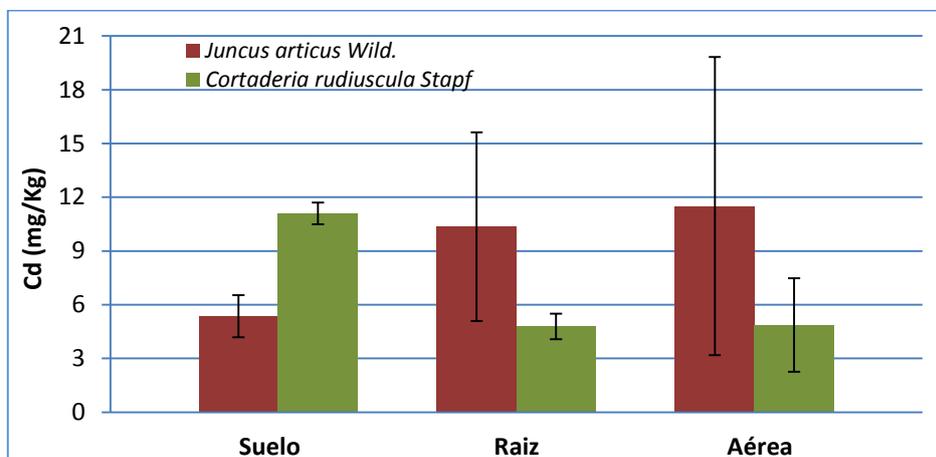


Gráfico N°07: Concentración promedio del Cd en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Cobre:

Las concentraciones de metales en las plantas que crecen en suelos no contaminados van de 1.1-33.1 mg/kg de Cu, mientras que las concentraciones más altas de metales en las plantas que crecen en suelos contaminados es 1123 mg/kg de Cu (Kabata et al., 2001). Según la tabla N°15 y el gráfico N°08, las concentraciones de Cu en las plantas van de 55 a 784 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la raíz del *Juncus arcticus* Willd. valores más altos que los encontrados en la parte aérea (9-31 y 22) y en las raíces (21-22 y 46) del *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon* respectivamente, de relaves mineros contaminados con Cu (99-191 y 198), reportado por Shu, Ye, Lan, Zhang and Wong (2002), así mismo que los encontrados en la parte aérea (9-20 y 14-39) y en las raíces (124-372 y 211-494) del *Vetiveria zizanioides* y *Phragmites australis* respectivamente, de suelos mineros contaminados con Cu (134-145), reportado por Chiu, Ye and Wong (2005), y que los encontrados en las raíces (96-373) del *Verbascum olympicum*, pero valores más bajos que los encontrados en su parte aérea (286-1398) de suelos mineros contaminados con Cu (394-1718) reportado por Gürcan, Hülya, Belgin and Seref (2005). Ninguna de las dos especies de plantas acumuló Cu a concentraciones mayores de 1000 mg/kg en la parte aérea, según Baker y Brooks, 1989..

Tabla N°16: Concentraciones de Cu en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus articus</i> Wild.	MS1	91	53	51	65	23	26
	MR1	784	260	326	457	285	323
	MA1	122	192	84	133	55	62
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	223	110	199	177	59	67
	MR2	150	169	145	155	13	14
	MA2	130	66	55	84	41	46

En el 100% de las muestras de plantas, las concentraciones de Cu en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Cu en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Cu de las raíces a la parte aérea de las plantas y una inmovilización de metales pesados en las raíces (gráficos N°08).

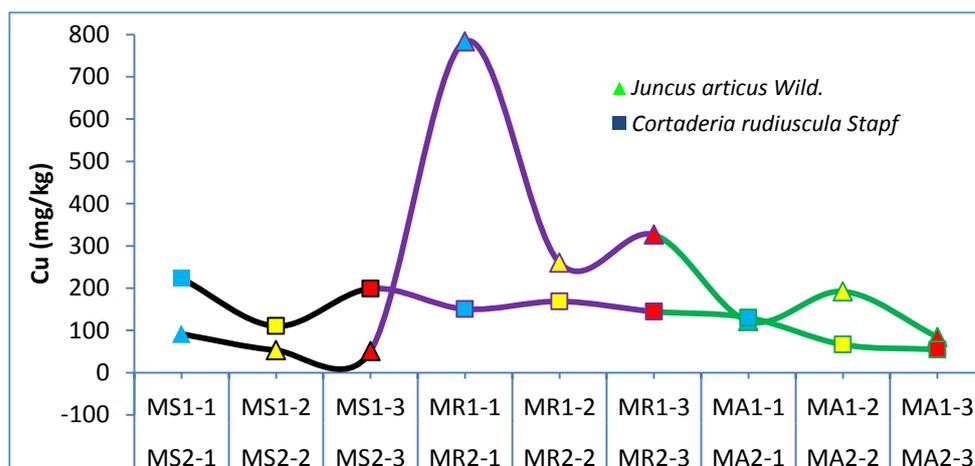


Gráfico N°08: Concentración del Cu en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°09 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

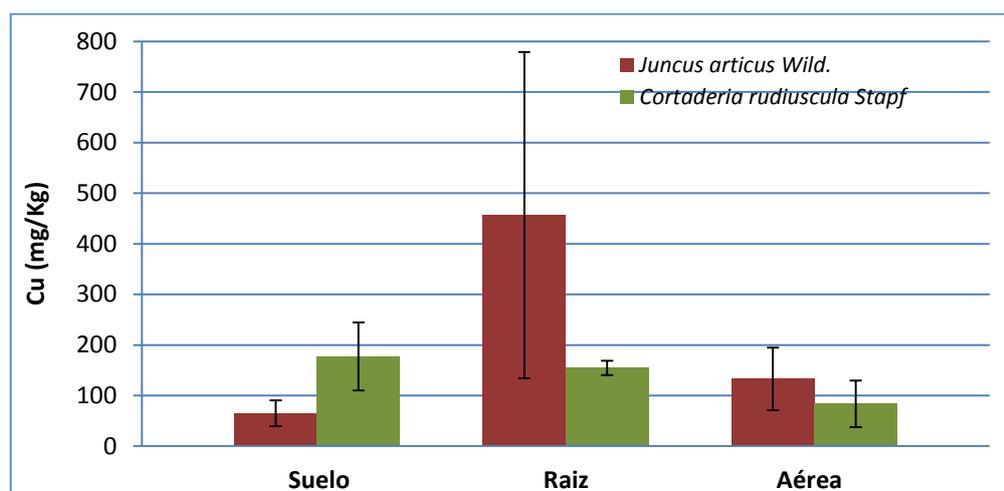


Gráfico N°09: Concentración promedio del Cu en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Fierro:

Las concentraciones de Fe en las plantas van de 1891 a concentraciones mayores de 8000 mg/kg, perteneciendo el máximo valor en la parte aérea y la raíz del *Juncus arcticus* Willd. y en la parte aérea de la *Cortaderia rudiuscula* Stapf (tabla N°17 y gráfico N°10), valores más altos que los encontrados en la parte aérea (1960-6365 mg/kg) y en las raíces (1113-4734) del *Verbascum olympicum* de suelos mineros contaminados con Fe (3496-10177) reportado por Gürçan et al., (2005).

Tabla N°17: Concentraciones de Fe en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus arcticus</i> Willd.	MS1	>8000	>8000	>8000	8000	0	0
	MR1	>8000	>8000	>8000	8000	0	0
	MA1	1891	>8000	3035	4309	3248	3675
<i>Cortaderia rudiuscula</i> Stapf	MS2	>8000	>8000	>8000	8000	0	0
	MR2	4119	5703	7088	5637	1485	1681
	MA2	>8000	3602	5805	5803	2199	2488

En el 83% de las muestras de plantas, las concentraciones de Fe en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Fe en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Fe de las raíces a la parte aérea de las plantas y la inmovilización de metales pesados en raíces (gráfico N°10).

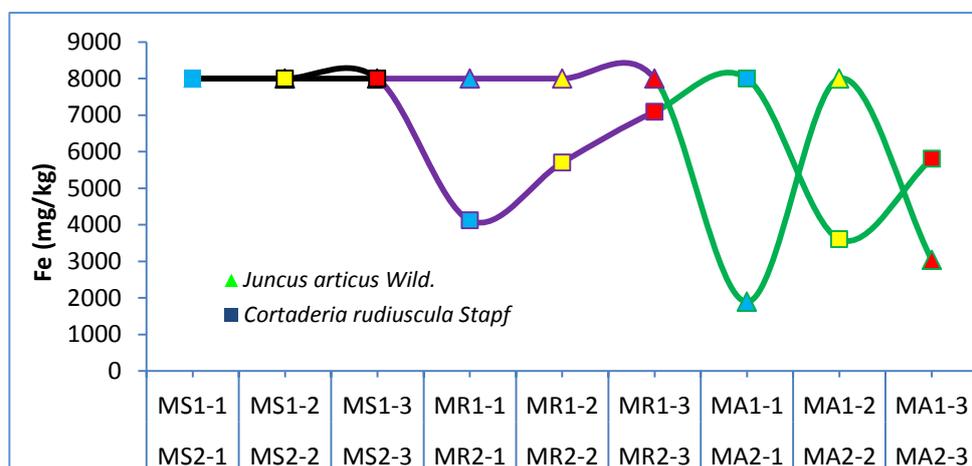


Gráfico N°10: Concentración del Fe en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°11 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

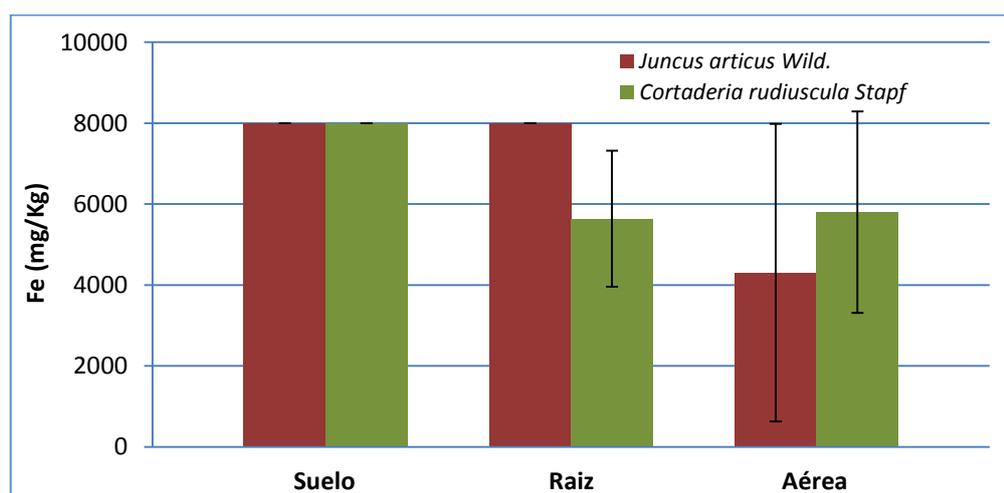


Gráfico N°11: Concentración promedio del Fe en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Manganeso:

Las concentraciones de Mn en las plantas van de 196 a 1553 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. (tabla N°18 y gráfico N°12), valores más bajos que los encontrados en la parte aérea (362-4137 mg/kg) y en las raíces (94-1264) del *Verbascum olympicum* de suelos mineros contaminados con Mn (455-4575) reportado por Gürçan et al., (2005)

Ninguna de las dos especies de planta acumuló Mn a concentraciones mayores de 10 000 mg/kg en la parte aérea, según el criterio para ser considerado un hiperacumulador (Baker y Brooks, 1989).

Tabla N°18: Concentraciones de Mn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus arcticus</i> Wild.	MS1	113	152	129	131	20	22
	MR1	708	934	490	711	222	251
	MA1	923	1553	620	1032	476	539
<i>Cortaderia rudijscula</i> Stapf	MS2	434	120	119	224	182	206
	MR2	526	233	356	371	147	166
	MA2	663	364	196	408	237	268

En el 83% de las muestras de plantas, las concentraciones de Mn en la parte aérea fueron mayores que las concentraciones de Mn en la raíz de la planta, lo que indica una alta movilidad de Mn de las raíces a la parte aérea de las plantas (gráfico N°12).

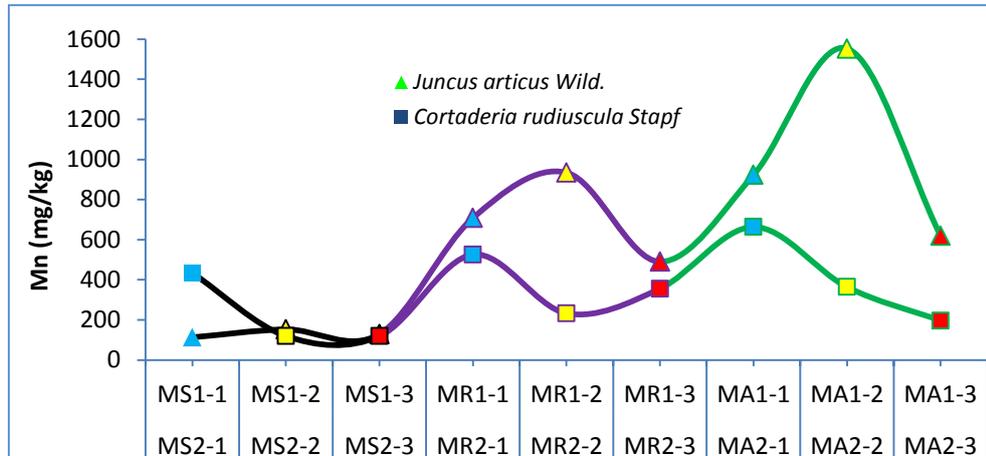


Gráfico N°12: Concentración del Mn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°13 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

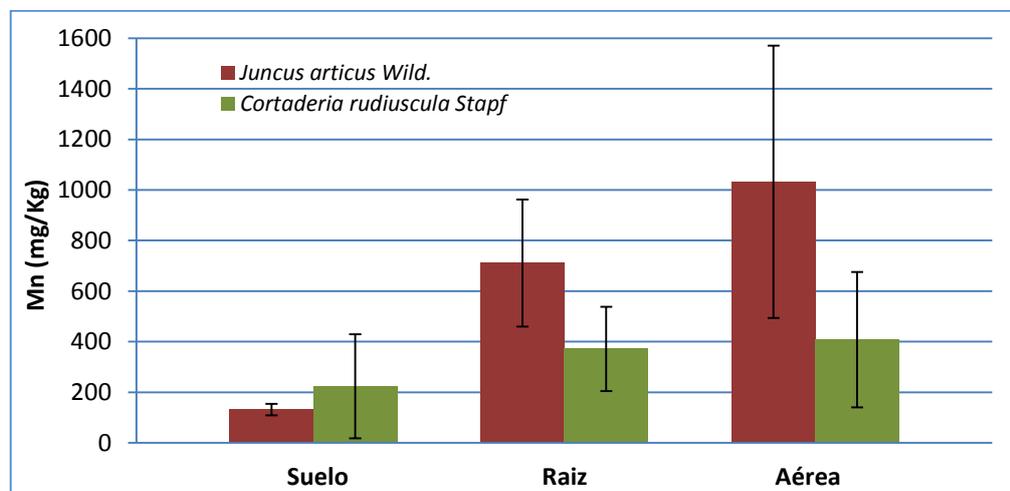


Gráfico N°13: Concentración promedio del Mn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Plomo:

Las concentraciones de metales en las plantas que crecen en suelos no contaminados van de 0.3-18.8 mg/kg de Pb, mientras que las concentraciones más altas de metales en las plantas que crecen en suelos contaminados es 1506 mg/kg de Pb (Kabata et al., 2001). Según la tabla N°19 y el gráfico N°14, las

concentraciones de Pb en las plantas van de 142 a 999 mg/kg, perteneciendo el máximo valor en la parte aérea de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, valores más altos que los encontrados en la parte aérea (99-541 mg/kg) y en las raíces (41-188) del *Verbascum olympicum* de suelos mineros contaminados con Pb (208-655) reportado por Gürçan et al. (2005), así mismo que los encontrados en la parte aérea (79-706 y 351) del *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon* respectivamente pero valores más bajos que los encontrados en sus raíces (610-1899 y 645), de relaves mineros contaminados con Pb (2335-5686 y 2787), reportado por Shu et al., (2002), y que los encontrados en la parte aérea (72-86 y 121-149) y en las raíces (58-193 y 66-403) del *Vetiveria zizanioides* y *Phragmites australis* respectivamente, de suelos mineros contaminados con Pb (187-361), reportado por Chiu et al., (2005).

Ninguna de las dos especies de planta acumuló Pb a concentraciones mayores de 1000 mg/kg en la parte aérea, según el criterio para ser considerado un hiperacumulador (Baker y Brooks, 1989).

Tabla N°19: Concentraciones de Pb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus articus</i> Wild.	MS1	1369	1296	1381	1349	46	53
	MR1	987	525	646	720	240	271
	MA1	142	457	235	278	162	183
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	2646	1756	1724	2042	523	592
	MR2	281	268	471	340	113	128
	MA2	999	339	439	592	355	402

En el 67% de las muestras de plantas, las concentraciones de Pb en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Pb en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Pb de las raíces a la parte aérea y una relativa inmovilización de metales pesados en raíces (gráfico N°14).

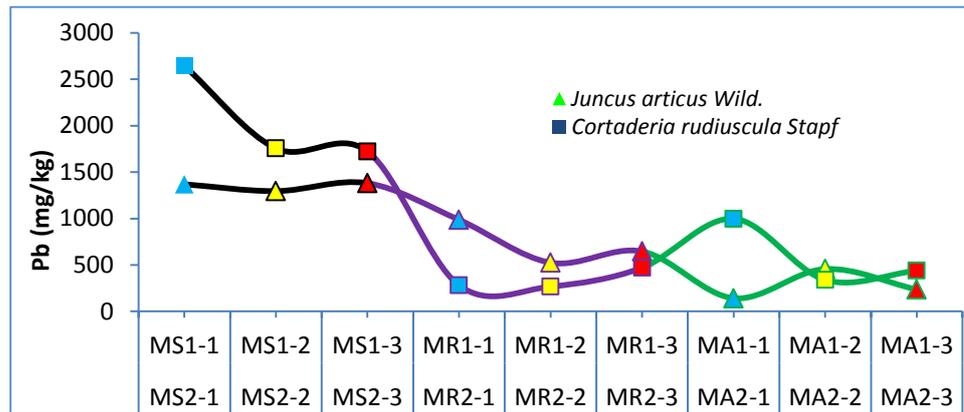


Gráfico N°14: Concentración del Pb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°15 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

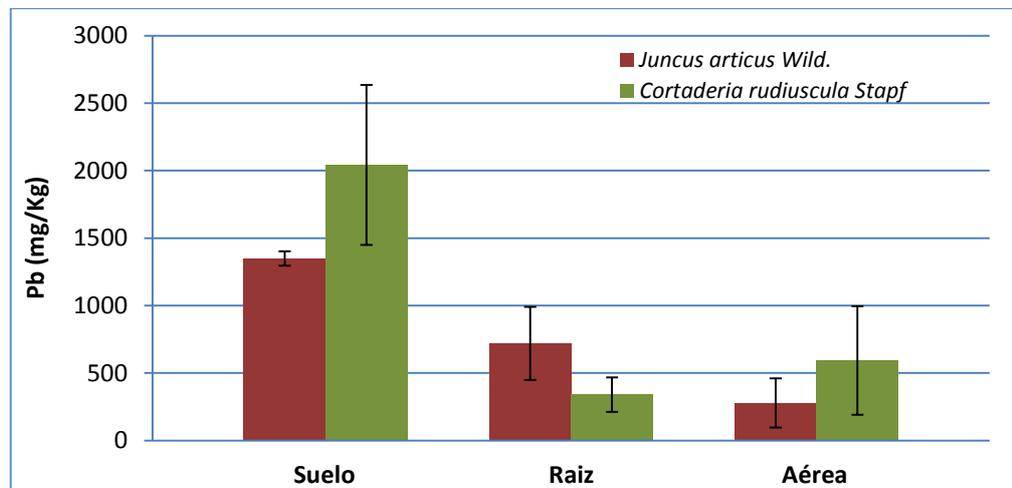


Gráfico N°15: Concentración promedio del Pb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Antimonio:

Las concentraciones de Sb en las plantas van de 5 a 87 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la raíz del *Juncus arcticus* Willd. (tabla N°20).

Tabla N°20: Concentraciones de Sb en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus articus</i> Wild.	MS1	28	24	59	37	19	21
	MR1	79	34	87	66	28	32
	MA1	5	20	9	11	7	8
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	43	29	45	39	9	10
	MR2	16	17	19	17	2	2
	MA2	43	16	13	24	16	18

En el 83% de las muestras de plantas, las concentraciones de Sb en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Sb en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Sb de las raíces a la parte aérea de las plantas y la inmovilización de metales pesados en raíces (gráfico N°16).

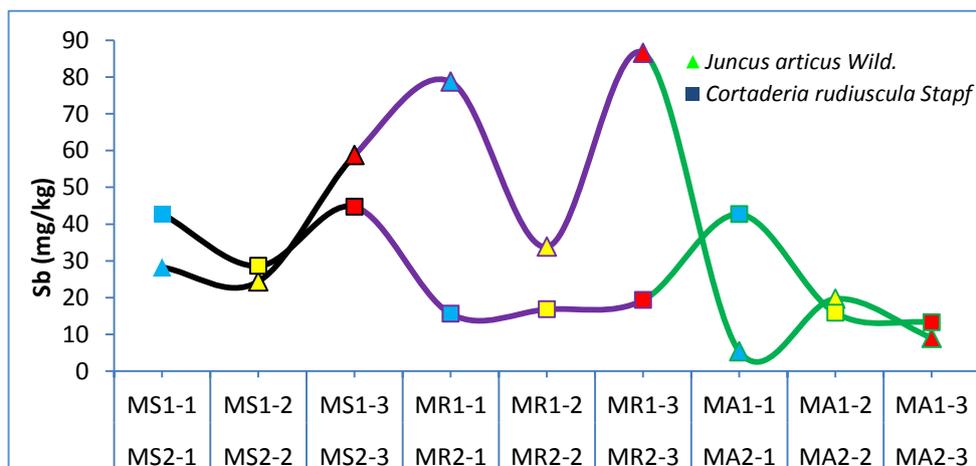


Gráfico N°16: Concentración del Sb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°17 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

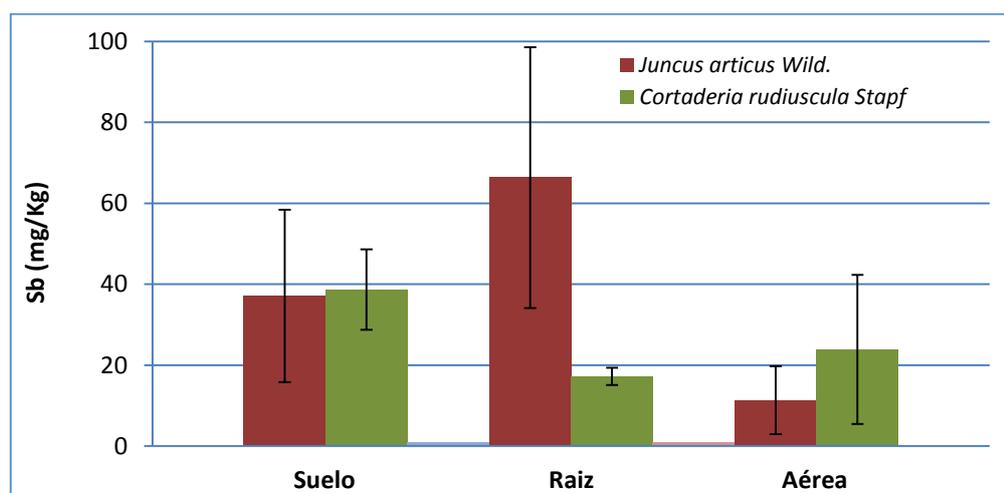


Gráfico N°17: Concentración promedio del Sb en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Zinc:

Las concentraciones de metales en las plantas que crecen en suelos no contaminados van de 6-126 mg/kg Zn, mientras que las concentraciones más altas de metales en las plantas que crecen en suelos contaminados es 710 mg/kg de Zn (Kabata et al., 2001). Según la tabla N°21 y el gráfico N°18, las concentraciones de Zn en las plantas va de 560 a concentraciones mayores de 5000 mg/kg, perteneciendo el máximo valor en la parte aérea y raíz del *Juncus arcticus* Willd., valores más altos que los encontrados en la parte aérea (42-117 y 123-407 mg/kg) y en las raíces (442-912 y 247-964) del *Vetiveria zizanioides* y *Phragmites australis* respectivamente de suelos mineros contaminados con Zn (507-834), reportado por Chiu et al., (2005), así mismo que los encontrados en la parte aérea (60-2287) y en las raíces (48-666) del *Verbascum olympicum* de suelos mineros contaminados con Zn (557-2952), reportado por Gürcan et al. (2005) y que los encontrados en la parte aérea (116-817 y 689) y en las raíces (664-1865 y 1015) del *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon* respectivamente, de relaves mineros contaminados con Zn (3009-7607 y 3562) reportado por Shu et al., (2002), concentraciones en el suelo mayores que las reportadas en esta investigación. Ninguna de las dos especies de planta acumuló Zn a concentraciones mayores de 10 000 mg/kg en la parte aérea, según el criterio para ser considerado un hiperacumulador (Baker y Brooks, 1989).

Tabla N°21: Concentraciones de Zn en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus articus</i> Wild.	MS1	441	189	344	325	127	143
	MR1	>5000	1700	2449	3050	1730	1958
	MA1	>5000	2097	2454	3184	1583	1791
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	456	341	559	452	109	123
	MR2	607	1109	1224	980	328	371
	MA2	1103	1029	560	897	295	333

En el 67% de las muestras de plantas, las concentraciones de Zn en la parte aérea fueron mayores que las concentraciones de Zn en la raíz de la planta, lo que indica una movilidad de Zn de las raíces a la parte aérea (gráfico N°18).

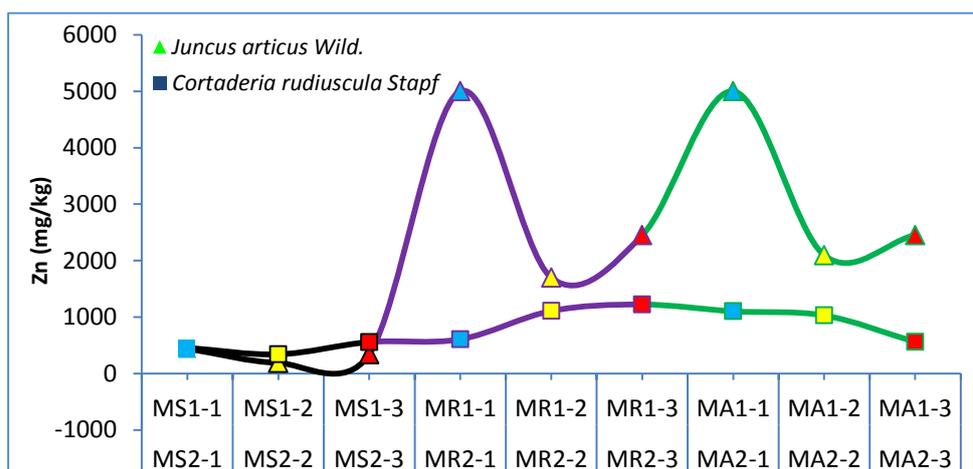


Gráfico N°18: Concentración del Zn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°19 muestra los márgenes de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

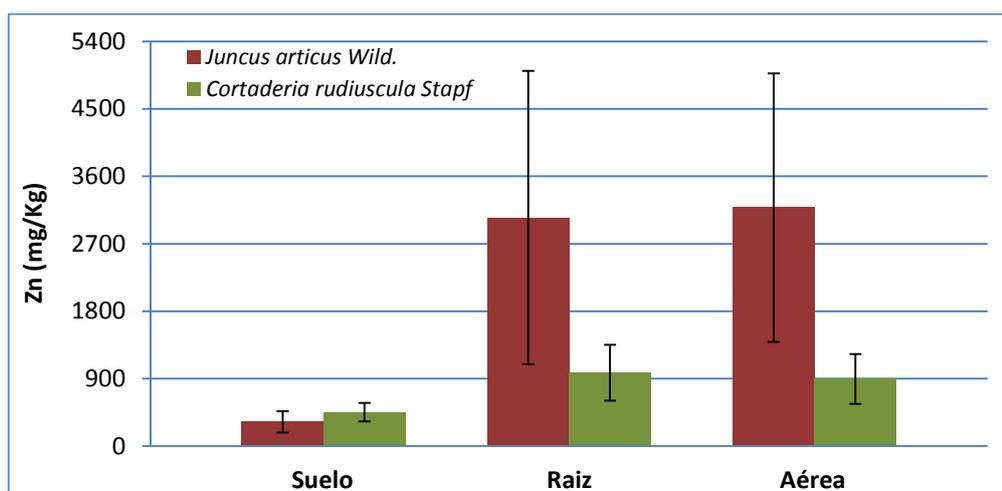


Gráfico N°19: Concentración promedio del Zn en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Plata:

Las concentraciones de Ag en las plantas van de 0.1 a 18 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la raíz de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf (tabla N°22).

Tabla N°22: Concentraciones de Ag en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus articus Wild.</i>	MS1	2	0.1	0.1	1	1	1
	MR1	5	8	8	7	2	2
	MA1	2	7	6	5	2	3
<i>Cortaderia rudiusscula Stapf</i>	MS2	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0
	MR2	18	16	15	16	2	2
	MA2	12	6	3	7	5	6

En el 100% de las muestras de plantas, las concentraciones de Ag en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Ag en la parte aérea de la planta, lo que indica una baja movilidad de Ag de las raíces a la parte aérea de las plantas y la inmovilización de metales pesados en las raíces (gráfico N°20).

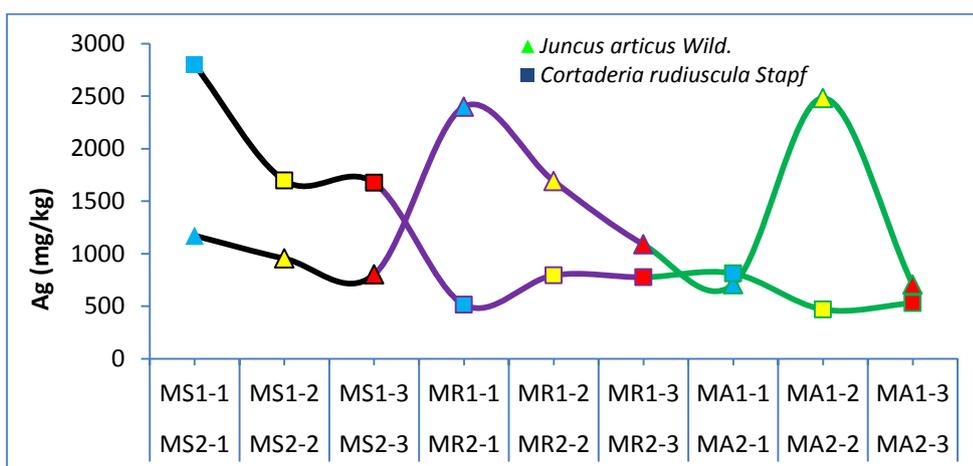


Gráfico N°20: Concentración del Ag en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°21 se puede observar que las raíces de la *Cortaderia rudiuscula* Stapf acumulan 160 veces más la concentración de Ag que se encuentra en el suelo, se trabajó el margen de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

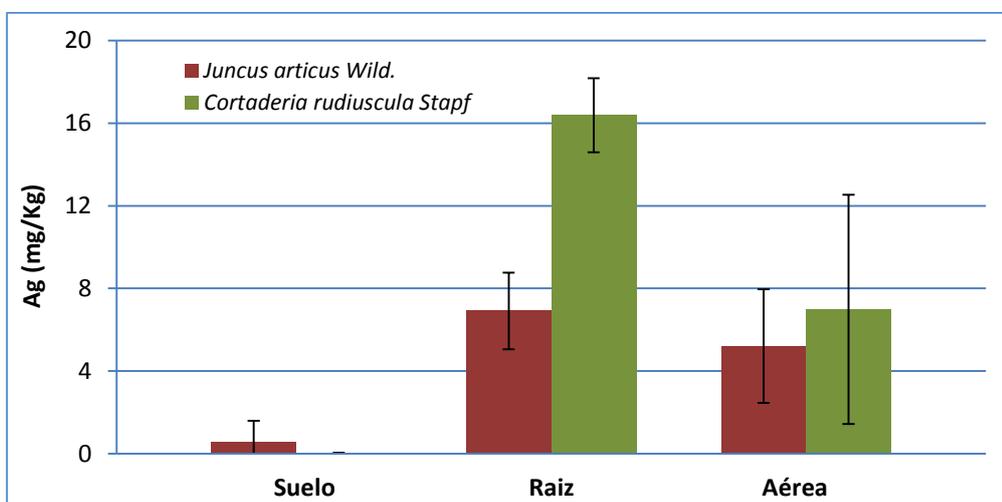


Gráfico N°21: Concentración del Ag en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Níquel:

Las concentraciones de Ni en las plantas van de 0.04 a 6 mg/kg, perteneciendo el máximo valor a la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. (tabla N°23).

Tabla N°23: Concentraciones de Ni en muestras de suelo y plantas (mg/kg) de áreas contaminadas con el pasivo minero ambiental Alianza.

Nombre Científico	Muestra	N°1	N°2	N°3	Promedio	Desviación estándar	Margen de error
<i>Juncus articus</i> Wild.	MS1	0.1	0.04	0.3	0.1	0.1	0.1
	MR1	5.6	2.7	4.9	4	2	2
	MA1	5.7	3.3	3.0	4	1	2
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	MS2	1.4	3.0	0.0	1	1	2
	MR2	1.8	3.3	2.2	2	1	1
	MA2	2.6	1.7	0.7	2	1	1

En el 50% de las muestras de plantas, las concentraciones de Ni en la raíz fueron mayores que las concentraciones de Ni en la parte aérea de la planta, lo que indica una movilidad relativa de Ni de las raíces a la parte aérea de las plantas (gráfico N°20).

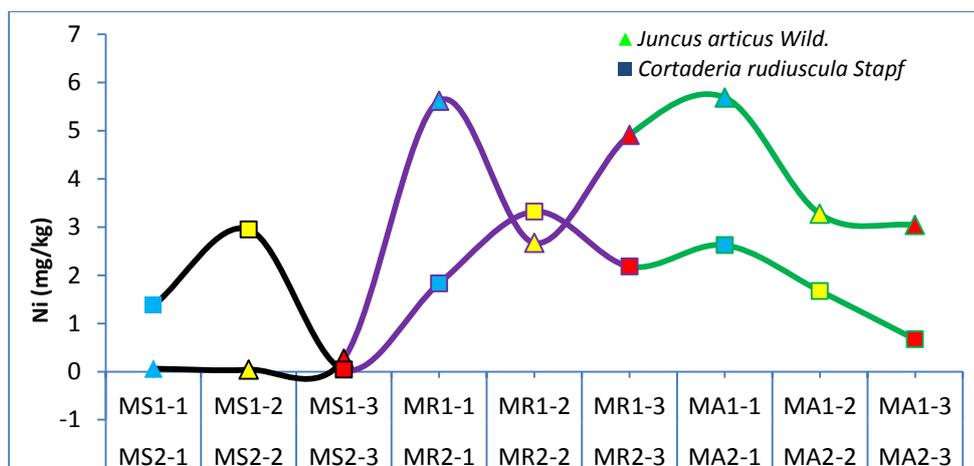


Gráfico N°22: Concentración del Ni en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

En el gráfico N°23 se puede observar que las raíces del *Juncus arcticus* Willd. acumulan 40 veces más la concentración de Ag que se encuentra en el suelo, se trabajó el margen de error con un nivel de confianza del 95% de las concentraciones de suelo, raíz y parte aérea de ambas plantas.

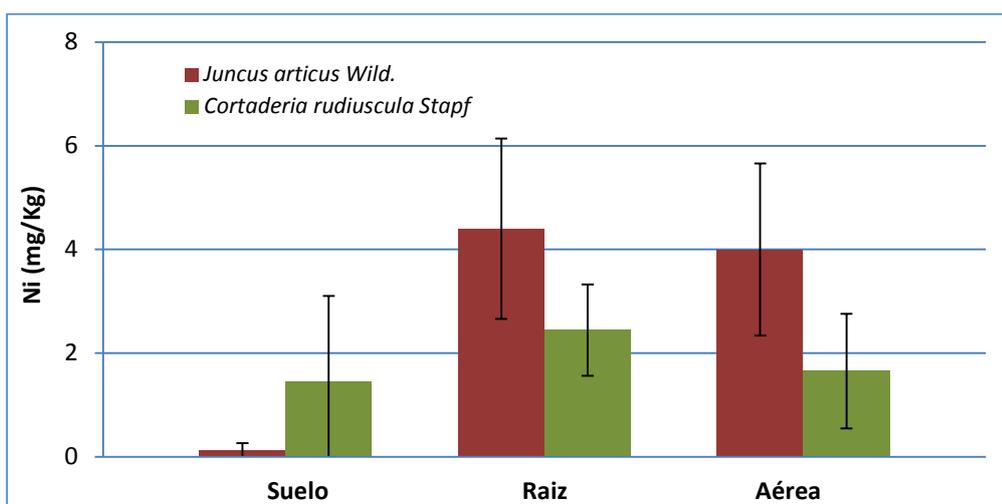


Gráfico N°23: Concentración del Ni en el Suelo, Raíz y Parte Aérea de las plantas de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza.

Entre los 02 especies de planta colectadas de los 06 sitios, el *Juncus arcticus* Willd. acumuló la mayor concentración de Fe, As, Zn, Al, Pb y Cu en las raíces (>8000, >6000, >5000, 2400, 987 y 784 mg/kg) que la *Cortaderia rudiuscula* Stapf.

Niveles fitotóxicos en la planta:

En general, el Cu, Cd, Pb, Zn y Fe se produjeron en niveles elevados en la biomasa de plantas recolectadas en los sitios de la investigación, el *Juncus arcticus* Willd. en la parte aérea (tabla N°15, 16 y 21) concentró mayor cantidad de Cd (7-20), Cu (84-192 mg/kg) y Zn (2097- >5000) que en el Cd (3-7), Cu (55-130) y Zn (560-1103) de la *Cortaderia rudiuscula* Stapf, mientras que la *Cortaderia rudiuscula* Stapf en la parte aérea (tabla N°19), concentró mayor cantidad de Pb (339-999) que en el Pb (142-457) del *Juncus arcticus* Willd. y ambas especies concentraron altas cantidades de Fe (tabla N°17), llegando a concentraciones >8000 Ambas especies mostraron concentración de metales pesados superiores a los fitotóxicos (tabla N°24). Estos resultados pueden indicar que tanto el *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia rudiuscula* Stapf tienen un alto potencial de tolerar y acumular altas concentraciones de metales pesados, llegando a superar los niveles fitotóxicos establecidos por Levy, Redente & Uphoff (1999).

Tabla N°24: Metales pesados en concentraciones deficientes, normales y fitotóxicos en la parte aérea de la planta (mg/kg)

Metal	Deficiente	Normal	Fitotóxico
Cobre	1-5	3-30	20-100
Cadmio	No esencial	0.05-1.0	5-700
Plomo	No esencial	0.5-10	30-300
Zinc	10-20	10-150	100-1500
Fierro	40-150	30-300	500-1000

Fuente: Levy et al., (1999)

Correlación de los metales pesados en las plantas:

Aunque las concentraciones de metales en el suelo se correlacionaron ($r=0.72$ a $r=0.98$), las concentraciones de metales en las plantas tienen una baja correlación simple con las concentraciones de metales en el suelo, que es lo que se espera ya que las concentraciones de metales totales en las plantas obedecen a diferentes procesos fisiológicos que hacen que la transferencia de metales del suelo a la raíz o parte aérea obedezcan a la toxicidad de los metales más que a su mera concentración (Kabata et al., 2001), sin embargo en la presente investigación, las concentraciones de Al, Cu, Cd, Zn y Sb en las raíces ($r=1.00$, $p<0.01$, $N=3$; $r=0.99$, $p<0.01$, $N=3$; $r=0.98$, $p<0.01$, $N=3$; $r=0.91$, $p<0.01$, $N=3$ y $r=0.70$, $p<0.01$, $N=3$ respectivamente) y la concentración de Mn en la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. ($r=0.74$, $p<0.01$, $N=3$) tuvieron una alta correlación positiva con las concentraciones en el suelo, así mismo la concentración de Mn en las raíces ($r=0.91$, $p<0.01$, $N=3$) y las concentraciones de Pb, Al y Mn en la parte aérea de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf ($r=0.99$, $p<0.01$, $N=3$; $r=0.98$, $p<0.01$, $N=3$ y $r=0.94$, $p<0.01$, $N=3$ respectivamente) tuvieron una alta correlación positiva con las concentraciones en el suelo. Mientras que las concentraciones de Pb y Zn en la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. ($r=-0.91$, $p<0.01$, $N=3$ y $r=-0.86$, $p<0.01$, $N=3$ respectivamente) tuvieron una alta correlación negativa con las concentraciones en el suelo, así mismo las concentraciones de Al y Cu en las raíces ($r=-1.00$, $p<0.01$, $N=3$ y $r=-0.92$, $p<0.01$, $N=3$ respectivamente) y la concentración de Zn en la parte aérea de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf ($r=-0.78$, $p<0.01$, $N=3$) tuvieron una alta correlación negativa con las concentraciones en el suelo.

4.3. Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en las plantas.

En este estudio, ninguna de las especies de planta acumuló concentraciones para el Cd > 100 mg/kg; para el Cu, Co, Cr, Ni o Pb > 1 000 mg/kg y para el Mn o Zn > 10 000 mg/kg en la parte aérea de la planta (tabla N°13. 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23), por lo que ninguna de ellas es hiperacumuladora (Baker y Brooks, 1989). Sin embargo la capacidad de estas plantas para tolerar y acumular metales pesados podría ser usada en la fitoestabilización. Tanto el factor de bioconcentración (BCF) y el factor de traslocación (TF) pueden ser usados para estimar el potencial de una planta para propósitos de fitorremediación.

La capacidad de una planta para acumular metales pesados del suelo puede estimarse utilizando el BCF, que se define como la relación de la concentración de metal en las raíces respecto al suelo.

La capacidad de una planta para trasladar metales de las raíces a su parte aérea se mide usando el TF, que se define como la relación de la concentración de metal en la parte aérea respecto a las raíces. El enriquecimiento se produce cuando un contaminante absorbido por una planta no se degrada rápidamente, lo que resulta en una acumulación en la planta. El proceso de fitoextracción generalmente requiere la translocación de metales pesados a la parte cosechable de la planta, es decir, a la parte aérea de la planta.

Comparando el BCF y TF, pudimos comparar la capacidad de las dos especies de planta en tomar los metales de los suelos y la translocarlos a la parte aérea. Las plantas tolerantes tienden a restringir las transferencias suelo - raíz y raíz - parte aérea, por lo que tienen mucho menos acumulación en su biomasa, mientras que las hiperacumuladoras participan activamente y traslocan los metales en su biomasa aérea. Las plantas que presentan valores de TF, especialmente FBC menores de uno, no son adecuados para la fitoextracción (Fitz y Wenzel, 2002).

Ambas especies crecieron en un lugar donde fueron capaces de acumular metales pesados en las raíces, la mayoría de ellos alcanzaron valores altos del BCF y valores bajos del TF, lo que significa que tienen una capacidad de acumulación de metales pesados en las raíces y una limitada capacidad de traslocación a la parte aérea (tabla N°25).

Tabla N°25: Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en las plantas.

Nombre Científico	N° Sitio	Factor de Bioconcentración (BCF) ¹											Factor de Traslocación (TF) ²										
		Al	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Sb	Zn	Ag	Ni	Al	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Sb	Zn	Ag	Ni
<i>Juncus arcticus</i> Willd.	M1-1	2.0	1.0	2.0	8.6	1.0	6.3	0.7	2.8	11	3.1	92	0.3	0.1	0.6	0.2	0.2	1.3	0.1	0.1	1.0	0.5	1.0
	M1-2	1.8	0.8	2.3	4.9	1.0	6.1	0.4	1.4	9	161	67	1.5	0.7	1.4	0.7	1.0	1.7	0.9	0.6	1.2	0.9	1.2
	M1-3	1.4	1.2	1.2	6.4	1.0	3.8	0.5	1.5	7	154	18	0.6	0.2	1.5	0.3	0.4	1.3	0.4	0.1	1.0	0.8	0.6
Promedio		1.7	1.0	1.9	6.6	1.0	5.4	0.5	1.9	9.1	106	59	0.8	0.3	1.2	0.4	0.5	1.4	0.5	0.3	1.1	0.7	1.0
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf	M2-1	0.2	0.3	0.4	0.7	0.5	1.2	0.1	0.4	1.3	361	1.3	1.6	2.9	1.8	0.9	1.9	1.3	3.6	2.7	1.8	0.7	1.4
	M2-2	0.5	0.4	0.5	1.5	0.7	1.9	0.2	0.6	3.3	325	1.1	0.6	0.6	0.6	0.4	0.6	1.6	1.3	0.9	0.9	0.3	0.5
	M2-3	0.5	0.5	0.4	0.7	0.9	3.0	0.3	0.4	2.2	298	55	0.7	0.7	0.8	0.4	0.8	0.6	0.9	0.7	0.5	0.2	0.3
Promedio		0.4	0.4	0.4	1.0	0.7	2.0	0.2	0.5	2.3	328	19	1.0	1.4	1.1	0.5	1.1	1.1	1.9	1.5	1.1	0.4	0.7

Donde:

¹BCF = Factor de Bioconcentración de metales pesados en las de raíces de la planta.

²TF = Factor de Traslocación de metales pesados de la planta.

Valores > 1 están resaltadas en negrita.

Ambas especies mostraron BCF o TF mayores que uno de Al, pero solo el *Juncus arcticus* Willd. tenía tanto el BCF (1.8) y TF (1.5) mayor que uno (tabla N°25) y con una concentración de Al del suelo en este sitio de 954 mg/kg (tabla N°13), lo que indica una buena relación de suelo - raíz (bioconcentración) y raíz - parte aérea (traslocación) del Al.

Ambas especies de planta en su mayoría mostraron valores menores a uno y solo algunos tuvieron un BCF o TF mayores que uno de As, pero en ninguno de los casos se encontró que ambos factores del mismo sitio tengan valores mayores a uno (tabla N°25), a pesar de que sus concentraciones del suelo en todos los sitios supera la Norma de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola de 12 mg/kg (tabla N°09) llegando a valores que superan los 6000 mg/kg, en el caso de la raíz y parte aérea, llegando a tolerar concentraciones >6000 y 4885 mg/kg respectivamente (tabla N°14).

Ambas especies mostraron BCF o TF mayores que uno de Cd, pero solo el *Juncus arcticus* Willd. tuvo un BCF=2.3 y TF=1.4 y un BCF=1.2 y TF=1.5 respectivamente, en ambos factores, los valores son mayores que uno (tabla N°25). Sin embargo la concentración de Cd del suelo en este ambos sitios fue relativamente bajo, 14 y 5 mg/kg respectivamente (tabla N°15).

Ninguna de las dos especies acumuló Cu en concentraciones >1000 mg/kg (tabla N°16), aunque ambas especies de plantas mostraron BCF mayor que uno, ninguna mostro TF mayor que uno para el Cu (tabla N°25). A pesar de que sus concentraciones del suelo en el 67% de las muestras supera la Norma de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola de 63 mg/kg (tabla N°09 y N°16) llegando a valores de 223 mg/kg, en el caso de la raíz y parte aérea, llegando a tolerar concentraciones 784 y 192 mg/kg respectivamente (tabla N°16). Los valores del BCF para estas especies fueron más bajos que los encontrados en *P. thunbergii* (41-160) reportado por Kim et al. (2003), pero más altos que los (FBC = 0.1-0.2) informado por Stoltz y Greger (2002).

Ambas especies mostraron BCF o TF mayores que uno de Fe, pero solo el *Juncus arcticus* Willd. tuvo un BCF (1.0) y TF (1.0) mayor que uno (tabla N°25) y una concentración de Fe en el suelo >8000 mg/kg (tabla N°17), lo que indica

una buena relación de suelo - raíz (bioconcentración) y raíz - parte aérea (traslocación) del Fe.

Similar al Cu, ninguna especie acumuló Mn en concentraciones >10 000 mg/kg (tabla N°18). Aunque ambas especies en el 83% de muestras tuvo un BCF y TF mayor a uno (tabla N°25). Sin embargo las concentraciones en el suelo son relativamente bajas, de 113 a 434 mg/kg.

Entre las dos plantas examinadas, ninguna de las dos especies acumula Pb en concentraciones >1000 mg/kg (tabla N°19), su TF es mayor que uno (3.6 y 1.3) sin embargo su BCF en ninguna de las muestras fue mayor que uno (tabla N°25). El BCF de Pb en este estudio fue menor que la encontrada por Kim et al. (2003) en *P. thunbergii* (BCF = 5-58), y superiores a los (BCF = 0.004-0.0045) reportado por Stoltz y Greger (2002) y Shu (2002) que reportó un BCF de 0.1 de Pb en *P. distichum*.

Ambas especies de planta en su mayoría mostraron valores menores a uno y solo algunos tuvieron un BCF o TF mayores que uno de Sb, pero en ninguno de los casos se encontró que ambos factores del mismo sitio tengan valores mayores a uno (tabla N°25), a pesar de que sus concentraciones del suelo en todos los sitios supera la Norma de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola de 20 mg/kg (tabla N°09) llegando a valores de 59 mg/kg (tabla N°20).

Similar al Cu y Mn ninguna especie acumuló Zn en concentraciones >10 000 mg/kg (tabla N°21). Aunque el *Juncus arcticus* Willd. acumuló Zn en una concentración >5000 mg/kg en la raíz y parte aérea, en el suelo una concentración de 441 mg/kg (tabla N°21), logrando obtener el más alto BCF de 11, pero más bajo que el obtenido por Kim et al. (2003), in *P. thunbergii* (22 a 136) pero más alto que (0.005 – 0.11) reportado por Stoltz y Greger (2002) y un TF de 1.0 (tabla N°25), lo que indica una buena relación de suelo - raíz (bioconcentración) y raíz - parte aérea (traslocación) del Zn.

Ambas especies de plantas mostraron en todos los sitios, un BCF mayor que uno, para la Ag de 3.1 a 361 (tabla N°25); a pesar de que la concentración

de Ag en el suelo de dichos sitios fue muy bajo, de 0.05 a 1.62 mg/kg (tabla N°22), valores que no sobrepasan la Norma de Calidad Ambiental Canadienses para un suelo agrícola de 20 mg/kg (tabla N°09), sin embargo las concentraciones en la raíz para la *Cortaderia rudiusscula* Stapf superan en 140 veces más la concentración de Ag en el suelo, lo que lo coloca como una planta potencial para fitoextracción de Ag y su uso potencial en recuperación de Ag a niveles de comercialización.

Similar al Cu, Mn y Zn, ninguna especie acumuló Ni en concentraciones >1000 mg/kg (tabla N°23). Ambas especies de plantas mostraron en la mayoría de los sitios, un BCF (1.1 a 92) y TF (1.0 a 1.4) mayor que uno (tabla N°25), sin embargo, la concentración de Ag en el suelo de dichos sitios fue muy bajo, de 0.04 a 2.95 mg/kg, valores que no sobrepasan el ECA para un suelo agrícola de 50 mg/kg (tabla N°09).

Aunque ninguna de las muestras de plantas fueron hiperacumuladoras de metal, se hicieron algunas observaciones interesantes. Basados en el promedio del BCF de cada especie de planta, las raíces del *Juncus arcticus* Willd. fueron más eficiente que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, en extraer Zn (FBC=9.1), seguido del Cu (6.6), Mn (5.4), Cd (1.9), Sb (1.9), Al (1.7), As (1.0), Fe (1.0) y Pb (0.5).

Sobre la base de la TF promedio de cada especie de planta, la *Cortaderia rudiusscula* Stapf fue más eficiente que el *Juncus arcticus* Willd. en la traslocación de Mn (TF=1.4), seguido del Cd (1.2) y Zn (1.1), mientras que el *Juncus arcticus* Willd. fue más eficiente que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf en la traslocación de Pb (TF=1.9), Sb (1.5), As (1.4), Fe (1.1) y Al (1.0).

Entre todos los metales pesados analizados, el *Juncus arcticus* Willd. fue más eficiente en la extracción y translocación de Zn, Mn y Cd. Una baja translocación de Pb en el *Juncus arcticus* Willd. indica que la planta no está dispuesta a transferir Pb de sus raíces a sus brotes posiblemente debido a la toxicidad del Pb. Sin embargo en comparación a la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, está planta si trasloca Pb de sus raíces a sus brotes, debido a que extrae del suelo contaminado bajas concentraciones a sus raíces. El plomo puede ser

tóxico para la actividad fotosintética, la síntesis de la clorofila y enzimas antioxidantes (Kim et al., 2003).

Baker y Brooks (1989) también analizaron la restricción de la absorción de metales de los suelos contaminados, por las plantas y la presencia de mecanismos de exclusión de las plantas. Ya que el Fe, Mn, Zn y Cu son micronutrientes esenciales para los sistemas de la planta, una mayor translocación de estos de las raíces a la parte aérea es comprensible. Thomas y Eong (1984) trataron de establecer plántulas de *Rhizophora mucronata* Lam. y *Avicennia alba* Bl. en sedimentos con Pb y Zn, para estas dos especies, se observaron acumulación en la raíz y la reducción de la translocación de las raíces a la parte aérea para ambos metales.

Correlación del BCF entre metales pesados de las plantas:

Las relaciones del BCF respecto a los metales pesados en estudio se determinaron a través de una correlación simple. Pocos estudios se han publicado para mostrar las relaciones entre las concentraciones de metales pesados y las translocaciones de las plantas (Kabata et al., 2001).

Tabla N°26: Correlación del BCF entre metales del *Juncus arcticus* Willd.

Metal pesado	As	Cd	Cu	Mn	Pb	Sb	Zn
Al	-0.6	0.8	0.5	0.9	0.7	0.8	1.0
As		1.0	0.4	-0.9	0.1	0.0	-0.5
Cd			-0.2	1.0	0.1	0.2	0.7
Cu				0.2	1.0	0.9	0.6
Mn					0.4	0.5	0.9
Pb						1.0	0.8
Sb							0.9

La correlación del BCF (tabla N°26) del *Juncus arcticus* Willd. entre dos metales varió de 0.10 a 1.00 ($p < 0.01$, $N=3$), es decir si el *Juncus* fue eficaz en tomar Al, es muy probable que sea eficaz también en tomar Cd, Mn, Sb y Zn, para el caso de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf. la correlación del BCF (tabla N°74) entre dos metales varió de 0.00 a 1.00 ($p < 0.01$, $N=3$), es decir si la *Cortaderia*

fue eficaz en tomar Al, es muy probable que sea eficaz también en tomar As, Cd, Fe, Mn y Zn.

Tabla N°27: Correlación del BCF entre metales de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

Metal pesado	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Sb	Zn
Al	0.9	0.9	0.6	0.9	0.8	0.7	0.7	0.8
As		0.6	0.1	1.0	1.0	1.0	0.3	0.5
Cd			0.9	0.6	0.5	0.3	1.0	1.0
Cu				0.1	0.0	0.0	1.0	0.9
Fe					1.0	1.0	0.3	0.5
Mn						1.0	0.2	0.4
Pb							0.0	0.2
Sb								1.0

Correlación del TF entre metales pesados en las plantas:

Las relaciones del TF respecto a los metales pesados en estudio se determinaron a través de una correlación simple. Pocos estudios se han publicado para mostrar las relaciones entre las concentraciones de metales pesados y las translocaciones de las plantas (Kabata et al., 2001).

Tabla N°28: Correlación del TF entre metales del *Juncus arcticus* Willd.

Metal pesado	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Sb	Zn
Al	0.99	0.67	0.99	0.99	0.93	1.00	0.97	0.96
As		0.55	1.00	1.00	0.97	0.99	1.00	0.99
Cd			0.57	0.58	0.34	0.67	0.48	0.43
Cu				1.00	0.97	0.99	0.99	0.99
Fe					0.97	0.99	0.99	0.99
Mn						0.93	0.99	1.00
Pb							0.97	0.96
Sb								1.00

La correlación del TF (tabla N°28) del *Juncus arcticus* Willd. entre dos metales varió de 0.43 a 1.00 ($p < 0.01$, $N=3$) y de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

(tabla N°29) varió de 0.25 a 1.00 ($p < 0.01$, $N=3$), en ambos caso se dio una correlación positiva.

Tabla N°29: Correlación del TF entre metales de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

Metal pesado	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Sb	Zn
Al	1.00	1.00	0.99	1.00	0.14	0.98	0.98	0.91
As		0.99	1.00	0.99	0.20	0.99	0.99	0.93
Cd			0.99	1.00	0.10	0.97	0.97	0.89
Cu				0.99	0.25	1.00	1.00	0.95
Fe					0.10	0.97	0.97	0.89
Mn						0.34	0.34	0.55
Pb							1.00	0.97
Sb								0.97

Comparación del BCF y TF del *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia rudiusscula* Stapf con otros estudios de investigación:

Como se muestra en la tabla N°30, el BCF del *Juncus arcticus* Willd. para el Fe, Pb, Zn, Cu y Mn superó hasta en un 68, 15, 79, 140 y 335% respectivamente más a las demás especies de planta. Para el TF, la *Cortaderia rudiusscula* Stapf para el Pb superó hasta en un 170% más a las demás especies de planta, lo que nos indica su alto potencial de tolerancia y traslocación en comparación a otras especies de plantas estudiadas en diferentes lugares.

El *Juncus arcticus* Willd. tiene un alto potencial de tolerar Fe, Pb, Zn, Cu y Mn, mientras que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf tiene un alto potencial de traslocar Pb a sus raíces a su parte aérea.

Tabla N°30: Factor de Bioconcentración y Factor de Traslocación de diferentes estudios de investigación

Nombre científico	Factor de Bioconcentración (BCF)					Factor de Traslocación (TF)				
	Fe	Pb	Zn	Cu	Mn	Fe	Pb	Zn	Cu	Mn
<i>Verbascum olympicum</i> ¹	0.32	0.20	0.09	0.24	0.21	1.76	2.41	1.25	2.98	3.85
	0.47	0.29	0.23	0.22	0.28	1.34	2.88	3.43	3.75	3.27
<i>Paspalum distichum</i> ²	-	0.26	0.22	0.21	-	-	0.13	0.17	0.43	-
	-	0.33	0.25	0.12	-	-	0.37	0.44	1.41	-
<i>Cynodon dactylon</i> ²	-	0.23	0.28	0.23	-	-	0.54	0.68	0.48	-
	-	0.23	0.28	0.23	-	-	0.54	0.68	0.48	-
<i>Phragmites australis</i> ³	-	0.23	0.87	2.32	-	-	0.18	1.16	0.03	-
	-	0.53	1.02	-	-	-	0.06	0.45	-	-
<i>Vetiveria zizanioides</i> ³	-	0.28	0.66	1.89	-	-	0.34	1.79	0.05	-
	-	0.67	0.89	-	-	-	0.17	0.62	-	-
<i>Juncus arcticus</i> Willd. ⁴	1.00	0.41	7.13	4.90	3.79	0.24	0.14	1.00	0.16	1.27
	1.00	0.72	11.34	8.59	6.27	1.00	0.87	1.23	0.74	1.66
<i>Cortaderia rudiusscula</i> Stapf ⁴	0.51	0.11	1.33	0.67	1.21	1.94	0.93	0.46	0.38	0.55
	0.89	0.27	3.25	1.53	2.99	0.63	3.55	1.82	0.87	1.56

¹ Planta estudiada por Gürçan et al., (2005).

² Plantas estudiadas por Shu et al., (2002)

³ Plantas estudiadas por Chiu et al., (2005)

⁴ Plantas estudiadas por Medina K., Montano Y. (2014)

Aunque no se encontraron hiperacumuladoras de metales pesados, ambas especies de plantas lograron tolerar altas concentraciones de metales pesados. Un BCF y TF alto, indica que las plantas pueden ser utilizados para fitoextracción de metales pesados en sitios contaminados, en nuestro estudio el *Juncus arcticus* Willd. logró extraer altas concentraciones de Cd, Mn y Zn (tabla N°25) en sus raíces y traslocarlo a su parte aérea, por lo que ésta sería considerada una planta fitoextractora para dichos metales. Y cuando se tiene un BCF alto y TF bajo indica que pueden ser utilizados para fitoestabilizar sitios contaminados, se encontró que el *Juncus arcticus* Willd. logró extraer en sus raíces altas concentraciones de Al, As, Cu, Fe, Pb y Sb lo que la coloca como una planta fitoestabilizadora para dichos metales (tabla N°25). La fitoestabilización se puede utilizar para minimizar la migración de contaminantes en los suelos (Susarla, Medina & McCutcheon, 2002). Este proceso utiliza la capacidad de las raíces de las plantas para cambiar las condiciones ambientales a través de exudados de las raíces. Las plantas pueden inmovilizar los metales

pesados a través de la absorción y la acumulación en las raíces, adsorción sobre las raíces, o la precipitación en la rizosfera. Este proceso reduce la movilidad de los metales y la lixiviación a las aguas subterráneas, y también reduce la biodisponibilidad de metales para la entrada en la cadena alimenticia. Una ventaja de esta estrategia sobre fitoextracción es que la eliminación del material vegetal de metal cargado no se requiere (Susarla et al., 2002). Mediante el uso de las especies de plantas tolerantes de metal para la estabilización de contaminantes en el suelo, en particular los metales pesados, también podría proporcionar mejores condiciones para la atenuación natural o estabilización de contaminantes en el suelo. Metales pesados acumulados en las raíces se consideran relativamente estables en cuanto a su liberación al ambiente se refiere.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El Hg, Tl, Ag, Ni, Mo, Co y Cr en el suelo se encuentran dentro de las Normas de Calidad Ambiental Canadienses para suelo agrícola, mientras que el Cd, Sb, Cu, Zn, Pb y As se encuentran por encima del límite de las Normas Canadienses. En su mayoría, el promedio de las concentraciones de los metales pesados de las muestras de suelos de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, se encuentran en mayor concentración que en el promedio de las muestras de suelos del *Juncus arcticus* Willd. Un sitio que tiene altas concentraciones de As y Fe también tiende a tener altas concentraciones de Pb, Cu y Al.
- El *Juncus arcticus* Willd. acumuló concentraciones de Cu en las raíces y en la parte aérea más altos que los encontrados en el *Paspalum distichum* y

Cynodon dactylon, *Vetiveria zizanioides* y *Phragmites australis*, así mismo que los encontrados en las raíces del *Verbascum olympicum*, pero valores más bajos que los encontrados en su parte aérea. La *Cortaderia ruidiuscula* Stapf acumula concentraciones de Cu en las raíces y en la parte aérea más altos que los encontrados en el *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon*, así mismo que los encontrados en la parte aérea del *Vetiveria zizanioides* y *Phragmites australis*, pero valores más bajos que los encontrados en sus raíces.

- El *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia ruidiuscula* Stapf acumulan concentraciones de Fe más altos que los encontrados en el *Verbascum olympicum*.
- El *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia ruidiuscula* Stapf acumulan concentraciones de Pb en las raíces y en la parte aérea más altos que los encontrados en la *Vetiveria zizanioides* y *Phragmites australis*, así mismo el *Juncus arcticus* Willd. acumula concentraciones en las raíces y en la parte aérea más altos que los encontrados en el *Verbascum olympicum* y la *Cortaderia ruidiuscula* Stapf acumula concentraciones más altas que en las raíces del *Verbascum olympicum* pero concentraciones más bajas que las encontradas en su parte aérea, así mismo concentraciones más altas que los encontrados en la parte aérea del *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon* pero valores más bajos que los encontrados en sus raíces.
- El *Juncus arcticus* Willd. acumula concentraciones de Zn más altos que los encontrados en la *Vetiveria zizanioides* y *Phragmites australis*, *Verbascum olympicum* suelos, *Paspalum distichum* y *Cynodon dactylon*. La *Cortaderia ruidiuscula* Stapf acumula concentraciones de Zn más altos que los encontrados en la *Vetiveria zizanioides*, *Phragmites australis*, *Cynodon dactylon*, en las raíces del *Verbascum olympicum* y en la parte aérea del *Paspalum distichum* pero concentraciones más bajas que los encontrados en su parte aérea y en sus raíces respectivamente.
- El *Juncus arcticus* Willd. acumuló la mayor concentración de Fe, As, Zn, Al, Pb y Cu en las raíces (>8000, >6000, >5000, 2400, 987 y 784 mg/kg) que la *Cortaderia ruidiuscula* Stapf.

- Las concentraciones de Al, Cu, Cd, Zn y Sb en las raíces ($r=1.00-0.70$) y la concentración de Mn en la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. ($r=0.74$) tuvieron una alta correlación positiva con las concentraciones en el suelo, así mismo la concentración de Mn en las raíces ($r=0.91$) y las concentraciones de Pb, Al y Mn en la parte aérea de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf ($r=0.99-0.94$) tuvieron una alta correlación positiva con las concentraciones en el suelo. Mientras que las concentraciones de Pb y Zn en la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. ($r=-0.91, -0.86$) tuvieron una alta correlación negativa con las concentraciones en el suelo, así mismo las concentraciones de Al y Cu en las raíces ($r=-1.00, -0.92$) y la concentración de Zn en la parte aérea de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf ($r=-0.78$) tuvieron una alta correlación negativa con las concentraciones en el suelo.
- Basados en el promedio del BCF de cada especie de planta, las raíces del *Juncus arcticus* Willd. fueron más eficiente que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf, en extraer Zn (FBC=9.1), seguido del Cu (6.6), Mn (5.4), Cd (1.9), Sb (1.9), Al (1.7), As (1.0), Fe (1.0) y Pb (0.5).
- Ambas especies de plantas mostraron en todos los sitios, un BCF mayor que uno, para la Ag de 3.1 a 361, lo cual indica que las concentraciones en la raíz para la *Cortaderia rudiusscula* Stapf superan en 140 veces más la concentración de Ag en el suelo, lo que la coloca como una planta potencial para fitoextracción de Ag y su uso potencial en recuperación de Ag a niveles de comercialización.
- Basados en el promedio del TF de cada especie de planta, el *Juncus arcticus* Willd. fue más eficiente que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf en la traslocación de Mn (TF=1.4) y Cd (1.2), mientras que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf fue más eficiente que el *Juncus arcticus* Willd. en la traslocación de Pb (TF=1.9), Sb (1.5), As (1.4), Fe (1.1) y Al (1.0).
- Entre todos los metales pesados analizados, el *Juncus arcticus* Willd. fue más eficiente en la extracción y translocación de Zn, Mn, Cd y Ni.
- El *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia rudiusscula* Stapf mostraron concentración de Cu, Cd, Pb, Zn y Fe superiores a los niveles fitotóxicos,

resultados que indican que ambas plantas tienen un alto potencial de tolerar y acumular altas concentraciones de estos metales pesados.

- El *Juncus articus* Wild. es una planta fitoextractora que acumulan altas concentraciones de Cd, Mn, Zn y Ni mientras que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf es una planta fitoextractora para el Mn y Zn pero ninguna de las dos especies llegan a ser plantas hiperacumuladoras para el Cd, Cu, Ni, Pb, Mn y Zn.
- El *Juncus articus* Wild. es una planta fitoestabilizadora para el Al, As, Cu, Fe, Sb y Ag mientras que la *Cortaderia rudiusscula* Stapf es una planta fitoestabilizadora para el Cu, Ag y Ni.
- La *Cortaderia rudiusscula* Stapf, es una planta que bioconcentra (BCF=0.2) bajas concentraciones de Pb en su raíz pero trasloca altas concentraciones a su parte aérea (TF=1.9), mientras que el *Juncus articus* Willd. muestra una baja bioconcentración y translocación de Pb, lo que indica que esta planta no está dispuesta a transferir Pb de sus raíces a su parte aérea posiblemente debido a la toxicidad del Pb.

5.2. Recomendaciones

- Usar la *Cortaderia rudiusscula* Stapf como planta acumuladora en recuperación de cobertura vegetal de desmontes, y usar el *Juncus articus* Willd. en la acumulación de metales pesados en humedales, para el tratamiento de drenaje ácido de roca y drenaje ácido de mina.
- Usar estas plantas en biorremediación, por ser especies adaptadas a nuestras condiciones, recomendándose más trabajos referentes a su fenología y formas de propagación, por ser especies adaptadas a suelos muy perturbados y depósitos de relave.
- Estudiar los efectos de las interacciones entre planta-bacteria o planta-micorriza, que pueden afectar la absorción de metales pesados y su translocación a la parte aérea de la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez, E., Fernandez Marcos, M.L., Vaamonde, C., Fernandez-Sanjurjo, M.J., (2003) "Heavy metals in the dump of an abandoned mine in Galicia (NW Spain) and in the spontaneously occurring vegetation". (30 de Diciembre de 2012).

Available at:

<http://www.ibader.org/archivos/docs/Alvarez-2003-Heavy%20metals%20in%20the%20dump%20of%20an%20abandoned%20mine%20in%20Galicia.pdf>

Alloway BJ, Jackson AP, Morgan H. (1990). "The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources". (16 de Marzo de 2012).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004896979090300J>

Audet, P. and C. Charest. (2007) "Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective". (20 de enero de 2013)

Available at:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17045709>

Audet, P; Charest, C. (2007). "Dynamics of arbuscular mycorrhizal symbiosis in heavy metal phytoremediation: Meta-analytical and conceptual perspectives". Environmental Pollution. (12 de Enero de 2013).

Available at:

http://mycorrhiza.ag.utk.edu/latest/latest07/07_8audet1.htm

Baker, A.J.M., (1981) "Accumulators and excluders: strategies in the response of plants to heavy metals". (31 de Diciembre de 2012).

Baker, A.M.J. (1987). "Metal Tolerance. New Phytol". pp: 106:93-111. (12 de Abril de 2013).

Baker AJM, Brooks RR. (1989) Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements—a review of their distribution, ecology and phytochemistry. (12 de Abril de 2013).

Available at:

[http://www.researchgate.net/publication/247713966 Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements A Review of Their Distribution](http://www.researchgate.net/publication/247713966_Terrestrial_Higher_Plants_Which_Hyperaccumulate_Metallic_Elements_A_Review_of_Their_Distribution)
E

Baker, A.J.M, Walker, P.L. (1990) “Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants”. (14 de Mayo de 2013).

Available at:

[http://books.google.es/books/about/Heavy Metal Tolerance in Plants.html?hl=es&id=kvsPo4Et5scC](http://books.google.es/books/about/Heavy_Metal_Tolerance_in_Plants.html?hl=es&id=kvsPo4Et5scC)

Baker, A.J.M., McGrath, S.P., Reeves, R.D, Smith, J.A.C., (2000) “Metal hyperaccumulator plants: A review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils”. (17 de Marzo de 2013).

Available at:

http://lbewww.epfl.ch/cost837/PhytoRemed2000_Files/Session3.pdf

Bech, J., Poschenrieder., CH., Llugany, M., Barceló, J., Tume, P., Tobías, F.J., Barranzuela, J.L. y Vásquez, E.R. (1997). “Arsenic and heavy metal contamination of soil and vegetation around a copper mine in Northern, Peru”. The Science of the Total Environmen. pp: 203. 83-91. (12 de Febrero de 2013).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969797001368>

Brooks R.R. (Ed) (1998). “Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals—Their Role in Phytoremediation, Microbiology, Archaeology, Mineral Exploration and Phytomining”. New York: International Center for Agriculture and Biosciences. (13 de Mayo de 2013).

Available at:

[http://books.google.com.pe/books/about/Plants that hyperaccumulate heavy metals.html?id=A53wAAAAMAAJ&redir_esc=y](http://books.google.com.pe/books/about/Plants_that_hyperaccumulate_heavy_metals.html?id=A53wAAAAMAAJ&redir_esc=y)

Brooks, R. R., Lee, J., Reeves, R. D., Jaffré, T. (1977) "Detection of metalliferous rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants". Journal of Geochemical Exploration. (22 de Marzo de 2013).

Available at:

http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_06-07/08595.pdf

Brown, S.L.; R.L. Chaney; J.S.Angle & A.M. Baker (1995) "Zn and Cd uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution". (17 de Febrero de 2013).

Available at:

http://dypopco.cefe.cnrs.fr/articles%20PDF/2000/2000-escarre_lefevre_newphytol_zinc.pdf

Casierra Posada Fanor y Aguilar Avendaño Oscar E. (2007) "Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección". Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. (07 de Enero de 2013).

Disponible en:

<http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol1/vol.1no.2/Vol.1.No.2.Art.11.pdf>

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. (1993). "Guidance Manual on Sampling, Analysis, and Data Management for Contaminated Sites". Volume I: Main Report. The National Contaminated Sites Remediation Program. (19 de Mayo de 2013).

Available at:

http://www.ccme.ca/assets/pdf/pn_1101_e.pdf

CESEL Ingenieros (2009). Resumen Ejecutivo Plan de Cierre de Pasivos del Depósito de Relaves Ticapampa, Compañía Minera YAHUARCOCHA S.A. (10 de Setiembre 2013).

Disponible en:

http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaam/inicio/resumen/RE_1868794.PDF

CEQG - Canadian Environmental Quality Guidelines. Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. Canadian Council of Ministers of the Environment. (12 de Enero de 2013).

Available at:

<http://st-ts.ccme.ca/>

Chaney, R.L. & P.M. Giordano. (1977) "Microelements as related to plant deficiencies and toxicities" In: L.F. Elliott and F.J. Stevenson; "Soils for management of organic wastes and wastewaters" (02 de Enero de 2013).

Available at:

<https://www.soils.org/publications/books/articles/acsesspublicati/soilsformanagem/frontmatter>

Chaney, R.L. B (1983). "Potential effects of waste constituents on the food chain. In: Land treatment of hazardous wastes". Edited by Parr JF, Marsh PD, Kla JM, Park Ridge, NJ: Noyes data corporation. pp: 152-240. (18 de Julio de 2014)

Available at:

[http://books.google.com.pe/books?id=pNutJSq5EJYC&pg=PA89&dq=Chaney,+R.L.+B+\(1983\)+b.+Potential+effects+of+waste+constituents+on+the+food+chain.+In:+Land+treatment+of+hazardous+wastes&hl=es](http://books.google.com.pe/books?id=pNutJSq5EJYC&pg=PA89&dq=Chaney,+R.L.+B+(1983)+b.+Potential+effects+of+waste+constituents+on+the+food+chain.+In:+Land+treatment+of+hazardous+wastes&hl=es)

Cherian, S., Oliveira, M. (2005). "Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities". Environmental Science & Technology. pp: 39: 9377-9390. (18 de Julio de 2014)

Chiu K.K., Ye Z.H. and Wong M.H. (2005) "Growth of *Vetiveria zizanioides* and *Phragmites australis* on Pb/Zn and Cu mine tailings amended with manure compost and sewage sludge: A greenhouse study". China. (18 de Junio de 2014)

Available at:

http://www.researchgate.net/publication/7607343_Growth_of_Vetiveria_zizanioides_and_Phragmites_australis_on_PbZn_and_Cu_mine_tailings_amended_with_manure_compost_and_sewage_sludge_a_greenhouse_study/file/60b7d521300780becd.pdf

Cho, C., Yavuz-Corapcioglu, M., Park, S., Sung, K. 2008. "Effects of Grasses on the Fate of VOCs in Contaminated Soil and Air. Water, Air, & Soil Pollution". 187:243-250 pp. (18 de Junio de 2014)

Deng, H.; Z.H. Ye y M.H. Wong. (2004) "Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China". (24 de enero de 2013)

Available at:

<http://www.aseanenvironment.info/Abstract/41015569.pdf>

Eapen, S., Singh, S., D'Souza, S. F. (2007). "Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants". Biotechnology Advances. pp: 25:442-451. (20 de Junio de 2014)

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para el Suelo. Decreto Supremo N°002-2013-MINAM, Normas Legales 491497. El Peruano. (28 de Mayo de 2014)

Disponible en:

<http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/D-S-N-002-2013-MINAM.pdf>

Fitz WJ, Wenzel WW. (2002). "Arsenic transformation in the soil–rhizosphere–plant system, fundamentals and potential application of phytoremediation". (16 de Agosto de 2013).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168165602002183>

Ghosh, M. & Singh, S.P. (2005) "A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts". Applied Ecology and Environmental Research. (15 de Junio de 2013).

Available at:

http://www.ecology.kee.hu/pdf/0301_001018.pdf

Ginocchio, R. y Baker, A. (2004). "Metallophytes in Latin America: a remarkable biological and genetic resource scarcely known and studied in the region". Revista chilena de historia natural. pp: 77: 185-194. (11 de Setiembre de 2013).

Gürcan Gülerüz, Hülya Arslan, Belgin Izgi and Seref Gücer. (2005) “Element Content (Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, and Zn) of the Ruderal Plant *Verbascum olympicum* Boiss. from East Mediterranean”. (10 de Julio de 2013).

Available at:

<http://www.znaturforsch.com/ac/v61c/s61c0357.pdf>

Holdridge Leslie R. (1967) “life Zone Ecology”. Tropical Science Center. Universidad de Texas. (18 de Setiembre de 2013).

Available at:

http://books.google.es/books/about/Life_zone_ecology.html?id=BIFgAAAAMAA

↓

International Union of Pure and Applied Chemistry - IUPAC. (2002) ““Heavy Metals” - A Meaningless Term? By John H. Duffus. Chemistry and Human Health Division. Clinical Chemistry Section, Commission on Toxicology. United Kingdom. Pure Appl. Chem., Vol. 74, No. 5, pp. 793–807, (02 de Mayo de 2014)

Available at:

<http://pac.iupac.org/publications/pac/pdf/2002/pdf/7405x0793.pdf>

ITR - Interagency Technical Reference. (1999). “Sampling Vegetation Attributes”. U.S. Department of Agriculture, Natural Resource Conservation Service, Grazing Land Technology Institute and U.S. Department of the Interior. Colorado. (19 de Abril de 2013).

Available at:

<http://www.blm.gov/nstc/library/pdf/samplveg.pdf>

Kabala, Cezary; Singh, Bal Ram. (2001) “Fractionation and mobility of cooper, lead and zinc in soil profiles in the vicinity of copper smelter”. (16 de Febrero de 2013).

Available at:

<http://karnet.up.wroc.pl/~kabala/jeq-30-2-485.pdf>

Kabata-Pendias, A.; Pendias, H. (2001) “Trace elements in soils and plants”. Thrid edition. Press Boca Raton Florida, USA. (08 de Junio de 2013).

Kastori, R; M. Petrovic & N. Petrovic. (1992) "Effect of excess Pb, Cd, Cu and Zn on water relations in sunflower". Journal of Plant Nutrition (02 de Enero de 2013).

Available at:

http://pubget.com/paper/pgtmp_7e464b4919e2793b4a2a2bc59b117108/Effect_of_excess_lead_cadmium_copper_and_zinc_on_water_relations_in_sunflower

Kelley, C., Gaither, K. K., Baca-Spry, A., Cruickshank, B. J. (2000). "Incorporation of phytoremediation strategies into the introductory chemistry laboratory". Chem Educator. pp: 5:140-143. (05 de Enero de 2013).

Kim IS, Kang HK, Johnson-Green P, Lee EJ. (2003). "Investigation of heavy metal accumulation in *Polygonum thunbergii* for phytoextraction". (02 de Setiembre de 2013).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749103001908>

Kloke, A.; D.R. Sauerbeck & H. Vetter. (1994) "Study of the Transfer Coefficient of Cadmium and Lead in Ryegrass and Lettuce" Berlin. (02 de Enero de 2013).

Kuiper, D. (1984). "Genetic differentiation and phenotypic plasticity in populations of *Plantago lanceolata* I response to nutrient level". In: Genetic differentiation and Dispersal in Plants. Ed. P. Jacquard, G.Heim y J. Antonovics. Ecological Science 5. pp: 251-269. (16 de Agosto de 2013).

Lasat, M.M.; N.S. Pence; D.F. Garvin; S.D. Ebbs & L.V. Kochian. (2000) "Molecular Physiology of zinc transport in the zinc hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*" (02 de Enero de 2013).

Available at:

<http://jxb.oxfordjournals.org/content/51/342/71.full.pdf>

Levy DB, Redente EF, Uphoff Gd. (1999). "Evaluating the phytotoxicity of Pb–Zn tailings to big bluestem (*Andropogon gerardii* vitman) and switchgrass (*Panicum virgatum* L.)" Soil Science. (06 de Mayo de 2013).

Available at:

http://www.axis-geochemical.com/uploads/3/7/7/1/3771458/9_phytotoxicity_of_pb-zn_tails_1999.pdf

Llugany, M.; Tolrá, R.; Poshnrieder, C.; Barceló, J. (2007) “Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?”. Ecosistemas. Asociación Española de Ecología Terrestre. (23 de Agosto de 2013).

Disponible en:

<http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/124/121>

Lokeshwari, H.; Chandrappa, G. T. (2006) “Impact of heavy metal contamination of Bellandur Lake on soil and cultivated vegetation” (18 de Diciembre, 2012)

Available at:

<http://www.iisc.ernet.in/currsci/sep102006/622.pdf>

Macnair, M. (2002). “Within and between population genetic variation for zinc accumulation in *Arabidopsis halleri*”. New Phytologist. pp: 155: 59–66. (20 de Febrero de 2013).

Available at:

<http://usaqiedu.com/articles/nihercp/nihercp.pdf>

Mattina, M.I.; Lannucci-Berger, W.; Musante, C. y White, J.C. (2003) “Concurrent plant uptake of heavy metals and persistent organic pollutants from soil”. (20 de enero de 2013).

Available at:

http://pubget.com/paper/12758018/Concurrent_plant_uptake_of_heavy_metals_and_persistent_organic_pollutants_from_soil

MINEM: Ministerio de Energía y Minas - República del Perú. (2000). “Guía para el muestreo y análisis de suelo”, Dirección General de Asuntos Ambientales. (02 de Setiembre de 2013).

Disponible en:

<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dgaee/legislacion/guias/guiahidroxii.pdf>

Miretzky, P., Saralegui, A., Fernández-Cirelli, A. 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*. 57: 997-1005.

Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales - ONERN (1972). (10 de Enero de 2013).

Disponible en:

[http://www.iiap.org.pe/cgi-iiap/infotext.exe/\[in=config/infotext.in\]?bdatos=bdgral&boolean=001532&rg=25&h1=1&format=completo](http://www.iiap.org.pe/cgi-iiap/infotext.exe/[in=config/infotext.in]?bdatos=bdgral&boolean=001532&rg=25&h1=1&format=completo)

Olivares, Elizabeth y Peña, Eder. (2009). “Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación”. (02 de Marzo de 2013).

Disponible en:

<http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v34n9/art04.pdf>

OSINFOR - Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre. (2013). “Protocolo para la Herborización: Colección y Preservado de Ejemplares Botánicos en Procesos de Supervisión Forestal”. (20 de Junio de 2013).

Disponible en:

http://www.osinfor.gob.pe/portal/data/destacado/adjunto/protocolo_herborizacion_julio2013.pdf

Pilon-Smits, Elizabeth. (2005). “Phytoremediation”. *Annual Review of Plant Biology*. (22 de Octubre de 2013).

Available at:

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15862088>

Raskin, I.; P.B.A.N. Kumar; S. Dushenkov & D. Salt. (1994) “Bioconcentration of heavy metals by plants” (02 de Enero de 2013).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0958166994900302>

Rosas Rodríguez, Hermógenes. (2001). "Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat". Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales. B.37627-2001 (28 de Mayo de 2014)

Disponible en:

<http://www.tdx.cat/handle/10803/6978>

Romero Alfonso A., Flores Silvana L., y Pacheco Werner W. (2010) "Estudio de la calidad del agua de la Cuenca del Río Santa". Lima-Perú: UNMSM. (21 de Noviembre de 2013).

Disponible en:

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n25/pdf/a09v13n25.pdf

Rotkittikhun, R; M. Kruatrachue; R. Chaiyarat; C. Ngernsansaruay; P. Pokethitoyook; A. Paijitprapaporn & A.J.M. Baker. (2006) "Uptake and accumulation of lead by plants from the Bo Ngam lead mine area in Thailand" (02 de Enero de 2013).

Available at:

http://www.researchgate.net/publication/7244141_Uptake_and_accumulation_of_lead_by_plants_from_the_Bo_Ngam_lead_mine_area_in_Thailand

Saxena, P.K.; S. KrishnaRaj; T.V. Dan; M.R. Perras & N.N. Vettakkrumakankav. (1999) "Phytoremediation of heavy metal contaminated and polluted soil". In: Prasad, M.N.V. and J.Hagemeyer, "Heavy Metal Stress in plants from Molecules to Ecosystem" (02 de Enero de 2013).

Sciences, Acharya Nagajuna university, India and Department of Chemistry, University of Toronto, Canada. (14 de Noviembre de 2013).

Available at:

<http://www.ipublishing.co.in/ijesarticles/thirteen/articles/volfour/EIJES41020.pdf>

Shaw, A. Jonathan. (1998) "Heavy metal tolerance in plants: Evolutionary aspects". CRC . (16 de Setiembre de 2013).

Shu WS, Ye ZH, Lan CY, Zhang ZQ, Wong MH. (2002) "Lead, zinc and copper accumulation and tolerance in populations of *Paspalum distichum* and *Cynodon dactylon*". (02 de Agosto de 2013).

Available at:

<http://www.er-china.com/uploadfile/2013/0227/20130227094003118.pdf>

Stoltz E, Greger M. (2002) "Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings". (12 de Julio de 2013).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0098847202000023>

Subhashini V., Swamy A.V.V.S. and Hema Krishna. R. (2013). "Phytoremediation: Emerging and green technology for the uptake of cadmium from the contaminated soil by plant species". Department of Environmental. (02 de Agosto de 2013).

Susarla S, Medina VF, McCutcheon SC. (2002) "Phytoremediation, an ecological solution to organic contamination". (21 de Mayo de 2013).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857402000265>

Thomas C, Eong OJ. (1984) "Effects of the heavy metals Zn and Pb on *R. mucronata* and *A. alba* seedlings". Proceedings of the Asian symposium on mangroves and environment; research and management. p. 568–74. (18 de Enero de 2013).

United States Environmental Protection Agency (1990) "Standard operating procedure for the analysis of arsenic and selenium in soils, sediments and solids". Chicago, Illinois. (02 de Mayo 2014)

Available at:

[http://www.clu-
in.org/characterization/technologies/pdf/SOPs/GFAASOPs/mt009.htm](http://www.clu-
in.org/characterization/technologies/pdf/SOPs/GFAASOPs/mt009.htm)

Vyslouzilova, M., Tlustos, O, Szakova, J., Pablicova, D. (2003) "As, Cd, Pb and Zn uptake by different Salix spp. Grown at soils enriched by high loads of these elements". (10 de febrero de 2013)

Available at:

<http://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/52849.pdf>

Weis JS, Weis P. (2004) "Metal uptake, transport and release by wetland plants, implications for phytoremediation and restoration". (13 de Marzo de 2013).

Available at:

<http://dzumervis.nic.in/Microbes%20and%20Metals%20Interaction/pdf/Metal%20uptake%20transport%20and%20release.pdf>

Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou and L.Q. Ma. (2006) "Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site". (10 de febrero de 2013)

Available at:

<http://lgma.ifas.ufl.edu/publication/yoon-06.pdf>

Yupari, Anida (2004) "Informe Preliminar Pasivos Ambientales Mineros en Sudamérica", Informe elaborado para la CEPAL y el Instituto Federal de Geociencias y Recursos Naturales, BGR. (11 de Setiembre de 2013).

Disponible en:

<http://www.eclac.org/publicaciones/xml/6/33416/lcl2869e.pdf>

Zhang WH, Cai Y, Tu C, Ma QL. (2002) "Arsenic speciation and distribution in an arsenic hyperaccumulating plant". Science of the Total Environment. (15 de Mayo de 2013).

Available at:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969702001651>

Zhao, F.J.; R.E. Hamon; E. Lombi; M.J. McLaughlin & S.P. McGrath. (2002) "Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*" (02 de Enero de 2013)

Available at:

<http://jxb.oxfordjournals.org/content/53/368/535.full.pdf>

ANEXO

Anexo N°01: Etiqueta para la identificación de ejemplares.

UNASAM	VEGETACIÓN	FCAM
N° colecta: <u>MP1-1</u>	N. Vulgar: <u>Juncus</u>	
Ubicación: <u>Relave de Ticapampa</u>		
Distrito: <u>Ticapampa</u>	Provincia: <u>Recuay</u>	
Fecha: <u>25/05/13</u>	Hora: <u>09:30</u>	
Altitud: <u>3460 msnm</u>	Coordenadas: <u>N:8921247 E:231722</u>	
Observaciones: _____		
N° colecta: <u>MP1-2</u>	N. Vulgar: <u>Juncus</u>	
Ubicación: <u>Relave Ticapampa</u>		
Distrito: <u>Ticapampa</u>	Provincia: <u>Recuay</u>	
Fecha: <u>25/05/13</u>	Hora: <u>10:00</u>	
Altitud: <u>3464 msnm</u>	Coordenadas: <u>N:8921249 E:231737</u>	
Observaciones: _____		
N° colecta: <u>MP1-3</u>	N. Vulgar: <u>Juncus</u>	
Ubicación: <u>Relave Ticapampa</u>		
Distrito: <u>Ticapampa</u>	Provincia: <u>Recuay</u>	
Fecha: <u>25/05/13</u>	Hora: <u>10:30</u>	
Altitud: <u>3464 msnm</u>	Coordenadas: <u>N:8921234 E:231725</u>	
Observaciones: _____		
N° colecta: <u>MP2-1</u>	N. Vulgar: <u>Cortaderia</u>	
Ubicación: <u>Relave Ticapampa</u>		
Distrito: <u>Ticapampa</u>	Provincia: <u>Recuay</u>	
Fecha: <u>25/05/13</u>	Hora: <u>11:00</u>	
Altitud: <u>3464 msnm</u>	Coordenadas: <u>N:8921203 E:231689</u>	
Observaciones: _____		
N° colecta: <u>MP2-2</u>	N. Vulgar: <u>Cortaderia</u>	
Ubicación: <u>Relave Ticapampa</u>		
Distrito: <u>Ticapampa</u>	Provincia: <u>Recuay</u>	
Fecha: <u>25/05/13</u>	Hora: <u>11:30</u>	
Altitud: <u>3464</u>	Coordenadas: <u>N:8921212 E:231689</u>	
Observaciones: _____		
N° colecta: <u>MP2-3</u>	N. Vulgar: <u>Cortaderia</u>	
Ubicación: <u>Relave Ticapampa</u>		
Distrito: <u>Ticapampa</u>	Provincia: <u>Recuay</u>	
Fecha: <u>25/05/13</u>	Hora: <u>12:00</u>	
Altitud: <u>3463</u>	Coordenadas: <u>N:8921210 E:231688</u>	
Observaciones: _____		

Anexo N°02: Cadena de custodia de los suelos del *Juncus arcticus* Willd. de áreas contaminadas por el pasivo ambiental minero Alianza.



LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
Av. Centenario N° 200-Huancabamba
Cel. 043-943032705 RPM # 703722
e-mail: labqcam@hotmail.com

FT-005
Versión 05
F.E: 19-09-12

CADENA DE CUSTODIA Agua Calidad de Aire Suelo otros

CLIENTE Razón Social: Proyecto de Investigación "Desarrollo de Alternativas Sostenibles de Monitoreo y Aprovechamiento de las Aguas del Río Santa" Atención: Dr. Julio Palomino Cadenas
Dirección: Dpto. Centenario, No. 200 - Huancabamba - Arequipa Referencia/Cotiz.: _____
Telf. / E-mail: _____

Muestra	Muestreo		Frasco			Producto Declarado	Requerimiento de Análisis										Observación sobre la Muestra		
	Identif.	Fecha (d-m-a)	Hora	P	V		B	S	Caudal (Vs)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µs/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (°C)	Cloro libre (mg/l)	T.C. de muestra**	Refrigerado (SI/NO)***	Preserv. (SI/NO)
MSA-1	Sue	25/05/13	09:30			X		Suelo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Relave Tinapampa - Provincia de Arequipa N: 892247/E: 231722/A: 2460 msnm
MSA-2	Sue	25/05/13	10:00			X		Suelo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Relave Tinapampa - Provincia de Arequipa N: 892249/E: 231723/A: 2464 msnm
MSA-3	Sue	25/05/13	10:30			X		Suelo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Relave Tinapampa - Provincia de Arequipa N: 892234/E: 231725/A: 2464 msnm

Total N° de Frascos: _____
* P = Plástico, V = Vidrio, B = Bolsa, S = Sobre

MATRIZ: Agua Superficial Agua Subterránea Agua para Consumo Humano Efluente Doméstico Efluente Industrial Otro
Suelo Lodo Sedimentos Aire Vegetales Especificar: _____

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Físicoquímicos _____	6. Indicadores de Contaminación
2. Met. Totales _____	Biológico _____
3. Met. Disueltos _____	7. Parasitológico _____
4. Nutrientes _____	8. Microbiológico _____
5. Biológico _____	9. Calidad de aire _____
	10. Otros <u>Digestión de muestras de suelo</u>

Observación: _____

Embalaje: Recipiente _____

Firma: [Firma] Nombres y Apellidos: Julio Palomino Cadenas DNI: 44789409
MUESTRADOR (A)

Firma: _____ Nombres y Apellidos: _____ DNI: _____
CLIENTE

LABORATORIO: Entrega _____ Recibe _____ Firma _____ Fecha y Hora de Recepción _____

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el _____
Dia/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio

Cadena de custodia de los suelos de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf de áreas contaminadas por el pasivo ambiental minero Alianza.



LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 Av. Centenario N° 200-Huaraz-Ancash
 Cel. 043-943032706 RPM # 703722
 e-mail: labqcam@hotmail.com

Versión 05
F.E: 19-09-12

CADENA DE CUSTODIA

Agua Calidad de Aire Suelo otros

CLIENTE		Razón Social: <u>Proyecto de Investigación - Desarrollo de Alternativas Sostenibles de Monitoreo y Biorremediación de las Aguas del Río Santa</u>		Atención: <u>Dr. Julio Palomino Cadenas</u>	
		Dirección: <u>Av. Centenario N° 200 - Huaraz - Ancash</u>		Referencia/Cotiz: _____	
				Telf. / E-mail: _____	

Muestra	Muestreo		Frasco		Producto Declarado	Requerimiento de Análisis										Observación sobre la Muestra							
	Identif.	Mante	Fecha (d-m-a)	Hora		Tipo y Cantidad *				Caudal (Vs)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µs/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (°C)	Caso	Blas	ImpuR	T°C de muestra**	Refrigerado (SI/NO)**	Preserv. (SI/NO)	Procedencia y/o Descripción
						P	V	B	S														
MS 2-1	Sue	25/05/13	11:00			X																Relave Ticapampa - Provincia de Recuay N: 3921208 / E: 231689 / A: 3464 msnm	
MS 2-2	Sue	25/05/13	11:30			X																Relave Ticapampa - Provincia de Recuay N: 3921212 / E: 231689 / A: 3464 msnm	
MS 2-3	Sue	25/05/13	12:00			X																Relave Ticapampa - Provincia de Recuay N: 3921210 / E: 231688 / A: 3463 msnm	
		Total N° de Frascos																					

* P = Plástico, V = Vidrio, B = Bolsa, S = Sobre

MATRIZ:	Agua Superficial <input type="checkbox"/> Asp	Agua Subterránea <input type="checkbox"/> Asb	Agua para Consumo Humano <input type="checkbox"/> ACH	Efluente Doméstico <input type="checkbox"/> ED	Efluente Industrial <input type="checkbox"/> EI	Otro <input type="checkbox"/> O
	Suelo <input type="checkbox"/> SpS	Lodo <input type="checkbox"/> Lod	Sedimentos <input type="checkbox"/> Sed	Aire <input type="checkbox"/> Air	Vegetales <input type="checkbox"/> Veg	Especificar: _____

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Físicoquímicos _____ 2. Met. Totales _____ 3. Met. Disueltos _____ 4. Nutrientes _____ 5. Biológico _____	6. Indicadores de Contaminación Bioquímico _____ 7. Parasitológico _____ 8. Microbiológico _____ 9. Calidad de aire _____ 10. Otros <u>Digestión de las muestras de suelo</u>
--	---

Observación: _____

Embalaje: Recipiente _____

Firma: [Firma]
 Nombres y Apellidos: Katy Medina Marcos
 DNI: 44752984
 MUESTRADOR (A)

Firma: _____
 Nombres y Apellidos: _____
 DNI: _____
 CLIENTE

LABORATORIO:	Entrega _____	Firma _____
	Recibe _____	Firma _____
		Fecha y Hora de Recepción _____

INFORME DE ENVÍO: Los resultados de Análisis se emitirán el _____
 Día/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio

Anexo N°03: Cadena de custodia de la parte raíz del *Juncus arcticus* Willd. de áreas contaminadas por el pasivo ambiental minero Alianza.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
Av. Centenario N° 200-Huaraz-Ancash
Cel. 043-943032706 RPM # 703722
e-mail: labfam@hotmail.com

FT-005
Versión 06
F.E: 18-03-13

CADENA DE CUSTODIA Agua Calidad de Aire Suelo otros

CLIENTE Razón Social: Proyecto de Investigación: Desarrollo de Alternativas Sostenibles de Manejo y Restauración de las Aguas del Río Santa Atención: Dr. Julio Palomino Cadenas
Dirección: Av. Centenario N° 200 - Huaraz - Ancash Referencia/Cotiz.:
Telf. / E-mail:

Muestra	Muestreo	Frasco	Tipo y Cantidad *	Requerimiento de Análisis										Observación sobre la Muestra					
				Identif.	Fecha (d-m-a)	Hora	P	V	B	S	Producto Declarado	Caudal (l/h)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µS/cm)	Salinidad (‰)	pH (Unid.)	Temp. (°C)	T °C de muestra **
MRA-1	veg	25/05/13	09:30				X		Planta-Raíz	-	-	-	-	-	-	-			Relave Tinapampa - Provincia de Recay N: 8922247 / E: 231727 / A: 3464 msnm
MRA-2	veg	25/05/13	10:00				X		Planta-Raíz	-	-	-	-	-	-	-			Relave Tinapampa - Provincia de Recay N: 8922249 / E: 231727 / A: 3464 msnm
MRA-3	veg	25/05/13	10:30				X		Planta-Raíz	-	-	-	-	-	-	-			Relave Tinapampa - Provincia de Recay N: 8922274 / E: 231725 / A: 3464 msnm

Total Nº de Frascos:
* P = Plástico, V = Vidrio, B = Bolsa, S = Sobre

MATRIZ AGUA:	Aguas Naturales: AN	Aguas para Uso y Consumo Humano: ACH	Aguas Residuales: AR	Aguas Salinas: AS	Aguas de Proceso: AP
	Agua Superficial <input type="checkbox"/> Aso Agua Subterránea <input type="checkbox"/> Ach	Agua de bebida <input type="checkbox"/> Abb Agua de piscina <input type="checkbox"/> Aps Agua de laguna artificial <input type="checkbox"/> Ala	Agua Residual Doméstica <input type="checkbox"/> ARD Agua Residual Industrial <input type="checkbox"/> ARI Agua Residual Municipal <input type="checkbox"/> ARM	Agua de mar <input type="checkbox"/> mar Aguas salobres <input type="checkbox"/> Asal Salmuera <input type="checkbox"/> Sm Agua de inyección y reinyección <input type="checkbox"/> Any	Agua de circulación o enfriamiento <input type="checkbox"/> Aci Agua de alimentación de calderas <input type="checkbox"/> Aalim Agua de calderas <input type="checkbox"/> Acald Aguas de lavación <input type="checkbox"/> Alw Agua purificada <input type="checkbox"/> Apurif Agua de inyección y reinyección <input type="checkbox"/> Any

OTRAS MATRICES: Suelo Sue Lodo Lod Sedimentos Sed Aire Air Vegetales Veg otro Otro Especificar:

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Físicoquímicos	6. Indicadores de Contaminación
2. Met. Totales	7. Parasitológico
3. Met. Disueltos	8. Microbiológico
4. Nutrientes	9. Calidad de aire
5. Biológico	10. Otros

Observación:
Digestión de muestras - Parte raíz

Embalaje: Recipiente:

Firma: [Firma] Nombres y Apellidos: Yeidy Montano Obavez DNI: 44389109 MUESTRADOR (A)

Firma: Nombres y Apellidos: DNI: CLIENTE

LABORATORIO: Entrega Firma
Recibe Firma
Fecha y Hora de Recepción:

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el Día/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio
*** La muestra esta refrigerada cuando tiene una temperatura > 0 °C y ≤ 6 °C, Según el Standard Methods, Versión 2012

Cadena de custodia de la parte raíz de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf de áreas contaminadas por el pasivo ambiental minero Alianza.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 Av. Centenario N° 200-Huarez-Ancash
 Cel. 043-943032706 RPM # 703722
 e-mail: labqcam@hotmail.com

Versión 05
 F.E: 19-09-12

CADENA DE CUSTODIA Agua Calidad de Aire Suelo otros

CLIENTE Razón Social: Proyecto de Investigación "Desarrollo de Alternativas Sostenibles de Monitoreo y Bioevaluación de los Aguas del R. C. Santa" Atención: Dr. Julio Palomino Cadenas
 Dirección: Av. Centenario, N° 200 - Huarez - Ancash Referencia/Cotiz.: _____
 Telf. / E-mail: _____

Muestra	Muestreo	Frasco	Producto Declarado	Requerimiento de Análisis							Observación sobre la Muestra			
				Caudal (l/s)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µS/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (°C)	Cloro libre (mg/l)	T °C de muestra**	Refrigerado (SI/NO)**	Preserv. (SI/NO)
MR2-1	Veg 25/05/13 11:00	X	Planta-Raíz											Relave Ticapampa - Provincia de Recaym N: 8924208 / E: 231689 / A: 3464 msnm
MR2-2	Veg 25/05/13 11:30	X	Planta-Raíz											Relave Ticapampa - Provincia de Recaym N: 8924212 / E: 231689 / A: 3464 msnm
MR2-3	Veg 25/05/13 12:00	X	Planta-Raíz											Relave Ticapampa - Provincia de Recaym N: 8924210 / E: 231688 / A: 3463 msnm

Total Nº de Frascos: _____
 * P = Plástico, V = Vidrio, B = Bolsa, S = Sobre

MATRIZ: Agua Superficial Asp Agua Subterránea Ast Agua para Consumo Humano ACH Efluente Doméstico ED Efluente Industrial EI Otro O
 Suelo Sue Lodo Lod Sedimentos Sed Aire Air Vegetales Veg Especificar: _____

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Fisicoquímicos _____ 2. Met. Totales _____ 3. Met. Disueltos _____ 4. Nutrientes _____ 5. Biológico _____	6. Indicadores de Contaminación Bioquímico _____ 7. Parasitológico _____ 8. Microbiológico _____ 9. Calidad de aire _____ 10. Otros <u>Digestivo de las muestras parte raíz</u>
--	---

Observación: _____

Embalaje: Recipiente _____

Firma: [Firma] Firma: _____
 Nombres y Apellidos: Katy Medina Marcos Nombres y Apellidos: _____
 DNI: 44752984 DNI: _____

MUESTREADOR (A) CLIENTE

LABORATORIO: Entrega _____ Firma _____
 Recibe _____ Firma _____
 Fecha y Hora de Recepción: _____

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el _____
 Dia/Mes/Año - Horas _____

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio

Anexo N°04: Cadena de custodia de la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. de áreas contaminadas por el pasivo ambiental minero Alianza.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
Av. Centenario N° 200-Huaraz-Ancash
Cel. 043-943032706 RPM # 703722
e-mail: labfam@hotmail.com

FT-005
Versión 06
F.E: 18-03-13

CADENA DE CUSTODIA Agua Calidad de Aire Suelo otros

CLIENTE Razón Social: Proyecto de Investigación "Desarrollo de Altramosos Sostenibles de Atención: Dr. Julia Palomino, Cientista
Monitoreo y Restauración de las Aguas del RÍO Santa Referencia/Cotiz.: _____
Dirección: Av. Centenario N° 200 - Huaraz - Ancash Telf. / E-mail: _____

Muestra	Muestreo		Frasco				Producto Declarado	Requerimiento de Análisis										Observación sobre la Muestra		
	Identif.	Fecha (d-m-a)	Hora	P	V	B		S	Caudal (l/s)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µS/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (°C)	Cloro (mg/l)	T°C de muestra **	Refrigerado (S/NO)***	Preserv. (S/NO)	Procedencia y/o Descripción
MA1-1	Veg	28/05/13	09:30			X		Planta-Parte aérea	-	-	-	-	-	-	-	-			Relave Ticapampa - Provincia de Pasco N:8792247 / E:231722 / A:2464 msnm	
MA1-2	Veg	28/05/13	10:00			X		Planta-Parte aérea	-	-	-	-	-	-	-	-			Relave Ticapampa - Provincia de Pasco N:8792249 / E:231727 / A:2462 msnm	
MA1-3	Veg	28/05/13	10:30			X		Planta-Parte aérea	-	-	-	-	-	-	-	-			Relave Ticapampa - Provincia de Pasco N:8992234 / E:231725 / A:2464 msnm	

Total Nº de Frascos: _____
* P = Plástico, V = Vidrio, B = Bolsa, S = Sobre

MATRIZ AGUA:	Aguas Naturales: AN	Aguas para Uso y Consumo Humano: ACH	Aguas Residuales: AR	Aguas Salinas: AS	Aguas de Proceso: AP
	Agua Superficial <input type="checkbox"/> Asp Agua Subterránea <input type="checkbox"/> Astb	Agua de bebida <input type="checkbox"/> Abb Agua de piscina <input type="checkbox"/> Aps Agua de laguna artificial <input type="checkbox"/> Ala	Agua Residual Doméstica <input type="checkbox"/> ARD Agua Residual Industrial <input type="checkbox"/> ARI Agua Residual Municipal <input type="checkbox"/> ARM	Agua de mar <input type="checkbox"/> mar Aguas salobres <input type="checkbox"/> Asal Salmuera <input type="checkbox"/> Sim Agua de inyección y reinyección <input type="checkbox"/> Ainy	Agua de circulación o enfriamiento <input type="checkbox"/> Acir. Agua de alimentación de calderas <input type="checkbox"/> Aalim. Agua de calderas <input type="checkbox"/> Acald. Aguas de levitación <input type="checkbox"/> Ala. Agua purificada <input type="checkbox"/> Aspuf. Agua de inyección y reinyección <input type="checkbox"/> Ainy.

OTRAS MATRICES: Suelo Sue Lodo Lod Sedimentos Sed Aire Air Vegetales Veg otro O Especificar _____

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Fisicoquímicos	6. Indicadores de Contaminación
2. Met. Totales	7. Parasitológico
3. Met. Disueltos	8. Microbiológico
4. Nutrientes	9. Calidad de aire
5. Biológico	10. Otros

Observación: _____

Embalaje: Recipiente _____

Firma: _____
Nombres y Apellidos: Neidy Montana Chaves
DNE: 44789409
MUESTRADOR (A)

Firma: _____
Nombres y Apellidos: _____
DNI: _____
CLIENTE

LABORATORIO:	Entrega _____	Firma _____
	Recibe _____	Firma _____

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el _____ Fecha y Hora de Recepción _____
Día/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio
*** La muestra esta refrigerada cuando tiene una temperatura > 0°C y ≤ 6°C, Según el Standard Methods, Versión 2012

Cadena de custodia de la parte aérea de la *Cortaderia rudiuscula* Stapf de áreas contaminadas por el pasivo ambiental minero Alianza.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
Av. Centenario N° 200-Huaraz-Ancash
Cel. 043-943032706 RPM # 703722
e-mail: labqcam@hotmail.com

F11-002
Versión 05
F.E: 19-09-12

CADENA DE CUSTODIA

Agua Calidad de Aire Suelo otros

CLIENTE Razón Social: Proyecto de Investigación "Desarrollo de Alternativas Sostenibles de Monitoreo y Biorremediación de las Aguas del Rfo Santa" Atención: Dr. Julio Palomares Castro
Dirección: Av. Centenario N° 200 - Huaraz - Ancash Referencia/Cotiz.: _____
Telf. / E-mail: _____

Muestra	Muestreo	Frasco	Producto Declarado	Requerimiento de Análisis										Observación sobre la Muestra					
				Caudal (l/s)	Turbidez (NTU)	O.D. (mg/l)	C.E. (µS/cm)	Salinidad (%)	pH (Unid.)	Temp. (°C)	Col. (un. Nephel.)	T °C de muestra**	Refrigerado (SI/NO)**	Preserv. (SI/NO)	Procedencia y/o Descripción				
MA2-1	Vegetal	25/05/13 11:00	P	V	B	S	Planta-Parte Aérea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Relave Ticsapampa - Provincia de Recayaj N: 8921208 / E: 231689 / A: 3464 msnm
MA2-2	Vegetal	25/05/13 11:30				X	Planta-Parte Aérea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Relave Ticsapampa - Provincia de Recayaj N: 8921212 / E: 231689 / A: 3464 msnm
MA2-3	Vegetal	25/05/13 12:00				X	Planta-Parte Aérea	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Relave Ticsapampa - Provincia de Recayaj N: 8921210 / E: 231688 / A: 3463 msnm

Total N° de Frascos: _____
* P = Plástico, V = Vidrio, B = Bolsa, S = Sobre

MATRIZ: Agua Superficial Asp, Agua Subterránea Asb, Agua para Consumo Humano ACH, Efluente Doméstico ED, Efluente Industrial EI, Otro O
Suelo Sue, Lodo Lod, Sedimentos Sed, Aire Air, Vegetales Veg, Especificar: _____

ANÁLISIS EN LABORATORIO:

1. Físicoquímicos	6. Indicadores de Contaminación
2. Met. Totales	7. Bioquímico
3. Met. Disueltos	8. Parasitológico
4. Nutrientes	9. Microbiológico
5. Biológico	10. Calidad de aire
	Otros

Observación: _____
Digestión de las muestras parte aérea

Embalaje: Recipiente _____

Firma: [Firma] Nombres y Apellidos: Katy Medina Marcos DNI: 44162984
MUESTRADOR (A)

Firma: _____ Nombres y Apellidos: _____ DNI: _____ CLIENTE

LABORATORIO: Entrega _____ Recibe _____ Firma _____ Firma _____ Fecha y Hora de Recepción _____

INFORME DE ENSAYO: Los resultados de Análisis se emitirán el _____ Día/Mes/Año - Horas

** Temperatura de la muestra al ingresar al laboratorio

Anexo N°05: Cadena de custodia SAG de los suelos, parte raíz y parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. y la *Cortaderia rudiusscula* Stapf de áreas contaminadas por el pasivo ambiental minero Alianza.

Versión: 03
F.E: 11/2010
Página.....de

CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

Cliente: Univ. Nac. Santiago Antúnez de Mayolo **Contacto:** Dr. Julio Palomino Castanos **Telf.:** **E-mail:**
Lugar/Empresa/Planta/Proyecto: Proyecto de Investigación de Alternativas Sostenibles de Monitoreo y Biorremediación de las Aguas del Río Santa **MUESTRADO POR SAG** **MUESTRADO POR CLIENTE**

Carta/Cotización:				PARAMETROS IN SITU						ANALISIS DE LABORATORIO										N° Informe:			
PUNTO DE MUESTREO / CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ							Metales Totales-ICP												CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES
	FECHA	HORA																					
MR1-1	25/05/13	09:30	Planta-Raíz							X													
MR1-2	25/05/13	10:00	Planta-Raíz							X													
MR1-3	25/05/13	10:30	Planta-Raíz							X													
MA1-1	25/05/13	09:30	Planta-Parte aérea							X													
MA1-2	25/05/13	10:00	Planta-Parte aérea							X													
MA1-3	25/05/13	10:30	Planta-Parte aérea							X													
MS1-1	25/05/13	09:30	Suelo							X													
MS1-2	25/05/13	10:00	Suelo							X													
MS1-3	25/05/13	10:30	Suelo							X													
MR2-1	25/05/13	11:00	Planta-Raíz							X													
MR2-2	25/05/13	11:30	Planta-Raíz							X													
MR2-3	25/05/13	12:00	Planta-Raíz							X													
MA2-1	25/05/13	11:00	Planta-Parte aérea							X													
MA2-2	25/05/13	11:30	Planta-Parte aérea							X													
MA2-3	25/05/13	12:00	Planta-Parte aérea							X													
MS2-1	25/05/13	11:00	Suelo							X													
MS2-2	25/05/13	11:30	Suelo							X													

Nombre y firma del responsable del muestreo: Naily Montano *[Firma]* / Katy Medina *[Firma]* Obs. del Muestreador:

Entregado por: Representante de: Firma: Recibido en laboratorio por: Día/Hora:

Anexo N°06: Procedimiento para la herborización - HUT

 **Herbarium Truxillense (HUT)**
Universidad Nacional de Trujillo
Facultad de Ciencias Biológicas
Jr. San Martín 392, Trujillo - Perú
E-mail: herbariumtruxillensehut@yahoo.com



CÓDIGO O NÚMERO DE INGRESO A LA COLECCIÓN GENERAL

- Sin excepción, todo investigador, tesista de pre o post grado, etc. deben depositar en un Herbario el (los) espécimen (es) o muestra (s) vegetal (es) motivo de su investigación científica. *La finalidad es sustentar su validez y tener rigor científico. La muestra botánica presentada para determinación taxonómica debe ser estrictamente parte del material a ejecutar la investigación.*
- Una vez determinada la planta, la persona interesada debe acercarse al herbario con el material vegetal correctamente montado y etiquetado (consultar con el personal del herbario o asesor en el caso de ser tesista). *La determinación taxonómica de la planta y su ingreso al herbario se efectuará antes de la ejecución de la investigación. Las muestras deben tener buena presentación. No se aceptarán muestras herborizadas extemporáneamente o después de haber sido ejecutada y sustentada la investigación.*
- ¿Cómo se debe presentar el material botánico?: La planta debidamente prensada y secada. será montada en un cartón de 320 g., 43 x 28 cm (pegar con silicona o cola sintética, asegurar con hilo en el caso de frutos grandes o tallos gruesos y cinta engomada de papel, favor no utilizar otro tipo de cinta). Luego colocar la etiqueta con los datos correspondiente en la parte inferior derecha. El material montado y etiquetado debe colocarse dentro de una "camiseta" o cubierta (papel bond doblado de 80 g., 45 x 30 cm cada lado). Adicionar cuatro (04) bolitas de naftalina al material vegetal montado para su conservación y evitar el daño por insectos.
- Inmediatamente presentado al herbario el material como se ha indicado. Se efectuará el sellado y asignación de un número, colocado en la parte superior derecha. El número asignado al nuevo material es el número correlativo de ingreso a la colección general y se denomina *Código*.

*Cualquier consulta realizarla al personal del herbario HUT.

La Dirección

Anexo N°07: Etiqueta del herbario - HUT



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
HERBARIUM TRUXILLENSE (HUT)
FLORA PERUANA

Familia

Nombre Científico

N. Vulgar Det. Por

Hábito

.....

Procedencia

Prov. Dpto.

Habitat

Altitud m.s.n.m. Fecha

Leg.

N°

Anexo N°08: Ejemplar del *Juncus arcticus* Willd.



Anexo N°09: Ejemplar de la *Cortaderia rudiuscula* Stapf 1:2



Sheet 1:2



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
HERBARIUM TRUXILLENSE (HUT)
FLORA PERUANA

Familia POACEAE
 Nombre Científico Cortaderia rudiuscula Stapf
 N. Vulgar "Cortaderia" Det. Por J. Montano L. (HUT), 2014
 Hábito Hierba de hasta 2 m de alto, inflorescencia - carrón
 Procedencia Tarma, Alameda, Tarma
 Prov. Tarma Dpto. Tarma
 Habitat Suelos contaminados con metales pesados
 Altitud 3448 m.s.n.m. No. 8921277 Fecha 26 MARZO 2014
 Leg. Katy Medina Marcos No. 8921277
Yedy Montano Chávez No. 26/3/22

Ejemplar de la *Cortaderia rudiuscula* Stapf 2:2



Anexo N°10: Resultados de los análisis de metales por el método Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP) de la parte raíz del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

INFORME DE ENSAYO N° 071672-2013

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
DOMICILIO LEGAL : AV. CENTENARIO N° 200 -HUARAZ-ANCASH
SOLICITADO POR : SR. MARIO LEYVA
REFERENCIA : PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "DESARROLLO DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES DE MONITOREO Y BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO SANTA"
PROCEDENCIA : HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN : 2013-06-21
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2013-06-21
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Lectura de Metales en suelo (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Sílice(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA-821-R-01-010 METHOD 200.7 REV.4.4 (1994). Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	----	mg/L

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

INFORME DE ENSAYO N° 071672-2013

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz
Matriz analizada			Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz
Fecha de muestreo			2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25
Hora de inicio de muestreo (h)			09:30	10:00	10:30	11:00
Coordenadas UTM WGS 84			231722E	231737E	231725E	231722E
			8921247N	8921249N	8921234N	8921247N
Altitud (msnm)			3448	3458	3454	3448
Descripción del punto de muestreo			Relave Ticapampa, provincia de Recuay			
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			MR1-1	MR1-2	MR1-3	MR2-1
Código del Laboratorio			1306848	1306849	1306850	1306851
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
Metales						
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	0.0503	0.0803	0.0768	0.1803
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	24.00	16.91	10.88	5.15
Arsénico (As)	mg/L	0.001	>60	49.813	>60	16.954
Boro (B)	mg/L	0.003	0.155	0.190	0.358	0.066
Bario (Ba)	mg/L	0.001	0.229	0.086	0.115	0.088
Berilio (Be)	mg/L	0.0002	0.0004	0.0004	<0.0002	<0.0002
Calcio (Ca)	mg/L	0.02	41.29	64.06	44.01	15.37
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	0.1205	0.1392	0.0510	0.0407
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	0.061	0.088	0.062	0.027
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	0.1745	0.0657	0.0882	0.1181
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	0.0137	0.0617	0.0136	0.0105
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	7.8368	2.5987	3.2635	1.5034
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	>80	>80	>80	41.194
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Potasio (K)	mg/L	0.03	47.90	78.91	57.33	23.93
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.069	0.115	0.120	0.052
Magnesio (Mg)	mg/L	0.02	6.01	10.50	9.59	2.93
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	7.0807	9.3449	4.9003	5.2565
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.003	0.007	0.004	0.004
Sodio (Na)	mg/L	0.03	5.59	21.72	14.47	2.80
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.0562	0.0267	0.0491	0.0183
Fósforo (P)	mg/L	0.002	6.047	7.128	7.756	1.981
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	9.8730	5.2498	6.4632	2.8123
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	0.787	0.338	0.866	0.156
Selenio (Se)	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	0.003	<0.003
Silicio (SiO ₂)	mg/L	0.03	4.72	4.77	4.62	4.45
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	0.018	0.022	0.026	0.011
Estroncio (Sr)	mg/L	0.001	0.569	0.384	0.506	0.150
Titanio (Ti)	mg/L	0.0002	0.0768	0.0726	0.1032	0.0485
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Vanadio (V)	mg/L	0.0002	0.0196	0.0217	0.0222	0.0063
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	>50	17.003	24.493	6.070

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

Nota: Digestión realizada por el cliente. Solo lectura de muestra.

INFORME DE ENSAYO N° 071672-2013

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Planta-Raíz	Planta-Raíz
Matriz analizada			Planta-Raíz	Planta-Raíz
Fecha de muestreo			2013-05-25	2013-05-25
Hora de inicio de muestreo (h)			11:30	12:00
Coordenadas UTM WGS 84			231737E	231725E
			8921249N	8921234N
Altitud (msnm)			3458	3454
Descripción del punto de muestreo			Relave Ticapampa, provincia de Recuay	Relave Ticapampa, provincia de Recuay
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			MR2-2	MR2-3
Código del Laboratorio			1306852	1306853
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados	
Metales				
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	0.1624	0.1488
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	7.95	7.76
Arsénico (As)	mg/L	0.001	24.180	30.272
Boro (B)	mg/L	0.003	0.070	0.116
Bario (Ba)	mg/L	0.001	0.113	0.205
Berilio (Be)	mg/L	0.0002	<0.0002	0.0004
Calcio (Ca)	mg/L	0.02	17.67	40.82
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	0.0521	0.0509
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	0.032	0.043
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	0.0458	0.0418
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	0.0094	0.0144
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	1.6863	1.4455
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	57.026	70.881
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	<0.001	<0.001
Potasio (K)	mg/L	0.03	55.82	68.53
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.038	0.023
Magnesio (Mg)	mg/L	0.02	4.79	6.23
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	2.3275	3.5573
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<0.002	<0.002
Sodio (Na)	mg/L	0.03	1.49	1.57
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.0332	0.0218
Fósforo (P)	mg/L	0.002	4.090	6.509
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	2.6777	4.7055
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	0.168	0.193
Selenio (Se)	mg/L	0.003	<0.003	0.013
Silicio (SiO ₂)	mg/L	0.03	5.90	13.68
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	0.128	0.024
Estroncio (Sr)	mg/L	0.001	0.153	0.351
Titanio (Ti)	mg/L	0.0002	0.0466	0.0854
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<0.003	<0.003
Vanadio (V)	mg/L	0.0002	0.0067	0.0120
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	11.090	12.238

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

Nota: Digestión realizada por el cliente. Solo lectura de muestra.

Lima, 08 de Julio del 2013

Anexo N°11: Resultados de los análisis de metales por el método Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP) de la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

INFORME DE ENSAYO N° 071673-2013

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
DOMICILIO LEGAL : AV. CENTENARIO N° 200 -HUARAZ-ANCASH
SOLICITADO POR : SR. MARIO LEYVA
REFERENCIA : PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "DESARROLLO DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES DE MONITOREO Y BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO SANTA"
PROCEDENCIA : HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN : 2013-06-21
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2013-06-21
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Lectura de Metales en suelo (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silice(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA-821-R-01-010 METHOD 200.7 REV.4.4 (1994). Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	----	mg/L

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

INFORME DE ENSAYO N° 071673-2013

II. RESULTADOS:

Producto declarado			Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea
Matriz analizada			Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea
Fecha de muestreo			2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25
Hora de inicio de muestreo (h)			09:30	10:00	10:30	11:00
Coordenadas UTM WGS 84			231722E	231737E	231725E	231722E
			8921247N	8921249N	8921234N	8921247N
Altitud (msnm)			3448	3458	3454	3448
Descripción del punto de muestreo			Relave Ticapampa, provincia de Recuay			
Condiciones de la muestra			Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente			MA1-1	MA1-2	MA1-3	MA2-1
Código del Laboratorio			1306854	1306855	1306856	1306857
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
Metales						
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	0.0249	0.0720	0.0594	0.1242
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	7.08	24.81	7.05	8.12
Arsénico (As)	mg/L	0.001	6.435	36.316	12.041	48.855
Boro (B)	mg/L	0.003	0.293	0.447	0.576	0.156
Bario (Ba)	mg/L	0.001	0.056	0.063	0.053	0.132
Berilio (Be)	mg/L	0.0002	<0.0002	0.0017	<0.0002	<0.0002
Calcio (Ca)	mg/L	0.02	41.79	314.71	76.52	74.29
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	0.0675	0.1998	0.0779	0.0749
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	0.016	0.152	0.028	0.065
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	0.1436	0.0700	0.0667	0.0273
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	0.3369	0.0666	0.0092	0.0288
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	1.2186	1.9193	0.8430	1.3010
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	18.907	>80	30.349	>80
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Potasio (K)	mg/L	0.03	164.60	136.16	140.05	65.21
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.190	0.201	0.413	0.086
Magnesio (Mg)	mg/L	0.02	12.48	17.27	14.00	6.50
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	9.2296	15.5314	6.2004	6.6345
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.075	0.005	0.003	0.004
Sodio (Na)	mg/L	0.03	7.46	8.51	34.60	4.92
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.0569	0.0327	0.0304	0.0262
Fósforo (P)	mg/L	0.002	15.746	10.484	12.623	6.918
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	1.4197	4.5654	2.3540	9.9853
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	0.054	0.197	0.090	0.427
Selenio (Se)	mg/L	0.003	0.021	0.011	0.018	0.008
Silicio (SiO ₂)	mg/L	0.03	5.64	15.16	7.06	23.24
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	0.015	0.012	0.035	0.044
Estroncio (Sr)	mg/L	0.001	0.384	0.747	0.323	0.418
Titanio (Ti)	mg/L	0.0002	0.0383	0.0460	0.0373	0.1173
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Vanadio (V)	mg/L	0.0002	0.0026	0.0088	0.0040	0.0189
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	>50	20.975	24.541	11.026

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

Nota: Digestión realizada por el cliente. Solo lectura de muestra.

INFORME DE ENSAYO N° 071673-2013

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea
Matriz analizada		Planta-Parte aerea	Planta-Parte aerea
Fecha de muestreo		2013-05-25	2013-05-25
Hora de inicio de muestreo (h)		11:30	12:00
Coordenadas UTM WGS 84		231737E	231725E
		8921249N	8921234N
Altitud (msnm)		3458	3454
Descripción del punto de muestreo		Relave Ticapampa, provincia de Recuay	Relave Ticapampa, provincia de Recuay
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente		MA2-2	MA2-3
Código del Laboratorio		1306858	1306859
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	0.0564
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	4.70
Arsénico (As)	mg/L	0.001	15.438
Boro (B)	mg/L	0.003	0.140
Bario (Ba)	mg/L	0.001	0.115
Berilio (Be)	mg/L	0.0002	0.0003
Calcio (Ca)	mg/L	0.02	41.18
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	0.0316
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	0.025
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	0.0181
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	0.0107
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	0.6636
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	36.024
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	<0.001
Potasio (K)	mg/L	0.03	0.69
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.043
Magnesio (Mg)	mg/L	0.02	7.01
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	3.6402
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	<0.002
Sodio (Na)	mg/L	0.03	1.172
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.0167
Fósforo (P)	mg/L	0.002	6.174
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	3.3920
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	0.158
Selenio (Se)	mg/L	0.003	0.021
Silicio (SiO ₂)	mg/L	0.03	15.42
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	0.017
Estroncio (Sr)	mg/L	0.001	0.385
Titanio (Ti)	mg/L	0.0002	0.0673
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<0.003
Vanadio (V)	mg/L	0.0002	0.0076
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	10.293

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

Nota: Digestión realizada por el cliente. Solo lectura de muestra.

Lima, 08 de Julio del 2013

Anexo N°12: Resultados de los análisis de metales por el método Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry (ICP) de los suelos del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

INFORME DE ENSAYO N° 071674-2013

RAZÓN SOCIAL : UNIVERSIDAD NACIONAL SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
DOMICILIO LEGAL : AV. CENTENARIO N° 200 -HUARAZ-ANCASH
SOLICITADO POR : SR. MARIO LEYVA
REFERENCIA : PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "DESARROLLO DE ALTERNATIVAS SOSTENIBLES DE MONITOREO Y BIORREMEDIACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO SANTA"
PROCEDENCIA : HUARAZ - ANCASH
FECHA DE RECEPCIÓN : 2013-06-21
FECHA DE INICIO DE ENSAYOS : 2013-06-21
MUESTREADO POR : EL CLIENTE

I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.D.M.	Unidades
Lectura de Metales en suelo (Aluminio, Antimonio, Arsénico, Bario, Boro, Berilio, Cadmio, Calcio, Cerio, Cromo, Cobalto, Cobre, Hierro, Plomo, Litio, Magnesio, Manganeso, Mercurio, Molibdeno, Niquel, Fósforo, Potasio, Selenio, Silice(SiO ₂), Plata, Sodio, Estroncio, Talio, Estaño, titanio, Vanadio, Zinc).	EPA-821-R-01-010 METHOD 200.7 REV.4.4 (1994). Determination of Metals and trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry.	----	mg/L

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

INFORME DE ENSAYO N° 071674-2013

II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo		
Fecha de muestreo	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25		
Hora de inicio de muestreo (h)	09:30	10:00	10:30	11:00		
Coordenadas UTM WGS 84	231722E	231737E	231725E	231722E		
	8921247N	8921249N	8921234N	8921247N		
Altitud (msnm)	3448	3458	3454	3448		
Descripción del punto de muestreo	Relave Ticapampa, provincia de Recuay					
Condiciones de la muestra	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada		
Código del Cliente	MS1-1	MS1-2	MS1-3	MS2-1		
Código del Laboratorio	1306860	1306861	1306862	1306863		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
Metales						
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	0.01618	<0.0005	<0.0005	<0.0005
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	11.72	9.54	8.02	27.98
Arsénico (As)	mg/L	0.001	>60	>60	49.888	>60
Boro (B)	mg/L	0.003	0.033	0.030	0.080	0.034
Bario (Ba)	mg/L	0.001	0.268	0.170	0.217	0.352
Berilio (Be)	mg/L	0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002
Calcio (Ca)	mg/L	0.02	7.81	31.13	11.44	14.57
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	0.0594	0.0598	0.0416	0.1107
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	0.103	0.121	0.093	0.184
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	0.0129	0.0062	0.0093	0.0441
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	0.0229	0.0276	0.0186	0.0600
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	0.9125	0.5302	0.5086	2.2276
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	>80	>80	>80	>80
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.003	<0.001	0.003	0.003
Potasio (K)	mg/L	0.03	8.36	11.58	8.69	17.46
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.042	0.067	0.069	0.089
Magnesio (Mg)	mg/L	0.02	3.39	4.08	2.98	11.83
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	1.1286	1.5227	1.2918	4.3388
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.003	0.011	0.005	0.020
Sodio (Na)	mg/L	0.03	1.55	7.22	3.38	3.49
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.0006	<0.0004	0.0027	0.0137
Fósforo (P)	mg/L	0.002	2.693	2.740	2.012	5.231
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	13.6939	12.9569	13.8149	26.4629
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	0.282	0.244	0.587	0.428
Selenio (Se)	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Silicio (SiO ₂)	mg/L	0.03	5.74	2.48	3.88	3.54
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	0.111	0.042	0.028	0.071
Estroncio (Sr)	mg/L	0.001	0.295	0.680	0.559	0.616
Titanio (Ti)	mg/L	0.0002	0.0643	0.0744	0.0781	0.0744
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003
Vanadio (V)	mg/L	0.0002	0.0336	0.0494	0.0353	0.0661
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	4.408	1.894	3.437	4.562

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

Nota: Digestión realizada por el cliente. Solo lectura de muestra.

INFORME DE ENSAYO Nº 071674-2013

II. RESULTADOS:

Producto declarado		Suelo	Suelo
Matriz analizada		Suelo	Suelo
Fecha de muestreo		2013-05-25	2013-05-25
Hora de inicio de muestreo (h)		11:30	12:00
Coordenadas UTM WGS 84		231737E	231725E
		8921249N	8921234N
Altitud (msnm)		3458	3454
Descripción del punto de muestreo		Relave Ticapampa, provincia de Recuay	Relave Ticapampa, provincia de Recuay
Condiciones de la muestra		Refrigerada y preservada	Refrigerada y preservada
Código del Cliente		MS2-2	MS2-3
Código del Laboratorio		1306864	1306865
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados
Metales			
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	<0.0005
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	16.98
Arsénico (As)	mg/L	0.001	>60
Boro (B)	mg/L	0.003	0.012
Bario (Ba)	mg/L	0.001	0.599
Berilio (Be)	mg/L	0.0002	0.0019
Calcio (Ca)	mg/L	0.02	6.38
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	0.1058
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	0.119
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	0.0146
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	0.0237
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	1.1015
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	>80
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.006
Potasio (K)	mg/L	0.03	7.70
Litio (Li)	mg/L	0.003	0.033
Magnesio (Mg)	mg/L	0.02	2.66
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	1.1952
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.002
Sodio (Na)	mg/L	0.03	0.905
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.0295
Fósforo (P)	mg/L	0.002	2.691
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	17.5639
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	0.286
Selenio (Se)	mg/L	0.003	<0.003
Silicio (SiO ₂)	mg/L	0.03	10.51
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	0.031
Estroncio (Sr)	mg/L	0.001	0.180
Titanio (Ti)	mg/L	0.0002	0.0789
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<0.003
Vanadio (V)	mg/L	0.0002	0.0334
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	3.409

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

Nota: Digestión realizada por el cliente. Solo lectura de muestra.

Lima, 08 de Julio del 2013

Anexo N°13: Resultados corregidos de los metales pesados de la parte raíz del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

INFORME DE ENSAYO N°071672-2013

Producto declarado			Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz
Matriz analizada			Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz	Planta-Raíz
Fecha de muestreo			25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013
Hora de inicio de muestreo (h)			09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	11:00
Coordenadas UTM WGS 84			231722E	231737E	23175E	231722E	231737E	23175E
			8921247N	8921249N	8921234N	8921247N	8921249N	8921234N
Altitud (msnm)			3448	3458	3454	3448	3458	3448
Descripción del punto de muestro			Relave Ticapampa, Provincia de Recuay					
Condiciones de la muestra			Refrigerada y Preservada					
Código del cliente			MR1-1	MR1-2	MR1-3	MR2-1	MR2-2	MR2-1
Código del Laboratorio			1306848	1306849	1306850	1306851	1306852	1306851
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados					
Metales								
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	5.03	8.03	7.68	18.03	16.24	14.88
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	2400.00	1691.00	1088.00	515.00	795.00	776.00
Arsénico (As)	mg/L	0.001	>6000.00	4981.30	>6000.00	1695.40	2418.00	3027.20
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	12.05	13.92	5.10	4.07	5.21	5.09
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	6.10	8.80	6.20	2.70	3.20	4.30
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	17.45	6.57	8.82	11.81	4.58	4.18
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	1.37	6.17	1.36	1.05	0.94	1.44
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	783.68	259.87	326.35	150.34	168.63	144.55
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	>8000.00	>8000.00	>8000.00	4119.40	5702.60	7088.10
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	708.07	934.49	490.03	525.65	232.75	355.73
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.30	0.70	0.40	0.40	0.20	0.20
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	5.62	2.67	4.91	1.83	3.32	2.18
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	987.30	524.98	646.32	281.23	267.77	470.55
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	78.70	33.80	86.60	15.60	16.80	19.30
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	1.80	2.20	2.60	1.10	12.80	2.40
Talio(Tl)	mg/L	0.003	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	>5000.00	1700.30	2449.30	607.00	1109.00	1223.80

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

Anexo N°14: Resultados corregidos de los metales pesados de la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

INFORME DE ENSAYO N°071673-2013

Producto declarado	Planta-Parte aérea							
Matriz analizada	Planta-Parte aérea							
Fecha de muestreo	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25	2013-05-25		
Hora de inicio de muestreo (h)	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00		
Coordenadas UTM WGS 84	231722E	231737E	231725E	231722E	231737E	231725E		
	8921247N	8921249N	8921234N	8921247N	8921249N	8921234N		
Altitud (msnm)	3448	3458	3454	3448	3458	3454		
Descripción del punto de muestreo	Relave Ticapampa, provincia de Recuay							
Condiciones de la muestra	Refrigerada y Preservada							
Código del Cliente	MA1-1	MA1-2	MA1-3	MA2-1	MA2-2	MA2-3		
Código del Laboratorio	1306854	1306855	1306856	1306857	1306858	1306859		
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados					
Metales								
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	2.49	7.20	5.94	12.42	5.64	2.89
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	707.88	2480.90	705.00	812.42	469.69	530.58
Arsénico (As)	mg/L	0.001	643.53	3631.57	1204.06	4885.46	1543.76	2145.06
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	6.75	19.98	7.79	7.49	3.16	3.95
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	1.64	15.19	2.82	6.54	2.54	3.56
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	14.36	7.00	6.67	2.73	1.81	2.36
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	33.69	6.66	0.92	2.88	1.07	0.82
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	121.86	191.93	84.30	130.10	66.36	54.67
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	1890.70	>8000.00	3034.86	>8000.00	3602.36	5805.46
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	922.96	1553.14	620.04	663.45	364.02	196.32
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	7.50	0.46	0.27	0.42	0.20	0.20
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	5.69	3.27	3.04	2.62	1.67	0.67
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	141.97	456.54	235.40	998.53	339.20	438.78
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	5.36	19.67	9.02	42.68	15.83	13.25
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	1.53	1.25	3.48	4.44	1.73	1.23
Talio(Tl)	mg/L	0.003	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	>5000.00	2097.49	2454.09	1102.59	1029.29	559.81

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

Anexo N°15: Resultados corregidos de los metales pesados de los suelos del *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf.

INFORME DE ENSAYO N°071674-2013

RESULTADOS

Producto declarado	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Matriz analizada	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo	Suelo
Fecha de muestreo	25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013	25/05/2013
Hora de inicio de muestreo (h)	09:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00
Coordenadas UTM WGS 84	231722E	231737E	231725E	231722E	231737E	23175E
	8921247N	8921249N	8921234N	8921247N	8921249N	8921234N
Altitud (msnm)	3448	3458	3454	3448	3458	3454
Descripción del punto de muestro	Relave Ticapampa, Provincia de Recuay					
Condiciones de la muestra	Refrigerada y Preservada					
Código del cliente	MS1-1	MS1-2	MS1-3	MS2-1	MS2-2	MS2-3
Código del Laboratorio	1306860	1306861	1306862	1306863	1306864	1306865
Ensayo	Unidades	L.D.M.	Resultados			
Metales						
Plata (Ag)	mg/L	0.0005	1.62	0.05	0.05	0.05
Aluminio (Al)	mg/L	0.01	1172.20	954.22	802.30	2798.00
Arsénico (As)	mg/L	0.001	>6000.00	>6000.00	4988.82	>6000.00
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0004	5.94	5.98	4.16	11.07
Cerio (Ce)	mg/L	0.002	10.27	12.10	9.25	18.40
Cobalto (Co)	mg/L	0.0003	1.29	0.62	0.93	4.41
Cromo (Cr)	mg/L	0.0004	2.29	2.76	1.86	6.00
Cobre (Cu)	mg/L	0.0004	91.25	53.02	50.86	222.76
Hierro (Fe)	mg/L	0.001	>8000.00	>8000.00	>8000.00	>8000.00
Mercurio (Hg)	mg/L	0.001	0.35	0.10	0.27	0.30
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0004	112.86	152.27	129.18	433.88
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.35	1.09	0.47	2.00
Níquel (Ni)	mg/L	0.0004	0.06	0.04	0.27	1.37
Plomo (Pb)	mg/L	0.0004	1369.39	1295.69	1381.49	2646.29
Antimonio (Sb)	mg/L	0.002	28.23	24.37	58.74	42.80
Estaño (Sn)	mg/L	0.001	11.09	4.23	2.76	7.10
Talio(Tl)	mg/L	0.003	0.30	0.30	0.30	0.30
Zinc (Zn)	mg/L	0.003	440.75	189.41	343.70	456.20

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

Anexo N°16: Análisis de varianza (ANOVA) a las tres repeticiones de metales pesados de los suelos del *Juncus arcticus* Willd.

Resumen:

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	18	17248.226	958.234778	5113990.02
Columna 2	18	16696.243	927.569056	5127359.3
Columna 3	18	15775.408	876.411556	4573864.61

Análisis de varianza:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	61515.096 1	2	30757.5481	0.006 22824	0.9937 9188	3.1787992 9
Dentro de los grupos	251858637	51	4938404.64			
Total	251920152	53				

Anexo N°17: Análisis de varianza (ANOVA) a las tres repeticiones de metales pesados de los suelos de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf

Resumen:

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	17	20632.53	1213.678235	5639903.799
Columna 2	17	18075.17	1063.245294	5430834.856
Columna 3	17	18342.3	1078.958824	5397240.484

Análisis de varianza:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	232482.39 33	2	116241.1967	0.0211 75858	0.9790 55917	3.1907273 36
Dentro de los grupos	263487666 .2	48	5489326.38			
Total	263720148 .6	50				

Anexo N°18: Análisis de varianza (ANOVA) a las tres repeticiones de metales pesados de la raíz del *Juncus arcticus* Willd.

Resumen:

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	11	23980.45	2180.040909	8057831.252
Columna 2	11	18150.36	1650.032727	6583297.856
Columna 3	11	19104.29	1736.753636	7477534.129

Análisis de varianza:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1778086.9 15	2	889043.4576	0.1205 82801	0.8868 3112	1778086.9 15
Dentro de los grupos	221186632 .4	30	7372887.746			22118663 2.4
Total	222964719 .3	32				

Anexo N°19: Análisis de varianza (ANOVA) a las tres repeticiones de metales pesados de la raíz de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf

Resumen:

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	11	7933.55	721.2318182	1513417.153
Columna 2	11	10735.32	975.9381818	2990616.163
Columna 3	11	13127.38	1193.398182	4620825.287

Análisis de varianza:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1228719.2 8	2	614359.6401	0.2019 84381	0.8182 0976	1228719.2 8
Dentro de los grupos	91248586. 04	30	3041619.535			91248586. 04
Total	92477305. 32	32				

Anexo N°20: Análisis de varianza (ANOVA) a las tres repeticiones de metales pesados de la parte aérea del *Juncus arcticus* Willd.

Resumen:

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	11	9449.178	859.0161818	2225993.441
Columna 2	11	18461.686	1678.335091	5941608.235
Columna 3	11	8363.538	760.3216364	1126787.855

Análisis de varianza:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	5587166.9	2	2793583.45	0.9016 99926	0.4165 96463	5587166.9
Dentro de los grupos	92943895. 31	30	3098129.844			92943895. 31
Total	98531062. 21	32				

Anexo N°21: Análisis de varianza (ANOVA) a las tres repeticiones de metales pesados de la parte aérea de la *Cortaderia rudiusscula* Stapf

Resumen:

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Columna 1	11	16657.757	1514.341545	6597412.031
Columna 2	11	7440.974	676.4521818	1185901.825
Columna 3	11	9751.441	886.4946364	3048916.79

Análisis de varianza:

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4181349.9 19	2	2090674.959	0.5790 15079	0.5665 90021	3.3158295 01
Dentro de los grupos	108322306 .5	30	3610743.549			
Total	112503656 .4	32				

Anexo N°22: Fotografías de trabajo de campo



Fotografía A1: Georeferenciando los puntos de muestreo



Fotografía A2: Muestreo de suelo



Fotografía A3: Muestreo del *Juncus articus* Willd.



Fotografía A4: Muestreo de la *Cortaderia rudiuscula* Stapf



Fotografía A5: Análisis de digestión de las muestras de suelo planta



Fotografía A6: Análisis de digestión de las muestras de