

**UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO**

FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**EVALUACIÓN DE LA FITOEXTRACCIÓN DE METALES
PESADOS A TRAVÉS DEL *Dactylis glomerata* Y *Trifolium
pratense* DE SUELOS ALEDAÑOS AL PASIVO AMBIENTAL
MINERO SANTO TORIBIO, INDEPENDENCIA - ANCASH, 2019**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

Tesista: Br. **SANDRA SUSANA FLORES ROMERO**

Asesor: Ing. **FRANCISCO CLAUDIO LEÓN HUERTA**

Huaraz - Ancash - Perú

2022





"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de la tesis "**EVALUACIÓN DE LA FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS A TRAVÉS DEL *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* DE SUELOS ALEDAÑOS AL PASIVO AMBIENTAL MINERO SANTO TORIBIO, INDEPENDENCIA - ANCASH, 2019**", que presenta **FLORES ROMERO SANDRA SUSANA** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de: Diecisiete 17

En consecuencia, **FLORES ROMERO SANDRA SUSANA** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° y 4ta disposición complementaria del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 20 de octubre de 2022

Dr. **HERACLIO FERNANDO CASTILLO PICON**
Presidente
Jurado de sustentación

MSc. **YRMA SOLEDAD MINAYA SALINAS**
Primer miembro
Jurado de sustentación

Dra. **CARMEN DEL ROSARIO TAMARIZ ANGELES**
Segundo miembro
Jurado de sustentación

Ing. **FRANCISCO CLAUDIO LEON HUERTA**
Asesor del tesista

DEDICATORIA

A Dios, por su bendición infinita de todos los días de mi vida, el que me acompaña y me levanta de mis continuos tropiezos mostrándome y brindándome sabiduría para continuar por el sendero correcto de la vida.

A mis padres: Javier Flores Lujerio y Marisol Romero Sánchez por su esfuerzo y lucha diaria para brindarme los recursos y valores necesarios para ser una persona de bien, por todos sus consejos, por el apoyo incondicional, por ser mi inspiración constante de superación y mi fortaleza en momentos difíciles.

A mis hermanos Rosmery Flores y Anthony Flores por ser mi ejemplo de constancia y dedicación diaria.

Sandra Susana Flores Romero

AGRADECIMIENTOS

Agradecer a Dios por guiar mis pasos y no abandonarme en ningún momento. Gracias Dios por darme la tranquilidad necesaria para enfrentar las dificultades que me aparecen en la vida. Gracias, Dios, por brindarme buena salud a mí y a mi familia.

Agradecer a la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, por los conocimientos brindados durante mi formación profesional.

Al Laboratorio de Calidad Ambiental-FCAM-UNASAM, dependencia que a través de sus profesionales me brindaron su apoyo y proporcionaron información, materiales y asesoramiento para la realización de todos los análisis de la tesis.

A mi asesor, Ing. Francisco Claudio León Huerta por su gran aporte y asesoría para el desarrollo de la presente investigación.

RESUMEN

En la presente investigación se ha evaluado la fitoextracción de metales pesados a través del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* de suelos aledaños al pasivo ambiental minero Santo Toribio, Independencia – Ancash, en base a la evidente degradación del suelo agrícola y escasa vegetación en esta área, como consecuencia del transporte y lixiviación de sulfuros metálicos. Por lo antes mencionado, la importancia de esta investigación incide en evaluar especies vegetales que tengan capacidad de fitoextraer metales pesados presentes en el suelo, y en el futuro aplicarlas para recuperar estas áreas vulneradas.

Se establecieron 2 grupos de tratamientos, cuyas denominaciones fueron: El tratamiento problema, donde se utilizó el suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio, como sustrato para el cultivo de *Trifolium pratense* y *Dactylis glomerata* en maceteros con 3 repeticiones por cada especie vegetal, y el tratamiento control (muestra testigo para el contraste de resultados), donde se utilizó el suelo del sector Wilcahuain como sustrato para el cultivo de *Trifolium pratense* y *Dactylis glomerata* con 1 repetición por cada especie vegetal. Las especies cultivadas fueron cosechadas a los 4 meses de desarrollo para luego ser transportadas al laboratorio de calidad ambiental de la UNASAM y proceder con los análisis fisicoquímicos y concentración de metales pesados.

Los resultados de la investigación determinaron que el *Trifolium pratense* y *Dactylis glomerata* cultivados sobre suelo problema presentaron síntomas de enanismo, marchitamiento y coloración amarillenta-morada en las hojas y hasta la muerte vegetal de algunas plántulas de *Trifolium pratense* comparado a lo cultivado en el suelo control; sin embargo, se evidenció la reducción de la concentración de los 5 metales pesados estudiados presentes en el suelo extraído aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio tras el tratamiento con las especies vegetales; en el cual, el *Dactylis glomerata* demostró potencial para fitoextraer As y potencial para fitoestabilizar Cu, Fe, Pb y Zn mientras que el *Trifolium pratense* demostró potencial para fitoextraer As, Pb y Zn y potencial para fitoestabilizar Cu y Fe.

Palabras clave: Fitoextracción, metales pesados, suelo aledaño, pasivo ambiental minero, *Trifolium pratense*, *Dactylis glomerata*.

ABSTRACT

In the present investigation, the phytoextraction of heavy metals has been evaluated through *Dactylis glomerata* and *Trifolium pratense* from soils surrounding the Santo Toribio mining environmental liability, Independencia - Ancash, based on the evident degradation of agricultural land and scarce vegetation in this area. as a consequence of the transport and leaching of metallic sulphides. Due to the aforementioned, the importance of this research is to evaluate plant species that have the ability to phytoextract heavy metals present in the soil, and in the future apply them to recover these damaged areas.

As a research methodology, 2 groups of treatments were established, whose names were: The problem treatment, where the soil adjacent to the Santo Toribio mining environmental liability was used as a substrate for the cultivation of *Trifolium pratense* and *Dactylis glomerata* in flowerpots with 3 repetitions for each plant species, and the control treatment (control sample for the contrast of results), where the soil of the Wilcahuain sector was used as a substrate for the cultivation of *Trifolium pratense* and *Dactylis glomerata* with 1 repetition for each plant species; the cultivated species were harvested after 4 months of development and then transported to the UNASAM environmental quality laboratory.

The results of the investigation determined that *Trifolium pratense* and *Dactylis glomerata* cultivated on problem soil presented symptoms of dwarfism, wilting and yellowish-purple coloration in the leaves and even plant death of some *Trifolium pratense* seedlings, compared to what was cultivated in the soil. control, however, there was evidence of a reduction in the concentration of the 5 studied metals present in the extracted soil near the Santo Toribio mining environmental liability after treatment with the plant species; in which, *Dactylis glomerata* showed potential to phytoextract As and potential to phytostabilize Cu, Fe, Pb and Zn Meanwhile he *Trifolium pratense* showed potential to phytoextract As, Pb and Zn and potential to phytostabilize Cu and Fe.

Keywords: Phytoextraction, heavy metals, surrounding soil, mining environmental liability, *Trifolium pratense*, *Dactylis glomerata*.

INDICE

CONTENIDO	PÁG.
FORMATO DE AUTORIZACIÓN DEL REPOSITORIO.....	ii
ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
RELACIÓN DE TABLAS.....	xi
RELACIÓN DE FIGURAS.....	xiv
ABREVIATURAS Y SIGLAS INSTITUCIONALES.....	xvii
CAPITULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Hipótesis.....	3
1.3 Variables.....	3
1.4 Descripción del ámbito de investigación	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.2 Bases teóricas	11
2.1.1 Consecuencia de los pasivos ambientales mineros	11
2.1.2 El suelo.....	11
2.1.3 Metales pesados y contaminación del suelo.....	13
2.1.4 Fitoextracción	16
2.1.5 Especies fitoextractoras de metales pesados	20
2.1.6 Estándar de calidad ambiental para suelo – ECAs	23
2.3 Definición de términos	24
CAPITULO III.....	27
MARCO METODOLÓGICO	27
3.1 Tipo de investigación	27
3.2 Diseño de investigación.....	27
3.3 Métodos e instrumentos validados de recolección de datos	30
3.4 Población y muestra	39
3.5 Análisis estadístico de la información	41

CAPITULO IV	42
RESULTADOS	42
CAPITULO V	62
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62
CAPITULO VI	73
CONCLUSIONES	73
RECOMENDACIONES	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76
ANEXOS.....	81



RELACIÓN DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	3
Tabla 2: Principales contaminantes de suelo.	13
Tabla 3: Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	18
Tabla 4: Valores máximos de concentración de metales para suelo agrícola. .	24
Tabla 5: Descripción de puntos de muestreo de suelos preliminares.	31
Tabla 6: Métodos para determinar los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo.....	32
Tabla 7: Métodos para el análisis de metales totales.	32
Tabla 8: Clasificación del suelo de acuerdo al valor de pH.....	38
Tabla 9: Grado de intemperismo de acuerdo al valor de CIC.....	38
Tabla10: Grado de Materia orgánica en el suelo (%).....	39
Tabla 11. Codificación de las muestras de la parte aérea.....	40
Tabla 12. Codificación de las muestras de la raíz.	40
Tabla 13: Codificación de las muestras de sustrato.....	41
Tabla 14. Concentración inicial de metales pesados en el suelo.....	42
Tabla 15: Factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados en el grupo problema.....	61
Tabla 16: Formato de campo con el registro de crecimiento del <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium</i> durante 16 semanas.	88
Tabla 17: Formato de campo para el registro de la longitud y biomasa del tejido vegetal del <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i> en el proceso final del tratamiento (Cosecha-Semana 16).....	90
Tabla 18: Prueba de germinación de <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i>	119
Tabla 19: Altura de las especies vegetales en los diferentes tipos de tratamientos en las últimas semanas (cm).....	119
Tabla 20: Longitud de la raíz de las especies vegetales estudiadas (cm).	119
Tabla 21: Biomasa fresca de las especies vegetales (gr).....	120
Tabla 22: Biomasa seca de las especies vegetales.....	120
Tabla 23: pH del suelo.....	120
Tabla 24: Contenido de materia orgánica en el suelo (%).	121
Tabla 25: Concentración de arsénico total en suelo (mg/Kg).....	121

Tabla 26: Concentración de cobre total en suelo (mg/Kg).	121
Tabla 27: Concentración de hierro total en suelo (mg/Kg).	122
Tabla 28: Concentración de plomo total en suelo (mg/Kg).	122
Tabla 29: Concentración de zinc total en suelo (mg/Kg).	122
Tabla 30: Concentración de arsénico en el tejido vegetal de <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i>	123
Tabla 31: Concentración de cobre en el tejido vegetal de <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i>	123
Tabla 32: Concentración de hierro en el tejido vegetal de <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i>	123
Tabla 33: Concentración de plomo en el tejido vegetal de <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i>	124
Tabla 34: Concentración de zinc en el tejido vegetal del <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i>	124
Tabla 35: Análisis de varianza de la altura de las especies vegetales.	126
Tabla 36: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la altura de las especies vegetales.	126
Tabla 37: Subconjuntos homogéneos para la altura de las especies vegetales.	127
Tabla 38: Análisis de varianza de longitud de raíz de las especies vegetales.	127
Tabla 39: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la longitud de raíz de las especies vegetales.	128
Tabla 40: Subconjuntos homogéneos para la longitud de la raíz de las especies vegetales.	128
Tabla 41: Análisis estadístico de grupos - Biomasa seca de las especies vegetales en el grupo problema.	129
Tabla 42: Prueba T para la igualdad de medias-Biomasa seca.	129
Tabla 43: Análisis estadístico de grupos- pH del suelo problema después del tratamiento.	129
Tabla 44: Prueba T para la igualdad de medias-pH.	130
Tabla 45: Análisis estadístico de grupos- Materia orgánica del suelo problema después del tratamiento.	130
Tabla 46: Prueba T para la igualdad de medias-Materia orgánica.	130
Tabla 47: Análisis estadístico de grupos-Capacidad de intercambio catiónico del suelo problema después del tratamiento.	131

Tabla 48: Prueba T para la Capacidad de intercambio catiónico.....	131
Tabla 49: Análisis estadístico de grupos-Arsénico en el suelo problema después del tratamiento.	131
Tabla 50: Prueba T para la igualdad de medias-Arsénico.	132
Tabla 51: Análisis estadístico de grupos-Cobre en el suelo problema después del tratamiento.	132
Tabla 52: Prueba T para la igualdad de medias-Cobre.....	132
Tabla 53: Análisis estadístico de grupos-Hierro en el suelo problema después del tratamiento.	133
Tabla 54: Prueba T para la igualdad de medias-Hierro.....	133
Tabla 55: Análisis estadístico de grupos-Plomo en el suelo problema después del tratamiento.	133
Tabla 56: Prueba T para la igualdad de medias-Plomo.....	134
Tabla 57: Análisis estadístico de grupos-Zinc en el suelo problema después del tratamiento.....	134
Tabla 58: Prueba T para la igualdad de medias-Zinc.	134
Tabla 59: Análisis de varianza de la concentración de arsénico en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.....	135
Tabla 60: Análisis de varianza de la concentración de cobre en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.....	135
Tabla 61: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la concentración de cobre en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.	135
Tabla 62: Subconjuntos homogéneos para la concentración de cobre total en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.	136
Tabla 63: Análisis de varianza de la concentración de hierro en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.....	137
Tabla 64: Análisis de varianza de la concentración de plomo en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.....	137
Tabla 65: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la concentración de plomo en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.	137
Tabla 66: Subconjuntos homogéneos para la concentración de plomo total en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.	138
Tabla 67: Análisis de varianza de la concentración de zinc en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema.	138

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura 1: Vista del pasivo: En A y D se muestra la presencia de drenaje ácido de mina, mientras que, en B, C y E se observa las canchas de relaves mineros, producto de la antigua actividad minera de la empresa Santo Toribio S.A.	4
Figura 2: Proceso general de fitoextracción	17
Figura 3: Esquema de investigación.....	29
Figura 4: Esquema de distribución de maceteros del grupo problema.....	33
Figura 5: Distribución de maceteros del grupo control.....	34
Figura 6. Poder germinativo de semillas de <i>Dactylis glomerata</i> vs <i>Trifolium pratense</i>	43
Figura 7. Altura de la especie vegetal <i>Dactylis glomerata</i> cultivada sobre suelo control y suelo problema.	44
Figura 8: Altura de la especie vegetal <i>Trifolium pratense</i> cultivada sobre suelo control y suelo problema.	45
Figura 9: Altura final de las especies vegetales alcanzado en la semana 16. Los valores son promedios de las 3 últimas semanas de evaluación. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).	45
Figura 10: Longitud de la raíz del <i>Trifolium pratense</i> y <i>Dactylis glomerata</i> alcanzada en la semana 16. Los valores son promedios de las 3 últimas semanas de evaluación. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).	46
Figura 11: Comparación de biomasa seca de las especies <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i> cultivadas en suelo problema y suelo control. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).....	47
Figura 12: Comparación de pH en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i> . Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).....	48
Figura 13: Comparación de concentración de materia orgánica en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i> . Los valores del grupo problema son	

promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$)..... 49

Figura 14: Comparación de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$)..... 50

Figura 15: Comparación de la concentración de arsénico en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$). 51

Figura 16: Comparación de la concentración de cobre en el suelo problema. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$)..... 52

Figura 17: Comparación de la concentración de hierro en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$)..... 53

Figura 18. Comparación de la concentración de plomo en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$)..... 54

Figura 19. Comparación de la concentración de zinc en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$)..... 55

Figura 20: Comparación de la concentración de arsénico en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre el suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$)..... 56

Figura 21: Comparación de la concentración de cobre en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$)..... 57

Figura 22: Comparación de la concentración de hierro en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).....	58
Figura 23: Comparación de la concentración de plomo en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).....	59
Figura 24: Comparación de la concentración de zinc en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).....	60
Figura 25: Ubicación del pasivo Ambiental Minero Santo Toribio, Independencia-Huaraz-Áncash-Perú.	83
Figura 26: Mapa de ubicación del punto de muestreo del suelo problema – aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio.....	84
Figura 27: Punto de muestreo del suelo control – Sector Wilcahuain.....	85
Figura 28: Mapa de ubicación del área acondicionada para la siembra de las especies vegetales.....	86

ABREVIATURAS Y SIGLAS INSTITUCIONALES

Abreviaturas:

As	: Arsénico.
BCF	: Factor de bioconcentración.
CIC	: Capacidad de intercambio catiónico.
Cu	: Cobre.
ECA	: Estándares de Calidad Ambiental.
Fe	: Hierro.
FT	: Factor de traslocación.
MO	: Materia orgánica.
MS-01	: Muestra de suelo aledaño al pasivo minero Santo Toribio.
MS-O2I	: Muestra de suelo del sector Wilcahuain.
Pb	: Plomo.
pH	: Potencial de hidrógeno.
Zn	: Zinc.

Siglas Institucionales:

CEQGs	: Norma canadiense de Calidad Ambiental.
NOM	: Norma oficial mexicana
MINAM	: Ministerio del ambiente.
MINEM	: Ministerio de energía y minas.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo provocada por actividades antropogénicas es un tema de preocupación en todo el mundo, ya que es considerada una de las más grandes amenazas para los ecosistemas y el hombre. “La presencia de sustancias tóxicas en el suelo provocan la alteración del proceso productivo y del ciclo de nutrientes e influyen en su acidificación” (Rodríguez, McLaughlin y Pennock, 2019).

Entre las diversas actividades que causan la contaminación del suelo, la industria minera es una de las más importantes, ya que en los procesos de extracción y procesamiento de minerales generan grandes cantidades de desechos tóxicos que muchas veces son almacenados en áreas aledañas a los centros de operación, sin las medidas de gestión necesarias (Volke & Velazco, 2002).

Esta disposición de desechos genera serios daños ambientales, afectando a los ecosistemas y terrenos agrícolas de comunidades, causando a su vez problemas de contaminación de fuentes de agua subterráneas y superficiales por procesos de erosión e infiltración. “Los metales son los contaminantes relacionados con la actividad mineras entre ellos encontramos al As, Se, Pb, Cd y óxidos de S entre otros” (Volke, Velazco, et al., 2005). Estos compuestos son muy peligrosos para los seres vivos ya que no pueden ser degradados por microorganismos, asimismo, estos pueden acumularse y biomagnificarse en la cadena trófica. “Cabe

resaltar que los metales pesados son muy tóxicos incluso a concentraciones muy bajas” (Wuana & Okieimen, 2011).

Frente a esta problemática se ha venido desarrollando varias técnicas de tratamiento de suelos, entre ellas la fitoextracción, conocida también como fitoacumulación, la cual consiste en la absorción de metales pesados a través de las raíces de las plantas y su transporte hacia la parte aérea (hojas y tallos) eliminando los contaminantes del suelo mediante la cosecha (Diez, 2008).

“Si bien, la fitoextracción es una técnica que tiene limitaciones relacionadas al tiempo de tratamiento, se presenta como una opción menos costosa y con menor impacto al ambiente” (Diez, 2008). Por lo tanto, es importante ampliar el conocimiento de las especies vegetales que podrían ser utilizadas en un proceso de biorremediación de suelos; para ello, se debe evaluar su capacidad de acumular metales pesados en sus tejidos radicales y aéreos, así como su influencia en la mejora de las características fisicoquímicas del suelo. Es por ello, que el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la capacidad de fitoextracción de metales pesados a través del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* de suelos aledaños al pasivo ambiental minero Santo Toribio. Esta información es importante para ampliar la información de plantas que podrían utilizarse en un proceso de biorremediación de suelos contaminados por metales pesados en nuestra región.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la fitoextracción de metales pesados a través del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* en suelos aledaños al pasivo ambiental minero Santo Toribio.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros químicos y fisicoquímicos de suelos aledaños al pasivo ambiental minero Santo Toribio antes del tratamiento.

- Comparar las características biométricas de las especies *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*, durante su proceso de desarrollo en el suelo problema y control.
- Determinar la concentración de metales pesados en el tejido vegetal del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* al finalizar el tratamiento (partes aérea y raíz).
- Determinar el factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados para el *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

1.2 Hipótesis

Las especies de plantas *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* tienen capacidad para la fitoextracción de metales pesados en suelos aledaños al pasivo ambiental minero Santo Toribio.

1.3 Variables

Para el desarrollo de la investigación se ha operacionalizado las siguientes variables:

Tabla 1. Operacionalización de variables.

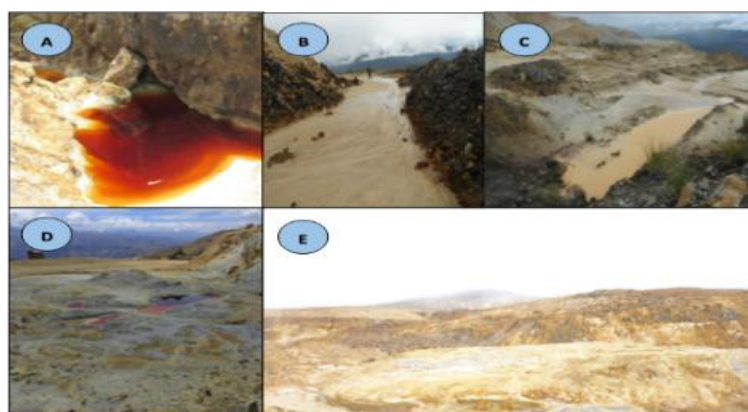
TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	INDICADOR	METODO	UNIDADES	
INDEPENDIENTE	Tipo de especies vegetales	<i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i>	Revisión bibliográfica	Adimensional.	
		Factor de bioconcentración	$\text{BCF Raíz} = \frac{[\text{Metal}] \text{ raíz}}{[\text{Metal}] \text{ suelo}}$ $\text{BCF Aérea} = \frac{[\text{Metal}] \text{ aérea}}{[\text{Metal}] \text{ suelo}}$	Adimensional.	
DEPENDIENTE	Fitoextracción de metales pesados	Factor de traslocación	$TF = \frac{[\text{Metal}] \text{ aérea}}{[\text{Metal}] \text{ raíz}}$	Adimensional.	
		Altura	Medición directa	cm.	
		Características biométricas de plantas	Longitud de la raíz.	Medición directa	cm.
			Biomasa.	Medición directa	gr.
		Coloración de hojas.	Observación	Adimensional.	
		Reducción de metales en el	Concentración de As, Cu, Pb, Zn, Fe	Plata – DDTC, Cuprizona,	mg/kg

suelo y mejora de propiedades fisicoquímicas		Triazina, PAR y CI-PAN.	
	pH, Materia orgánica, Capacidad de intercambio catiónico	NOM21 – AS - 02, NOM21 – AS – 07, Volumetría.	Unid. pH, %, Meg/100gr

1.4 Descripción del ámbito de investigación

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de contribuir la mejora de tecnológicas para recuperar suelos contaminados por metales pesados a causa de la influencia directa del pasivo ambiental minero Santo Toribio, el cual, se encuentra ubicado en el distrito de independencia, provincia de Huaraz, región Ancash a una altitud de 4000 m. s. n. m.; latitud: 9°28'45.64"S y longitud: 77°34'53.11"O (Mapa 1). “Forma parte de la cuenca del Santa, a unos 15 km por carretera de la ciudad de Huaraz y a unos 4 km al sur de la mina Pierina” (Valdivia & Ramírez, 2018).

Valdivia y Ramírez (2018), afirman que el pasivo ambiental minero Santo Toribio se caracteriza por la presencia de material de desbroce, relaves mineros y drenajes ácidos de mina; en el cual se encuentran presentes metales pesados tales como: hierro (Fe), cobre (Cu), zinc (Zn) y plomo (Pb) productos de las actividades de explotación realizada por la compañía minera Santo Toribio S.A, por ser una mina polimetálica.



Fuente: Valdivia y Ramírez (2018)

Figura 1: Vista del pasivo: En A y D se muestra la presencia de drenaje ácido de mina, mientras que, en B, C y E se observa las canchas de relaves mineros, producto de la antigua actividad minera de la empresa Santo Toribio S.A.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La contaminación de suelos por metales pesados provenientes de los relaves mineros es, en la actualidad una de las principales preocupaciones ambientales que afecta el desarrollo de las comunidades, generando en su gran mayoría la pérdida y degradación de áreas de suelo agrícola. Es así como se plantean diferentes medidas de corrección con la finalidad de recuperar áreas inertes aplicando técnicas naturales de fitorremediación. A continuación, se describen trabajos de investigación que han evaluado diferentes especies de plantas con capacidad de fitoextraer metales pesados del suelo.

En una investigación llevada a cabo en el pasivo ambiental minero Aurora Patricia en el distrito La Encañada - centro poblado de Polloc, Cajamarca, Izquierdo y López (2020) determinaron lo siguiente:

La capacidad fitoextractora de 13 metales pesados en las especies herbáceas con mayor índice de valor de importancia que crecen en el lugar, para ello aplicaron el método del metro cuadrado, donde identificaron identificó 42 especies herbáceas en 10 parcelas, de las cuales escogieron 3 de ellas; *Equisetum bogotense*, *Muehlenbeckia tamnifolia* y *Carex mandoniana*, analizaron la concentración de metales pesados tanto del suelo contaminado y no contaminado, al igual que en las especies herbáceas a fin de compararlas. El estudio concluyó que el factor de bioconcentración (BCF), en el caso del cociente de las especies herbáceas y el suelo del pasivo ambiental, fueron

menores a 1 tanto para el BCFraíz y BCFAérea en todas las especies, catalogándolas como excluyentes. En el caso del Factor de Traslocación, la especie *Equisetum bogotense* trasladó eficazmente metales como Ba, Hg, Mn y Zn, por lo que se clasificó como hiperacumuladora de estos metales en la parte aérea, no obstante los otros 9 metales resultaron menor a 1, por lo que fue catalogada como fitoestabilizadora para Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Ni, Pb; la especie *Carex mandoniana* fue hiperacumuladora de Mg, Mn y Zn y fitoestabilizadora para Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb; la especie *Muehlenbeckia tamnifolia* fue hiperacumuladora de Al, Ba, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mg, Pb, Zn y los demás metales como As, Cd y Ni no fueron acumulados, esto quiere decir que hubo más metales en la parte aérea que en la raíz.

Vilcapoma (2019) en su investigación realizada en el Valle del Mantaro, planteó como diseño de investigación la siembra de lechuga (*Lactuca sativa* var. *White Boston*) a través de almácigos, en 3 áreas de terreno denominados A, B y C con tres repeticiones cada uno y con una extensión de terreno 125 m² respectivamente.

Pasado 5 meses evaluó las concentraciones de metales pesados en las plantas y en el suelo (antes y después de la siembra) llegando a las siguientes conclusiones: evidenció diferentes niveles de concentración de metales en las raíces, tallos y hojas de la planta. Observó mayor acumulación de todos los metales en raíces tanto en el lote A, B y C; probablemente debido a ser un órgano especializado en la absorción y ser el primero en estar expuesto a la sustancia contaminante. En los lotes A, B y C el Cd y Pb tuvieron valores mayores a 1; lo que indica que la especie *Lactuca sativa* va. *White Boston*, es una especie acumuladora capaz de tolerar altas concentraciones de estos metales. Sin embargo, debido a los pocos meses de evaluación de las plantas experimentales y comparando sus tasas de traslocación; es esperable que las tasas de traslocación aumentaran si los experimentos se hubieran prolongado por más tiempo (Vilcapoma, 2019).

En estudio realizado por Benigno (2018), teniendo por objetivo evaluar la capacidad fitoextractora de Zn y Pb por *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*; en el relave minero de la planta concentradora de minerales “Santa Rosa de Jangas”, encontró lo siguiente:

Habiendo sembrado para ello semillas de las especies indicadas en proporciones de sustrato 100% de relave, 25% de relave, 50% de relave, 75% de relave y 100% de tierra agrícola, en un tiempo de evaluación de 5 meses, donde tras la cosecha obtuvo los siguientes datos de biomasa, longitud de la parte aérea y radicular de las especies vegetales. Así mismo, determinó las concentraciones en materia seca de Zn y Pb tanto en la parte aérea y en la raíz a través de espectrofotometría de absorción atómica. El estudio llegó a las siguientes conclusiones: la capacidad de fitoextracción de *Chenopodium ambrosioides* fue baja, con valores menores a uno para el factor de bioconcentración y traslocación. *Trifolium repens* presentó alta capacidad fitoextractora para los tratamientos 25% y 75% de proporción de relave, con valores mayores a uno para los factores de bioconcentración y traslocación, sin embargo, la biomasa en tales tratamientos fue relativamente baja. El *Trifolium repens* extrajo mayores concentraciones de plomo que *Chenopodium ambrosioides*, con diferencias significativas, con un promedio de 592.51 y 549.79 mg/kg para la parte aérea y raíz respectivamente. La absorción de Zn en *Trifolium repens* fue significativamente mayor en la parte aérea en cuanto al *Chenopodium ambrosioides* con un promedio de 322 mg/kg; sin embargo, en la raíz la diferencia no fue significativa estadísticamente. Los factores de bioconcentración y traslocación para *Chenopodium ambrosioides*, con respecto al Zn y Pb, clasificaron a esta especie como excluyente con valores menores a uno, pudiendo utilizarse para la fitoestabilización. Para el *Trifolium repens* respecto al plomo, los factores de bioconcentración y traslocación fueron mayores a 1 clasificándola como acumuladora (Benigno, 2018).

En el estudio llevado a cabo por Dávila y Walter (2017), en zonas de los pasivos mineros el Sinchao, ubicado en el distrito de Chugur, provincia de Hualgayoc, para determinar las especies de flora herbácea con mayor capacidad fitorremediadora encontraron lo siguiente:

Identificaron 63 especies con mayor capacidad fitorremediadora, de las cuales seleccionó al *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis* y *Lachemilla orbiculata* por su mayor valor de importancia. Luego se calcularon los factores de bioconcentración (BCF) y traslocación (TF) de metales

pesados con el propósito de seleccionar la técnica más adecuada de fitorremediación ya sea como fitoextractoras o fitoestabilizadoras. Los resultados señalaron que la especie *Calamagrostis tarmensis*, *Paspalum bonplandianum*, *Carex pichinchensis*, *Lachemilla orbiculata* y el *Juncus conglomeratus* serían especies fitoextractoras de Mg y Mn; sin embargo, la especie *Lachemilla orbiculata* también sería fitoextractora del Sr y el Zn. Por otro lado, las siguientes especies podrían aplicarse para técnicas de fitoestabilización: *Calamagrostis tarmensis* (Ti), *Paspalum bonplandianum* (Sb, Zn y Cr), *Carex pichinchensis* (Zn), *Lachemilla orbiculata* (Cd y Mn) y *Juncus conglomeratus* (Cd, Cr y Zn). Finalmente, en el estudio se recomienda aplicar la especie *Paspalum bonplandianum* para procesos de fitorremediación, ya que acumula la mayor cantidad de metales pesados como Al, Hg, Sb, Sn, Zn, Cr y Ni (Dávila y Walter (2017).

Torres (2018), estudió a las especies *Stipa ichu* (Ruíz y Pav.) Kunth, *Pennisetum clandestinum* Hochst ex Chiov y *Medicago lupulina* L., con la finalidad de determinar el factor de bioconcentración y traslocación de estas especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados (Pb, Cd, Ni, Zn, y Cu) provenientes de la planta concentradora de Mesapata, en condiciones de invernadero, 2015 - 2016.

Para ello estableció tres grupos de tratamientos distintos para cada una de las especies ensayadas cuya denominación fueron: Testigo (Control 10 meses); sustrato más la solución de metales pesados y suelo proveniente de la concentradora polimetálica de Mesapata; por cada tratamiento estableció tres repeticiones. Determinó las concentraciones totales de Pb, Cd, Ni, Zn, y Cu en la parte aérea y raíces de las especies vegetales altoandinas; y de los suelos donde se desarrollaron las plantas. El estudio determinó el factor de bioconcentración y traslocación en el grupo T1 (sustrato más la adición de metales pesados); en el cual, el *Stipa ichu* (Ruíz y Pav.) Kunth bioconcentró (1.07) y translocó (0.1), categorizándose como una planta fitoestabilizadora Zn; además el *Medicago lupulina* L. bioconcentró (3.42) y translocó (0.55) Cd; bioconcentró (2.09) y translocó (0.21) Ni; bioconcentró (3.04) y translocó (0.8) Zn; por lo que indica que es una planta fitoestabilizadora., del mismo modo, determinó que *Stipa ichu* (Ruíz y Pav.) Kunth, *Pennisetum clandestinum* Hochst

ex Chiov y *Medicago lupulina* L. en el grupo T2 (suelo de mina) presentaron un FBC (1.07,1.62, 2.13) y un FT (1.15,1.66,1.18) respectivamente, categorizando a las tres especies altoandinas como plantas fitoextractoras para suelos contaminados con metal Zn, a pesar de tener un menor rendimiento de biomasa total (Torres (2018)).

Falcon (2017), en su tesis desarrollada en la Estación Experimental el Mantaro - Junín” en el año 2016, tuvo como objetivo general, aplicar la tecnología de fitoextracción en suelos contaminados por metales pesados, encontrando lo siguiente:

Utilizó la especie *Zea mays* L. (Maíz) en 3 lotes de terreno denominados A, B y C de 125 m² cada uno, por un periodo de 7 meses; después de la cosecha caracterizó el suelo, evaluando sus propiedades fisicoquímicas y determinando las concentración de metales pesados (Sb, As, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn, Pb, y Zn) en las muestras secas de la planta, tanto en la parte aérea y raíz, en la que declaró al maíz como planta excluyente de metales pesados con la excepción de sus semillas por tener el Factor de bioconcentración menor que uno. Así mismo, concluye que el Factor de traslocación-Ft, para el lote A y B, resultó mayor que 1 para el Mn y Zn; ello significa que dichos metales se trasladaron eficazmente hacia las hojas, tallos, y flores, mientras que en el lote C, el Cu, Mn y Zn alcanzaron valores mayores que uno, por lo que se trasladaron hacia la parte aérea de la planta (Falcon (2017)).

En la tesis desarrollada por Leon (2017), la el cual tuvo por objetivo evaluar el potencial fitorremediador de 4 especies altoandinas (*Achyrocline alata* (Kunth) DC, *Werneria nubigena* Kunth, *Juncus arcticus* Willd y *Hieracium* sp.) para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC en condiciones de invernadero, pudo establecer algunos resultados a tener en cuenta:

Trabajó en 2 etapas: la etapa de propagación (5 meses) y tratamiento (4 meses). La etapa de propagación consistió en la implementación de un invernadero, selección y herborización de las especies de trabajo, recolección de propágulos, pruebas de germinación, y reproducción vegetativa y

reproductiva. La etapa de tratamiento consistió en determinar la capacidad de acumulación de metales pesados de 3 especies altoandinas con mayor capacidad de propagación expuestas a suelos contaminados con metales pesados, las cuales incluyeron actividades como el análisis químico de las muestras, el cálculo del Factor de Traslocación (TF) y el Factor de Bioconcentración (BCF). Del análisis de resultados concluyó que las especies altoandinas *Achyrocline alata* (Kunth) DC., *Werneria nubigena* Kunth y *Juncus arcticus* Willd. evaluadas en condiciones de invernadero, presentaron alto potencial fitorremediador debido a su alta tasa de propagación (semillas y vegetativos), así como su capacidad de acumular metales pesados. La capacidad de acumulación de metales pesados en condiciones de invernadero fue de la siguiente manera: *Achyrocline alata* (Kunth) DC. presentó la mayor acumulación Pb (4808.08 mg/kg) en la raíz, de manera similar *Werneria nubigena* Kunth acumuló significativamente Pb (1159.98 mg/kg) y Zn (990.3 mg/kg) en la raíz y la parte aérea respectivamente, y *Juncus arcticus* Willd. acumuló de manera significativa Zn (720.50 mg/kg) en la raíz. La capacidad de acumulación de metales pesados en condiciones de invernadero para el suelo de mina la presentó de la siguiente manera: *Achyrocline alata* (Kunth) DC. presentó la mayor acumulación de Zn con valores de 2068.90 mg/kg y 1032.40 mg/kg en la raíz y la parte aérea 50 respectivamente, de manera similar *Werneria nubigena* Kunth acumuló significativamente Zn (1441.50 mg/kg) en la raíz, y *Juncus arcticus* Willd. acumuló de manera significativa Pb (1113.79 mg/kg) y Cu (559.90 mg/kg) en la raíz.

Ríos (2017), comparó las eficiencias fitorremediadoras de las especies *Lolium perenne*, *Pelargonium hortorum* y *Fuertesimalva echinata* en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, para lo cual instalaron 12 macetas con 3 kg de sustrato en cada una (9 macetas para el grupo experimental y 3 macetas para el grupo control) concluye lo siguiente:

La eficiencia promedio de retención de plomo en el suelo de la especie Rye Grass (*Lolium perenne*) fue de 75%, Geranio (*Pelargonium hortorum*) de 69% y Malva (*Fuertesimalva echinata*) de 68%, siendo la especie más eficiente el Rye Grass. Las mayores de concentraciones del plomo absorbido y adsorbido

por el Rye Grass fueron evidenciados en la repetición N° 3, llegando a concentraciones de 613,28 ppm en sus tejidos aéreos y radiculares (Ríos, 2017).

2.2 Bases teóricas

2.1.1 Consecuencia de los pasivos ambientales mineros

A lo largo de la historia producto de los procesos de exploración y explotación de minerales a cargo de empresas que no se han responsabilizado por la protección del ambiente, se han dejado en abandono montículos de residuos mineros denominados pasivos ambientales, que a la fecha causan grandes daños significativos al agua, al suelo y demás recursos naturales en el entorno de los mismos (Loayza, 2015). “Los pasivos ambientales mineros conforman un riesgo latente para la salud de las personas y el ambiente. Se definen como aquellos, efluentes, emisiones, montículos de desechos en abandono generados por las actividades mineras” (Congreso de la república, 2004).

Las consecuencias ambientales más frecuentes ocasionadas por los pasivos ambientales mineros son: la alteración de áreas paisajísticas, presencia de residuos minerales en abandono, erosión y pérdida de la cobertura vegetal, contaminación del agua, aire y suelo; todo ello generado por los procesos de lixiviación de metales pesados, el incremento de los sedimentos y los hidrocarburos (Arango y Olaya, 2012)

2.1.2 El suelo

“El suelo se define como un elemento de la naturaleza que varía a través del tiempo y el espacio por las modificaciones lito-climáticas, la escorrentía de agua y por los usos que se le atribuyen; por lo tanto, son heterogéneos e irregulares” (Cotler et al., 2007).

De la Rosa (2008), afirma que el suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre, presentando la interfaz entre las esferas biológica, hidrológica, litológica, y atmosférica que conforman nuestro planeta tierra siendo el sostén de la mayor parte de organismos vivos existentes, puesto que contiene fuentes considerables de agua y aire.

El suelo es un sistema natural, abierto y complejo, que a modo de corteza cubre la superficie de la tierra; asimismo, se constituye como uno de los componentes más importantes de la naturaleza por su variedad de funciones, tales como capacidad de producción de alimentos y fuente de vida numerosas especies de animales y plantas (Jiménez, 2017).

2.1.2.1 Contaminación del suelo

La contaminación del suelo es la presencia y acumulación de sustancias tóxicas ya sean en estado sólido o líquido que dañan la corteza terrestre y alteran el comportamiento de uno o más de sus funciones, generando la contaminación y alteración de en el ambiente natural del suelo (Callaba et al., 2005; Falcon, 2017).

“Asimismo, cuando un suelo contiene niveles elevados de sustancias tóxicas y su poder de resiliencia se ve afectado, entonces nos referimos a un suelo contaminado con potencial a ser degradado y pérdida de cobertura vegetal” (Jiménez, 2017). “La contaminación del suelo fue un tema de poca relevancia hace unas décadas; sin embargo, a consecuencia de las constantes alteraciones e impactos negativos que se han ido ocasionando a lo largo del tiempo, en la actualidad su estudio es de vital importancia” (Jiménez, 2017).

2.1.2.2 Fuentes de contaminación del suelo

“Las fuentes de contaminación del suelo se clasifican en 2 tipos: las fuentes naturales y fuentes antropogénicas. Cuando nos referimos a fuentes naturales de contaminación del suelo, entonces hablamos de procesos naturales de meteorización de minerales, por erupciones volcánicas, por incendios forestales, etc. Por el contrario, la contaminación del suelo por fuentes antropogénicas depende de las actividades operativas y/o industriales que se desarrollen entorno a él y por la adición de agroquímicos en la agricultura” (Rodríguez et al., 2019). En la tabla 2 se presentan los principales contaminantes del suelo.

Tabla 2: Principales contaminantes de suelo.

Contaminantes	Principales causas
Elementos traza (Metales pesados)	Vertidos industriales, vertederos, etc.
Microorganismos Patógenos	Contaminantes biológicos: establecimientos de salud o ganaderos, etc.
Hidrocarburos	Derrames en operaciones de transporte de carga y descarga, fugas de conductos, etc.
Plaguicidas	Utilizadas para destruir combatir o repeler plagas.
Residuos Solidos	Desperdicios arrojados indiscriminadamente en grandes concentraciones urbanas.
Nuclear	Accidentes nucleares considerando agentes altamente contaminantes.

Fuente: Soto (2019)

2.1.3 Metales pesados y contaminación del suelo

Los metales pesados son los elementos presentes en la naturaleza más perseverantes y duraderos.

Estos elementos aparte de afectar a los seres humanos y animales también afectan los recursos de la naturaleza como son el agua, el aire y sobre todo el suelo, base primordial para la producción agrícola. Los metales no se pueden degradar a través del metabolismo, por ende, los organismos vivos alojan estos compuestos en sus tejidos. Dentro de los metales pesados el, Zn, Ni, Co y Cu son relativamente más tóxicos para las plantas y As, Cd, Pb, Cr y Hg son relativamente más tóxicos para los animales superiores (Rodríguez et al., 2019). “En el suelo, normalmente estos compuestos químicos tienden a acumularse, y de acuerdo a las propiedades químicas del suelo se incrementará o reducirá la biodisponibilidad o toxicidad de estas sustancias metálicas” (Jiménez, 2017).

2.1.3.1 Biodisponibilidad y movilidad de los metales pesados en el suelo

“La biodisponibilidad se refiere a las interacciones físicas, químicas, y biológicas que determinan la exposición de los organismos a los químicos asociados a los suelos” (Rodríguez et al., 2019).

Los metales pesados en el suelo pueden quedar atrapados en el mismo o también pueden ser movilizados por las soluciones del suelo, siempre en cuando existan condiciones que la favorezcan.

En un estudio de la movilización de metales pesados realizado por Solano (2005), se menciona que la movilidad de los metales en el suelo, es de gran importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea, y difiere de si su origen es natural o antrópico. En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías, pueden quedar retenidos en el suelo, pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas, pueden pasar a la atmósfera por volatilización o pueden moverse a las aguas superficiales o subterráneas.

La disponibilidad de los metales pesados depende de las condiciones fisicoquímicas del suelo, tales como el pH y el Eh (potencial de oxidación) así como también de las propiedades orgánicas e inorgánicas del suelo que influyen en las propiedades de retención de metales por adsorción, complejación o precipitación fundamentalmente; además de ello, las especies de plantas y microorganismos presentes en el suelo también tienen la capacidad de extraer, estabilizar y bioacumular los metales pesados (Jiménez, 2017; Lago, 2018).

A continuación, se describen cada uno de estos factores.

a) pH: “Es uno de los principales factores que determina la movilidad de los metales pesados presentes en el suelo” (Lago, 2018). “La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido, excepto As,

Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino” (Galán & Romero, 2008).

Del mismo modo Volke et al. (2005) mencionan que generalmente los metales son móviles a pH bajo puesto que se incrementa el número de sitios de adsorción disponibles en la fase sólida, es decir, los metales se encuentran en forma de especies iónicas libres o como órgano-metales solubles fáciles de ser asimilables por las especies vegetales; en pH alcalino se forman carbonatos o fosfatos minerales insolubles.

b) Textura: “La disponibilidad de metales pesados se presenta más en suelos arenosos que en suelos arcillosos puesto que, los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación” (Galán & Romero, 2008).

c) Materia orgánica: para Lago (2018);

El alto contenido y la clase de materia orgánica favorecen el proceso de retención e inmovilización de metales en el suelo por la presencia de un gran número de grupos funcionales (CO_2 , OH , $\text{C}=\text{C}$, COOH , SH , CO_2H) con alta afinidad por los iones metálicos que tienen la capacidad de formar complejos órgano-metálicos. En efecto, cuando mayor es la cantidad de materia orgánica en el suelo, menor será la biodisponibilidad de metales pesados, puesto que las plantas por lo general no absorben grandes complejos órgano metálicos (Alloway, 1995).

d) Capacidad de cambio: “Los metales pesados presentan menor solubilidad y movilidad cuando la CIC es mayor por el elevado contenido de arcilla, entonces, los metales pesados quedan retenidos en el suelo” (Diez, 2008).

e) Condiciones redox: “El potencial de oxidación - reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido. En ambientes anaeróbicos reducidos los metales precipitan

debido a la presencia de iones ferrosos y carbonatos; en cambio en condiciones oxidantes los metales se hacen más solubles” (Volke, Velazco, et al., 2005).

2.1.3.2 Toxicidad de los metales pesados en las plantas

“Cuando las plantas están expuestas a altos contenidos de metales pesados, éstas pueden presentar problemas fisiológicos, tales como reducción del tamaño y vigor en su crecimiento (raíces y demás órganos), de tal manera que su comportamiento y desarrollo normal se ven afectados” (Cargua, 2010; Truchado, 2014). “Asimismo, los metales pesados en las plantas originan en ellas estrés oxidativo y daños a nivel estructural” (Truchado, 2014).

2.1.4 Fitoextracción

La fitoextracción es una de las técnicas más comunes a la hora de remediar suelos contaminados por metales pesados. “Esta metodología consiste en translocar o acumular los contaminantes a través de sus raíces hacia la parte aérea de la planta provocando la descontaminación constante del área de estudio” (Diez, 2008; Volke, Velazco, et al., 2005).

La finalidad de esta metodología es minimizar las concentraciones de metales pesados en los suelos contaminados hasta niveles considerables, es decir hasta niveles que no comprometan riesgos sanitarios y/o ambientales en un plazo de tiempo razonable; sin embargo, para que las plantas puedan acumular o translocar los metales pesados en sus tallos y hojas, los metales pesados deben encontrarse biodisponibles al ambiente (Rodríguez & García, 2006).

En la figura 3 se muestra el proceso general de un proceso de fitoextracción de metales pesados en suelos contaminados.

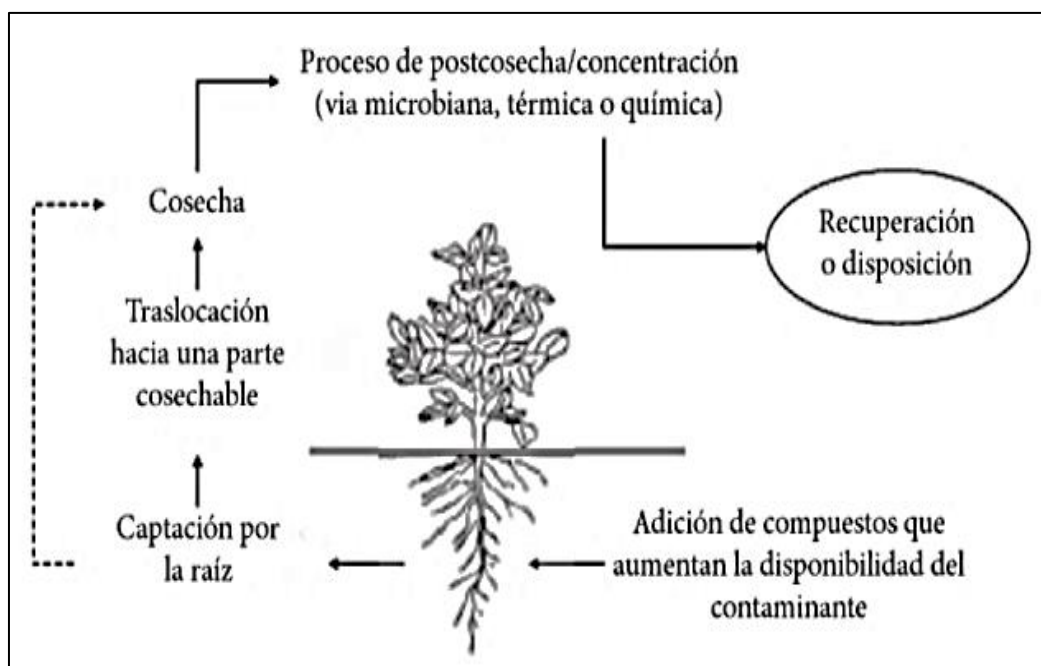


Figura 2: Proceso general de fitoextracción

Fuente: Cunningham & Ow citado por Volke et al. (2005)

2.1.4.1 Ventajas y desventajas de la fitoextracción

“La fitoextracción se considera una técnica novedosa, puesto que es sustentable de bajo costo y los resultados obtenidos son beneficiosos para contrarrestar el impacto ambiental derivado de las actividades mineras” (Delgadillo et al., 2011).

Esta técnica resulta muy ventajosa en comparación con otros métodos convencionales y costosos, de ahí su creciente aplicación en distintas compañías mineras quienes están optando por este método, ya que son especialmente útiles para su aplicación en grandes superficies, con contaminantes relativamente inmóviles o con niveles de contaminación bajo (Delgadillo et al., 2011).

Sin embargo; también su aplicación tiene algunas desventajas como el tiempo de tratamiento y los problemas derivados por la toxicidad de los metales y la biodisponibilidad en el suelo. En la tabla 3 se muestran las ventajas y desventajas de la fitorremediación.

Tabla 3: Ventajas y desventajas de la fitorremediación.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Se puede realizar in situ y ex situ.	En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.
Se realiza sin necesidad de transportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la dispersión de contaminantes a través del aire o del agua.	Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizosfera de la planta.
Es una tecnología sustentable.	El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.
Es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.	En el caso de la Fito volatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados nuevamente al ambiente.
Es de bajo costo.	Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.
No requiere personal especializado para su manejo.	No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
No requiere consumo de energía	La solubilidad de algunos contaminantes puede incrementarse, resultando en un mayor daño ambiental o migración de contaminantes.
Sólo requiere de prácticas agronómicas convencionales.	Se requieren áreas relativamente grandes.
Actúa positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, debido a la formación de una cubierta vegetal.	
Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable.	
Evita la excavación y el tráfico pesado.	
Se puede emplear en agua, ripio, aire y sedimentos	
Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales).	

Fuente: Delgadillo et al. (2011)

2.1.4.2 Evaluación de la fitoextracción

“El potencial de especies vegetales de fitoextraer metales pesados del suelo, se puede evaluar a través del factor de bioconcentración y el factor de traslocación” (Falcon, 2017). A continuación, se detalla estos dos indicadores.

a) Factor de translocación

El factor de translocación está referida a la movilidad de metales pesados desde la raíz hacia la parte aérea de las plantas; es decir, hacia las hojas y tallos. Este factor tiene algunas variaciones que dependen del tipo de planta que se utilice y del tipo de metales pesados que se quiera fitoextraer. En este sentido, se debe tener en cuenta el índice del valor resultante luego de un análisis para determinar el factor de translocación de las plantas utilizadas con respecto a su capacidad de fitoextraer las sustancias contaminantes.

Falcon (2017), explica y detalla “que un valor del Factor de Translocación (TF) mayor a 1 indica una eficiente translocación 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 este es retenido principalmente en las raíces y la especie vegetal puede usarse para la fitoestabilización”.

b) Factor de Bioconcentración

Otro factor que permite determinar la capacidad que tienen las plantas de absorber y translocar metales pesados desde el suelo hacia la planta, es el factor de bioconcentración, también conocido como índice de bioconcentración, que se utiliza para medir la capacidad o eficiencia que tiene una planta para acumular metales pesados dentro de sus tejidos (raíz o parte aérea) con relación a los metales que se encuentran concentrados en el suelo. “Es decir, es la medida de acumulación de un contaminante químico en los tejidos de las plantas” (Falcon, 2017). Estas pueden ser las siguientes:

- **Factor de bioconcentración en la raíz de la planta.**

El 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 (Falcon, 2017).

En este caso, las plantas solamente tienen la capacidad de almacenar las sustancias tóxicas que anteriormente absorbieron del suelo y para mantenerlas almacenadas en sus raíces, permitiendo de este modo inmovilizar los contaminantes en el suelo. Según este factor, las plantas pueden ser denominadas como se detalla a continuación.

- Si el $BCF \text{ Raíz} < 1$ la planta es excluyente.
 - Si el $1 < BCF \text{ Raíz} < 10$ la planta es acumuladora.
 - Si el $BCF \text{ Raíz} > 10$ la planta es hiperacumuladora.
- **Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.**

También conocida como Factor de bioacumulación (BAF) o Shoot accumulation factor (SAF), “es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo Vyslouzilova” (como se citó en Falcon, 2016). “En este sentido, y teniendo en cuenta el valor del factor de bioconcentración en la parte aérea de las plantas, podemos distinguir los siguientes tipos de plantas fitoextractoras” (Falcon, 2017).

- Si el $BCF \text{ Aérea} < 1$ la planta es excluyente.
- Si el $1 < BCF \text{ Aérea} < 10$ la planta es acumuladora.
- Si el $BCF \text{ Aérea} > 10$ la planta es hiperacumuladora.

2.1.5 Especies fitoextractoras de metales pesados

En la actualidad se han estudiado diferentes tipos y variedades de especies con capacidad fitoextractoras. Los pastos son el género más idóneo

para la fitorremediación por su facilidad de adaptación en diferentes tipos de suelos y climas variados, así como su fácil crecimiento. “Para el año 2005, se habían descubierto 163 taxones de plantas, pertenecientes a 45 familias, capaces de crecer en concentraciones elevadas de metales pesados” (Volke, Velasco, et al., 2005).

2.1.5.1 *Dactylis glomerata*

“Conocida también por su nombre común como pasto ovillo, dáctilo, pasto azul o zacate de la huerta, es una gramínea perenne perteneciente a la familia Poaceae” (Vázquez, 2020). “Esta planta es originaria de las regiones templadas de Europa y Asia, y del norte de África” (Herrera, 2019). “Esta planta se caracteriza por ser cespitosa de tallos verticales y firmes, con alturas de 30-150 cm; presenta vainas aéreas con la base reducida en una sola” (Vázquez, 2020).

- a) **Propagación y siembra:** “La propagación de *Dactylis glomerata* se realiza a través de semillas o por métodos vegetativos a través de rizomas o división de plantas”. Vázquez (2020) “recomienda realizar una adecuada preparación del terreno para evitar la competencia con especies autóctonas, y efectuar la siembra al comienzo de la época lluviosa”. “La semilla debe sembrarse a una profundidad de 0.5 a 2 cm, de acuerdo con la textura del suelo” (Herrera, 2019).
- b) **Compatibilidad con otras especies:** “Esta especie es compatible con otras gramíneas o leguminosas forrajeras. La semilla se puede distribuir al voleo si se mezcla con *Trifolium repens* (trébol blanco) o *Trifolium pratense* (trébol rojo)” (Vázquez, 2020).
- c) **Ciclo de vida:** “Inicialmente presenta un crecimiento lento; sin embargo, a partir del segundo año se convierte en una planta muy competitiva de rápido crecimiento” (Vázquez, 2020).
- d) **Madurez:** “Según el tiempo de maduración es de 1 a 5 meses” (Herrera, 2019).
- e) **Suelo:**

Se adapta a una variedad de condiciones edáficas y crece en casi cualquier tipo de suelo, desde extremadamente ácidos hasta alcalinos, de texturas pesadas, superficiales, suelos de minería, con altos contenidos de sodio, de baja fertilidad natural, suelos en zonas de ladera, y aun en aquellos sujetos a inundación prolongada (Herrera, 2019).

f) Fertilización:

Aunque se adapta en suelos relativamente pobres en nutrientes, responde adecuadamente a un alto grado de fertilidad del suelo, y particularmente a las aplicaciones de nitrógeno. Sin embargo, en mezcla con leguminosas usualmente no se recomienda aplicar fertilizantes nitrogenados, ya que, si bien aquellas no proporcionan todo el nitrógeno que la gramínea puede utilizar, el nitrógeno estimula excesivamente el crecimiento de la gramínea, la cual termina por asfixiar o debilitar a las leguminosas (Herrera, 2019).

g) Clima: “Esta especie se adapta a climas templados, húmedo, no tolera las altas temperaturas, aunque es más resistente que la especie *Rye grass perenne*, resiste el frío, resiste la sequía, pero no periodos cíclicos de estrés hídrico” (Arias & Mosches, 2011).

2.1.5.2 *Trifolium pratense*

La especie *Trifolium pratense* conocido también por su nombre común como Trébol rojo, “es una leguminosa perenne que presenta tallos rectos, hojas tupidas de formas elípticas con machas blancas que forman una V, y de flores de color violeta” (Martinez, 2020).

a) Usos: “Se puede utilizar para corte, abono verde, heno, ensilaje y pastoreo rotacional” (Martinez, 2020).

b) Compatibilidad con otras especies: “Se recomienda establecerla en asocio con gramíneas con una profundidad de siembra entre 1 - 1.5 cm” (Martinez, 2020).

- c) **Calidad de forraje:** “Su calidad es excelente, superando a la alfalfa, los niveles de digestibilidad se hallan entre 65% a 80% dependiendo del estado fenológico de la planta” (García, 2011).
- d) **Suelo:** “Se adapta a suelos con buen drenaje, de fertilidad moderada – media, de texturas medias a pesadas con pH 5.0 a 7.5, aunque puede tolerar rangos de pH de 4.5 - 8.2” (Martinez, 2020).
- e) **Clima:** “La especie *Trifolium pratense* se adapta mejor a alturas de 1800-3000 m.s.n.m. en temperaturas de 10 a 17 °C” (Martinez, 2020).
- f) **Precipitación:** “Se desarrolla mejor en precipitaciones anuales de 600 - 1600 milímetros, aunque puede tolerar precipitaciones anuales de 300 - 2100 milímetros, es decir, tolera la sequía y suelos húmedos” (Martinez, 2020).

2.1.6 Estándar de calidad ambiental para suelo – ECAs

El Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es una herramienta de gestión ambiental en la cual se establecen valores que nos permiten definir la contaminación del aire, agua o suelo de acuerdo a ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos; estos niveles no representan un riesgo ambiental ni a la salud de las personas (MINAM, 2005).

El D-S N°002-2013 (2013), indica que todo proyecto o proceso constructivo con riesgo de alterar la calidad del suelo, deberá aplicar el estándar de calidad ambiental, ECA para suelo, ello incluye los procesos de remediación del suelo. Los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo son herramientas que se utilizan para comparar los parámetros físicos, químicos o biológicos relacionados a las actividades productivas, extractivas o de servicio. Debido que la norma peruana no contempla todos los parámetros evaluados por este estudio, también se consideró el uso de la norma canadiense (*Canadian Soil Quality Guidelines for the protection of Environmental and Human Health*) para suelos agrícolas. En la tabla 4 se detallan los valores de los estándares mencionados con referencia a los metales pesados.

Tabla 4: Valores máximos de concentración de metales para suelo agrícola.

Nombre químico	ECA peruano Suelo Agrícola (mg/kg)	CEQG canadiense Suelo Agrícola (mg/kg)
Antimonio (Sb)	-	20
Arsénico (As)	50*	12*
Bario (Ba)	715	750
Berilio (Be)	-	4
Boro (B)	-	2
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
Níquel (Ni)	-	45
Selenio (Se)	-	1
Plata (Ag)	-	20
Talio (Tl)	-	1
Estaño (Sn)	-	5
Uranio (U)	-	23
Vanadio (V)	-	130
Zinc (Zn)	-	200

Fuente: D. S. N° 011-2017-MINAM (2017), Canadian Soil Quality Guidelines (2007)

2.3 Definición de términos

- **Adaptabilidad de plantas:** “Es el proceso en el cual las especies vegetales se adaptan a los cambios de un ambiente determinado modificando sus funciones y por ende mejorando su capacidad e sobrevivencia” (Mohan et al., 2003).
- **Adsorción:** “La adsorción es el mecanismo en el cual los iones metálicos son disueltos y retenidos en la superficie de las diversas biomásas con capacidad de acumular este tipo de contaminantes” (Tejada et al., 2015).

- **Bioconcentración:** “Es el fenómeno en el cual un organismo vivo bioacumula sustancias del entorno y los almacena en sus tejidos” (Botello et al., 2005).
- **Cancha de relave:** “Es el área donde se depositan los desechos provenientes de un proceso minero” (Fraume, 2006).
- **Cobertura vegetal:** “Comprende una variedad de características ambientales y físicas que abarcan desde pequeños pastizales hasta grandes extensiones de bosques. Es la cobertura natural que envuelve la superficie de la tierra interceptando la radiación y manteniendo el suelo en estado húmedo” (Heuvelop et al., 1986).
- **Fitoextracción:** “Es el proceso de remediación que utiliza las plantas capaces de extraer sustancias contaminantes que están presentes en el suelo para luego acumularlos en sus tallos y hojas” (Diez, 2008).
- **Fitorremediación:** “La fitorremediación es una técnica que consiste en el uso de especies vegetales con capacidad de remediar suelos contaminados con compuestos inorgánicos, estos elementos son absorbidos, metabolizados y/o acumulados en los tejidos de las plantas” (Volke & Velazco, 2002).
- **Metales pesados:** “Son aquellos elementos químicos cuya densidad específica es mayor a 5 g/cm³” (Tejada et al., 2015).
- **Plantas acumuladoras:** “Especies vegetales en las que la absorción y la translocación reflejan la concentración edáfica del metal, pero sin mostrar síntomas de toxicidad” (Torres, 2018).
- **Plantas exclusoras:** “Plantas que restringen la absorción de los metales pesados a partes aéreas en un rango de concentraciones ambientales” (Torres, 2018).
- **Plantas hiperacumuladoras:** “Se denominan plantas hiperacumuladoras a aquellas especies vegetales resistentes a altas concentraciones de metales pesados y con capacidad de trasladar y concentrar estos metales en sus tallos y hojas” (Torres, 2018).

- **Translocación:** “Transporte activo, es decir, que requiere energía a través del floema de las plantas para llevar nutrientes y otras sustancias desde la raíz hasta las hojas y viceversa” (Sánchez, 2011).
- **Toxicidad de metales pesados:** “Los metales pesados presentan toxicidad cuando se encuentran en concentraciones relativamente elevadas. Sus mecanismos de toxicidad involucran interferencia con el transporte y la función de los iones fisiológicos esenciales o la interacción de macromoléculas celulares” (Cervantes et al., 2006).

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación fue experimental. Asimismo, corresponde al tipo cuantitativo porque fue necesario manipular variables y hacer el uso de herramientas matemáticas y estadísticas para la obtención de los resultados.

3.2 Diseño de investigación

Esta investigación consistió en la propagación de 2 especies vegetales, a través de semillas cultivadas sobre sustrato extraído del pasivo ambiental minero Santo Toribio (suelo problema) y sobre sustrato extraído del sector Wilcahuain de la ciudad de Huaraz (suelo control). Para ello se dividió en 2 grupos denominados el grupo problema y el grupo control.

El grupo problema: Denominado de esta manera ya que las especies vegetales fueron cultivadas sobre suelo problema, extraído del entorno al pasivo ambiental minero Santo Toribio. Este grupo estuvo a su vez conformado por 2 tratamientos: El TPD (Tratamiento problema *Dactylis*) en el cual se sembró la especie vegetal *Dactylis glomerata* y el TPT (Tratamiento problema *Trifolium*) en el cual se sembró la especie vegetal *Trifolium pratense*; para ambos casos se contó con 3 repeticiones por cada tratamiento.

El grupo control: Denominado grupo control porque las especies vegetales fueron cultivadas sobre suelo control, extraído del sector Wilcahuain. Este grupo estuvo a su vez conformado por 2 tratamientos: el TCD (Tratamiento control *Dactylis*)

en el cual se sembró la especie vegetal *Dactylis glomerata* y el TCT (Tratamiento control *Trifolium*) en el cual se sembró la especie vegetal *Trifolium pratense*; para cada tratamiento se diseñó una repetición. El proceso de crecimiento de las plantas se registró cada 7 días, así como las características biométricas de las especies vegetales, referidas al comportamiento de cada especie en los distintos tratamientos; entre ellas, la altura de la planta y coloración de hojas. Asimismo, al momento de la cosecha se midió la longitud de raíz y biomasa de cada especie.

Las muestras de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* instaladas en macetas, se cosecharon a los 4 meses, separando la parte aérea de la raíz; las que luego fueron trasladadas al laboratorio para el análisis de metales totales (As, Pb, Cu, Fe, Zn) correspondiente. Del mismo modo, las muestras del sustrato donde se desarrollaron las especies vegetales fueron trasladadas al laboratorio de calidad ambiental de la UNASAM para determinar los parámetros fisicoquímicos (Ph, MO, CIC) y análisis de metales totales (As, Pb, Cu, Fe, Zn).

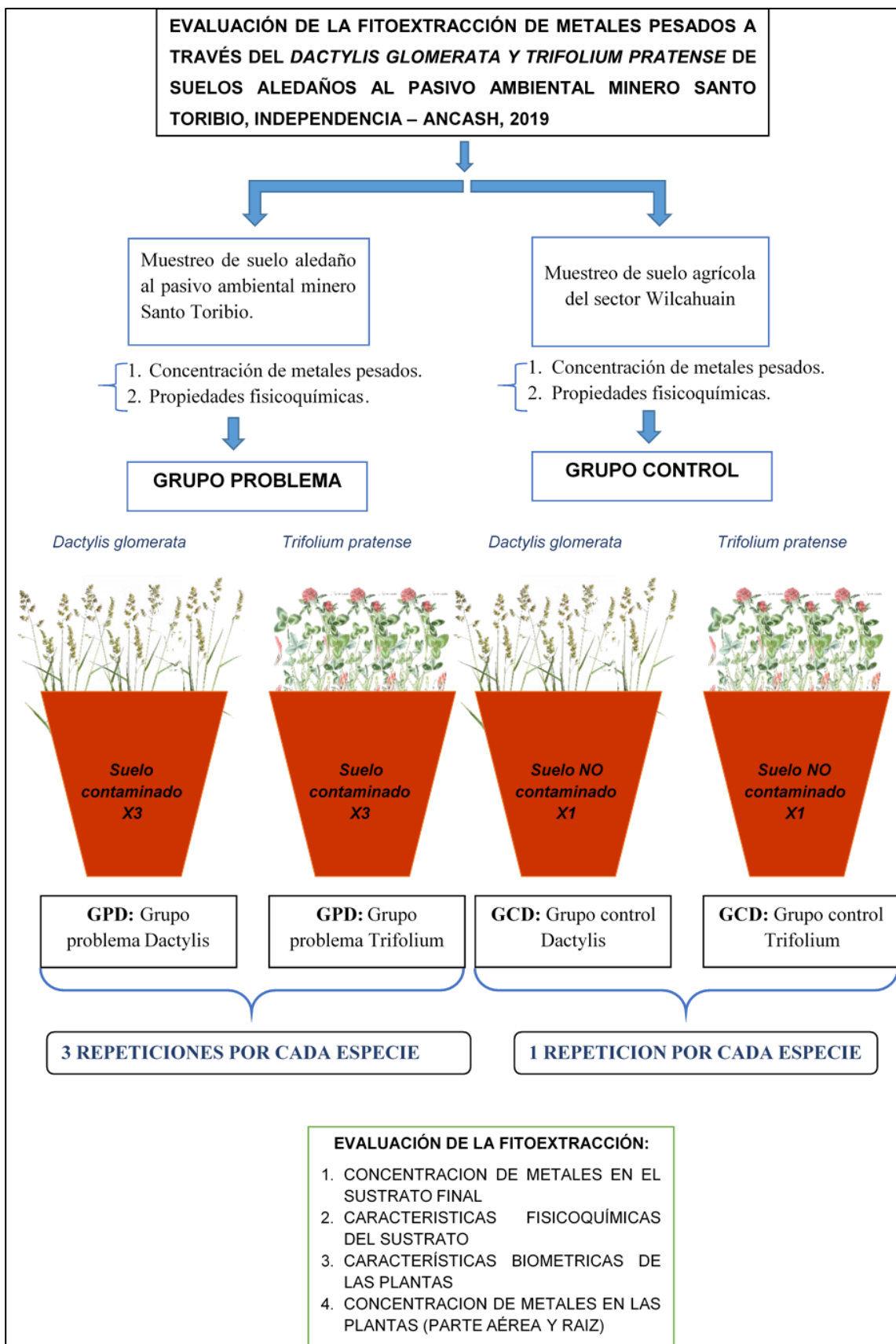


Figura 3: Esquema de investigación.

3.3 Métodos e instrumentos validados de recolección de datos

3.3.1 Análisis inicial de suelo aledaño al pasivo minero Santo Toribio y suelo control del sector Wilcahuain.

a) Muestreo preliminar de suelos para el análisis de metales pesados

El primer paso para la ejecución de la presente investigación fue identificar el suelo contaminado y el suelo no contaminado con metales pesados, en base a referencias bibliográficas y análisis en laboratorio de concentraciones de metales pesados y parámetros fisicoquímicos. Para ello, se realizó el muestreo de suelo teniendo como primer punto el área aledaña al pasivo ambiental minero Santo Toribio y como control al punto ubicado en el sector Wilcahuain. El muestreo de suelo se realizó utilizando el método de muestreo a juicio o selectivo según lo explicado por Mason citado en Volke et al. (2005), que 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.

Para coleccionar el suelo se realizó una excavación del hoyo con una barreta y pico, a una profundidad aproximada de 30 cm y 40 cm de ancho, retirando 1 kg de sustrato por cada punto según se describe en la guía para muestreo de suelos descrito en la RM N°085-2014-MINAM (2014). Posteriormente estas muestras fueron envasadas en una bolsa de plástico hermética con su respectiva etiqueta de identificación, el cual incluyó el código de muestra, la fecha, hora y coordenadas del lugar del muestreo (Ver anexo 1); y fueron transportadas tomando en cuenta la cadena de custodia hacia el Laboratorio de Calidad Ambiental FCAM-UNASAM para su análisis.

Tabla 5: Descripción preliminar de los puntos de muestreo de suelos.

Código	Lugar	Descripción	Coordenadas geográficas	Altitud (m s.n.m.)
MS-01	Santo Toribio, Huaraz	A 106 m aguas abajo del pasivo ambiental minero Santo Toribio.	9° 29' 06.3" S 77° 34' 53.7 "W	3993
MS_O2I	Wilcahuain, independencia, Huaraz	A 300m por encima de las ruinas del sector Wilcahuain.	9° 29' 2.147" S 83° 30' 34.135" W	3403

b) Análisis de muestras en laboratorio

Las muestras de suelo extraídas fueron trasladadas al Laboratorio de Calidad Ambiental de la FCAM-UNASAM para determinar los parámetros fisicoquímicos y análisis de metales totales.

- Parámetros fisicoquímicos: Potencial hidrógeno (pH), materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC).
- Análisis de metales totales: Arsénico total (As), plomo total (Pb), cobre total (Cu), hierro total (Fe) y zinc total (Zn).

Para determinar los parámetros fisicoquímicos y la concentración de metales totales, el Laboratorio de Calidad Ambiental (2020) empleó los siguientes métodos.

Tabla 6: Métodos para determinar los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo.

Parámetro	Método
Potencial de hidrógeno (pH)	NOM21-AS-02: Método electrométrico que se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. En el caso de los suelos el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2 (NOM-021-RECNAT-2000, 2002).
Materia orgánica (MO)	NOM21-AS -07: Se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado, pasado 30 minutos la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe ³⁺ y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso (NOM-021-RECNAT-2000, 2002).
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Volúmetría: Consiste en determinar la cantidad de cationes absorbidos por soluciones salinas (Salinas & García, 1979). Método cuantitativo para determinar la concentración de una solución desconocida a partir de volúmenes conocidos (Skoog & West, 2002).

Tabla 7: Métodos para el análisis de metales totales.

Parámetro	Método
Arsénico total (As)	Plata-DDTC: Consiste en la reacción química entre la Arsina y Dietilditiocarbamato de Plata en medio piridina produciéndose un color rojo que es medible a través de métodos ópticos (Burriel et al., 2008).
Plomo total (Pb)	PAR: Utiliza el (2-Piridilazo)-Recorsinol como reactivo para la extracción y determinación espectrofotométrica del Plomo-análisis colorimétrico (Haynes, 2012).
Cobre total (Cu)	Cuprizona: Método que utiliza la Cuprizona como reactivo para determinar la concentración de cobre.
Hierro total (Fe)	Triazina: Método por espectrofotometría derivada para la microdeterminación de Hierro utilizando la Triazina como reactivo cromóforo para formar a pH = 5,0 un complejo azul (Toral et al., 2001).
Zinc total (Zn)	CI-PAN: Índice de color, utiliza el 2-Piridilazo-2-Naftol como reactivo para determinar Zinc total (determinación fotométrica) (Haynes, 2012).

3.3.2 Cultivo de especies vegetales

a) Recolección de sustrato para cultivo de las especies vegetales

Después de haber corroborado el alto nivel de metales pesados en el suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio, se extrajo suelo del terreno, el cual, fue utilizado como sustrato para el crecimiento de las especies estudiadas. Para ello, se acondicionó 6 maceteros, los cuales formaron parte del grupo problema; 3 repeticiones para el cultivo de *Dactylis glomerata* y 3 repeticiones para el cultivo de *Trifolium pratense*. Del mismo, una vez corroborada la baja concentración de metales pesados en el suelo del sector Wilcahuain, se procedió con la extracción de suelo para ser utilizado como sustrato del grupo control. En este grupo se acondicionó 2 maceteros; 1 repetición para el cultivo de *Dactylis glomerata* y 1 repetición para el cultivo de *Trifolium pratense*.

b) Prueba de germinación de semillas

Con la finalidad de hallar el porcentaje de germinación, se instaló 100 semillas de *Dactylis glomerata* y 100 semillas de *Trifolium pratense* sobre una bandeja de tecnopor cubierta con algodón. El regado fue diario, utilizando un pulverizador de 0.5 litros.

c) Acondicionamiento del área para la instalación de maceteros

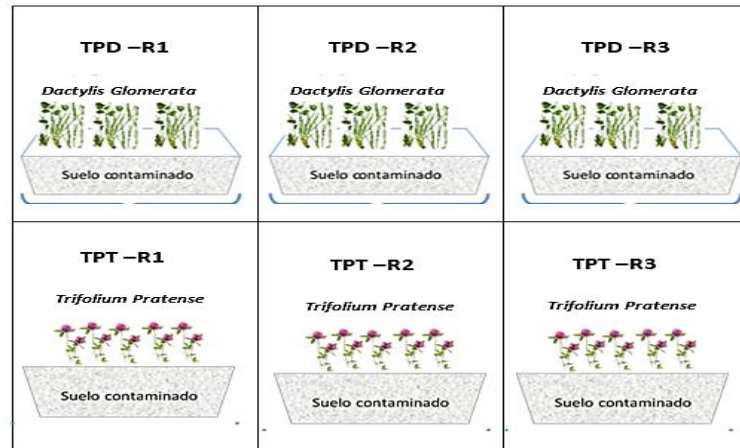
El área para la ejecución del proyecto fue acondicionada en la ciudad de Huaraz, con una dimensión 3.80m de largo, 3.5m de ancho y 2.40m de alto; con presencia de una cañería de agua potable para el regado de las plantas y un balde de 20 litros para almacenar agua de caño. Dentro del área se instaló dos filas de tablas en ambos extremos a 60 cm de altura para el colocado de los maceteros, una fila para *Dactylis glomerata* y la otra fila para *Trifolium pratense*.

d) Preparación de sustrato para la siembra de especies vegetales

Para dar inicio con la siembra de plantas, se procedió a homogenizar la tierra contaminada y no contaminada, ambos por separado, en un plástico de 2m x 2m con la finalidad de presentar maceteros de similares características en sus diferentes repeticiones.

Posterior a ello se procedió a agregar 8 kg de sustrato en cada macetero de acuerdo con los 2 tipos de tratamiento según el siguiente esquema:

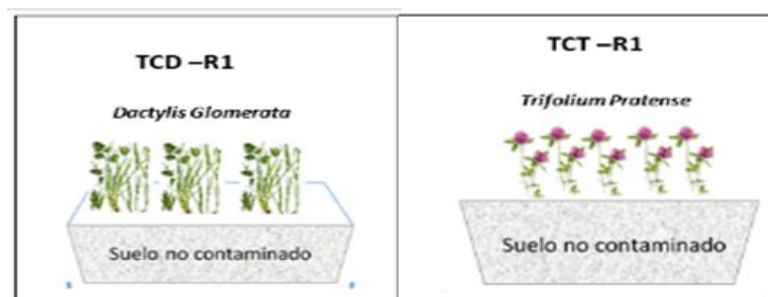
Figura 4: Esquema de distribución de maceteros del grupo problema.



Donde:

- TPD-R1: Tratamiento problema *Dactylis* – Rep.1
- TPD-R2: Tratamiento problema *Dactylis* – Rep.2
- TPD-R3: Tratamiento problema *Dactylis* – Rep.3
- TPT-R1: Tratamiento problema *Trifolium* – Rep.1
- TPT-R2: Tratamiento problema *Trifolium* – Rep.2
- TPT-R3: Tratamiento problema *Trifolium* – Rep.3

Figura 5: Distribución de maceteros del grupo control



Donde:

- TCD-R1: Tratamiento control *Dactylis* – Rep. 1
- TCT-R1: Tratamiento control *Trifolium* – Rep. 1

e) Siembra de plantas

Una vez obtenido el sustrato semi húmedo se propagó *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* a través de semillas que fueron adquiridos en los centros agropecuarios de la ciudad de Huaraz. Con la finalidad de obtener un crecimiento homogéneo y cubrir toda el área del macetero, la instalación de ambos tipos de semillas se realizó a una profundidad de 1.5cm con un punzón metálico y a una distancia de 1cm entre semillas haciendo uso de un molde de papel milimetrado de acuerdo con la forma del borde superior del macetero. En cada macetero se utilizó 500 semillas, según la distribución mencionada en el ítem d.

f) Riego de plantas

Se realizó cada 3 días con una regadera de plástico, aplicando 1 litro de agua de caño por cada maceta, o la cantidad de agua que demandan las plantas para su desarrollo durante todo el ciclo del cultivo, evitando de tal manera el exceso de humedad y el ataque de patógenos que puedan causar algún daño a las especies vegetales.

3.3.3 Características biométricas de las especies *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*

Las características biométricas de las especies vegetales se determinaron durante el desarrollo fenológico de los mismos y después de la cosecha. Cada 7 días, por cada tratamiento, se registraron datos de la altura de cada especie, coloración y estado de hojas. Después de la cosecha se registró la longitud de la raíz y el peso (parte aérea y radicular de las especies vegetales) en condiciones frescas y secas para el cálculo de la biomasa.

3.3.4 Determinación del factor de traslocación y bioconcentración de metales pesados

a) Cosecha de especies vegetales

Cumplido los 4 meses de desarrollo, se procedió a cosechar las especies vegetales estudiadas. De cada macetero (grupo control y grupo problema) se extrajeron las muestras con suma delicadeza, teniendo cuidado de no romper las raíces, y posterior a ello se lavó con agua de caño y un pincel delgado para

retirar todas las partículas de sustrato. Posteriormente, se tomaron medidas de longitud de la parte aérea y de la raíz de cada muestra. Con una tijera de acero inoxidable se separó la parte aérea de la raíz para ser pesados y depositados en bolsas de polietileno de cerrado hermético; cada una contó con su ficha de identificación respectiva (código, fecha, hora y ubicación). Estas muestras fueron transportadas tomando en cuenta sus respectivas cadenas de custodia (anexo N°02 y anexo N°03) al Laboratorio de Calidad Ambiental de la UNASAM para proceder con los análisis de metales totales (As, Pb, Cu, Fe y Zn).

b) Recolección de sustrato de las especies vegetales

De cada macetero en el que se desarrollaron las especies vegetales, se tomó 1 kg de sustrato, como muestra, para ser depositados en bolsas de cierre hermético con su respectiva ficha de identificación (código de muestra, sustrato de planta "x", fecha, hora) y su posterior transporte al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo para proceder con el análisis fisicoquímico (pH, MO, CIC) y de metales totales (As, Pb, Cu, Fe, Zn).

c) Análisis de metales totales en las muestras de especies vegetales y el sustrato

Consistió en determinar la concentración de metales totales tales como: Arsénico total (As), Plomo total (Pb), Cobre total (Cu), Hierro total (Fe) y Zinc total (Zn) presentes en las muestras de las especies vegetales y sustrato extraídas al final del tratamiento. Para determinar la concentración de metales totales se emplearon los métodos descritos en la tabla N°07 aplicables para las muestras vegetales y sustrato, a excepción del análisis de Arsénico total en tejido vegetal que utilizo el método DIN-38 405, estándares alemanes para el análisis de agua, aguas residuales y lodos referido a la determinación de iones de cloruro y sulfato (Down & Lehr, 2005).

d) Determinación del factor de bioconcentración

El factor de bioconcentración se utilizó para determinar si la planta es hiperacumuladora, acumuladora o excluyente. Se calculó de acuerdo al método propuesto por Olivares & Peña (2009), a través de las siguientes

fórmulas: Se dividió la concentración del metal en la fitomasa de la planta (mg/kg) entre la concentración del elemento en el suelo (mg/kg).

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

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

Donde:

- $BCF_{Raíz}$ = Factor de bioconcentración en la raíz de la planta.
- $BCF_{Aérea}$ = Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.
- $[metal]_{raíz}$ = Concentración del metal sólo en la raíz de la planta en mg/Kg.
- $[metal]_{aérea}$ = Concentración del metal sólo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.
- $[metal]_{suelo}$ = Concentración del metal en el suelo en mg/Kg.

e) Determinación del Factor de Translocación

El factor de translocación se utilizó para determinar si la planta traslada eficazmente los metales pesados desde sus raíces hasta la parte aérea. “Se determinó dividiendo la concentración de la fitomasa aérea (mg/kg) entre la concentración de la fitomasa de la raíz de la planta” (Olivares y Peña, 2009).

$$TF = [metal]_{Aérea} / [metal]_{raíz}$$

Donde:

- TF = Factor de traslocación
- $[metal]_{raíz}$ = Concentración del metal sólo en la raíz de la planta en mg/Kg.
- $[metal]_{Aérea}$ = Concentración del metal sólo en la parte aérea de la planta en mg/Kg.

3.3.5 Caracterizaciones fisicoquímicas del suelo después del tratamiento con *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*

Los parámetros fisicoquímicos estudiados fueron pH, materia orgánica (MO) y capacidad de intercambio catiónico (CIC), para ello, los métodos de

análisis aplicados fueron los mismos que se describen en la tabla N°06: Métodos para determinar los parámetros fisicoquímicos de las muestras de suelo. Debido a que los parámetros fisicoquímicos medidos en el suelo no se encuentran en el ECA de la norma peruana para suelo, para evaluar y comparar los resultados se utilizó la norma oficial mexicana NOM- 021-RECNAT (2000) que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. A continuación, se muestran tablas de clasificación de suelos de acuerdo con el pH, capacidad de intercambio catiónico y contenido de materia orgánica.

Tabla 8: Clasificación del suelo de acuerdo con el valor de pH.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Moderadamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Fuente: Diario oficial de la federación (2002)

Tabla 9: Grado de Intemperismo de acuerdo con el valor de CIC.

Grupo	CIC (Cmol(+) Kg-1)
Muy alta	> 40
Alta	25 – 40
Media	15 – 25
Baja	5 – 15
Muy baja	> 5

Fuente: Diario oficial de la federación (2002)

Tabla10: Grado de Materia orgánica en el suelo (%).

Clase	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.0

Fuente: Diario oficial de la federación (2002)

3.4 Población y muestra

3.4.1 Para la caracterización inicial de suelo

- **Población:** suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio y el sector Willcahuaín.
- **Muestra:** muestra de suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio y el sector Willcahuaín.

3.4.2 Para la evaluación de plantas y suelos en los tratamientos

- **Población:** *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivados sobre suelo control y suelo problema en un área acondicionada en la ciudad de Huaraz.
- **Muestras:**

Muestra vegetal: Total 16 muestras.

- 3 muestras frescas de la parte aérea de *Dactylis glomerata* de 39.53 gr, 42.59 gr y 24.94 gr respectivamente; 3 muestras frescas de la raíz de *Dactylis glomerata* de 56.36 gr, 33.49 gr y 57.46 gr, todos pertenecientes al grupo problema (Total 6 muestras).
- 3 muestras frescas de la parte aérea de *Trifolium pratense* de 9.21 gr, 8.61 gr y 11.04 gr respectivamente; 3 muestras frescas de la raíz de *Trifolium pratense* de 5.42 gr, 4.74 gr y 3.42 gr, todos pertenecientes al grupo problema (Total 6 muestras).
- 1 muestra fresca de la parte aérea de *Dactylis glomerata* de 34.49 gr y 1 muestra fresca de la raíz de *Dactylis glomerata* de 53.87 gr, ambos pertenecientes al grupo control (Total 2 muestras).

- 1 muestra fresca de la parte aérea de *Trifolium pratense* de 44.88 gr y 1 muestra fresca de la raíz de *Trifolium pratense* de 41.95 gr, ambos pertenecientes al grupo control (Total 2 muestras).

Tabla 11. Codificación de las muestras de la parte aérea.

Código de la muestra	Descripción
MPD-A-R1	Muestra problema de <i>Dactylis g.</i> – Aérea - repetición 1
MPD-A-R2	Muestra problema de <i>Dactylis g.</i> – Aérea - repetición 2
MPD-A-R3	Muestra problema de <i>Dactylis g.</i> – Aérea - repetición 3
MPT-A-R1	Muestra problema de <i>Trifolium p.</i> – Aérea - repetición 1
MPT-A-R2	Muestra problema de <i>Trifolium p.</i> – Aérea - repetición 2
MPT-A-R3	Muestra problema de <i>Trifolium p.</i> – Aérea - repetición 3
MCD-A-R1	Muestra control de <i>Dactylis g.</i> – Aérea - repetición 1
MCT-A-R1	Muestra control de <i>Trifolium p.</i> – Aérea - repetición 1

Tabla 12. Codificación de las muestras de la raíz.

Código de la muestra	Descripción
MPD-R-R1	Muestra problema de <i>Dactylis g.</i> – Raíz - repetición 1
MPD-R-R2	Muestra problema de <i>Dactylis g.</i> – Raíz - repetición 2
MPD-R-R3	Muestra problema de <i>Dactylis g.</i> – Raíz - repetición 3
MPT-R-R1	Muestra problema de <i>Trifolium p.</i> – Raíz - repetición 1
MPT-R-R2	Muestra problema de <i>Trifolium p.</i> – Raíz - repetición 2
MPT-R-R3	Muestra problema de <i>Trifolium p.</i> – Raíz - repetición 3
MCD-R-R1	Muestra control de <i>Dactylis g.</i> – Raíz - repetición 1
MCT-R-R1	Muestra control de <i>Trifolium p.</i> – Raíz - repetición 1

Cabe indicar que cada macetero cultivado representó un tratamiento, por ende, las muestras vegetales fueron recolectadas extrayendo la totalidad de biomasa vegetal de cada tratamiento.

Muestra del sustrato: Total 8 muestras

- 3 muestras del sustrato de *Dactylis glomerata* de 1kg c/u pertenecientes al grupo problema (Total 3 muestras).
- 3 muestras del sustrato de *Trifolium pratense* de 1kg c/u pertenecientes al grupo problema (Total 3 muestras).

- 1 muestra del sustrato de *Dactylis glomerata* de 1kg, pertenecientes al grupo control (Total 1 muestra).
- 1 muestra del sustrato de *Trifolium pratense* de 1kg, pertenecientes al grupo control (Total 1 muestra).

. **Tabla 13:** Codificación de las muestras del sustrato

Código de la muestra	Descripción
MPSD-R1	Muestra problema del sustrato <i>Dactylis g.</i> – repetición 1
MPSD-R2	Muestra problema del sustrato <i>Dactylis g.</i> – repetición 2
MPSD-R3	Muestra problema del sustrato <i>Dactylis g.</i> – repetición 3
MPTS-R1	Muestra problema del sustrato <i>Trifolium p.</i> – repetición 1
MPTS-R2	Muestra problema del sustrato <i>Trifolium p.</i> – repetición 2
MPTS-R3	Muestra problema del sustrato <i>Trifolium p.</i> – repetición 3
MCSD-R1	Muestra control del sustrato <i>Dactylis g.</i> – repetición 1
MCST-R1	Muestra control del sustrato <i>Trifolium p.</i> – repetición 1

3.5 Análisis estadístico de la información

El análisis estadístico se realizó utilizando el software IBM SPSS Statistics (Statistical product and service solutions), en la cual, los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de comparación de media de Tukey ($P < 0.05$) para examinar las diferencias de las medias de tres o más grupos y para examinar las diferencias entre dos muestras independientes se utilizó la distribución t de Student.

- H0: Las medias poblacionales son iguales.
- H1: Al menos una de las medias poblacionales es distinta.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1 Análisis inicial de metales pesados en el suelo

La tabla 17 muestra los resultados de las concentraciones de metales pesados presentes en el suelo problema y en el suelo control antes del tratamiento y su comparación con el ECA canadiense (CEQG) para suelo agrícola. Se empleó el ECA canadiense puesto que es más estricta que la norma peruana y presentan valores para Cobre y Zinc.

Tabla 14. Concentración inicial de metales pesados en el suelo.

Metales Pesados	Suelo Problema	Suelo Control	ECA Canadiense suelo agrícola
Arsénico total (mg/kg)	6.78	<2.00	12
Cobre total (mg/kg)	68.14	<4.00	63
Hierro total (mg/kg)	840.79	476.8	–
Plomo total (mg/kg)	254.91	0.883	70
Zinc total (mg/kg)	138.64	62.69	200

En el suelo problema, la concentración inicial de Arsénico (6.78 mg/kg) fue aproximadamente 50% menor a lo establecido en el ECA canadiense. El Cobre total (68.14 mg/kg) superó a lo establecido en el estándar de calidad ambiental con una diferencia de 5 mg/kg; asimismo, la concentración inicial de Plomo total (254.91 mg/kg) superó el valor establecido en el estándar de calidad ambiental. En el caso del Zinc total (138.64 mg/kg), se evidencia que los niveles de concentración estuvieron por debajo del ECA canadiense. Finalmente se observa que no hay un

estándar de calidad ambiental para el caso del Hierro total, sin embargo, se evidencia altas concentraciones de este metal en el suelo problema (840.79 mg/kg).

En el caso suelo control, las concentraciones de los 5 metales estudiados (As, Cu, Fe, Pb y Zn) estuvieron por debajo del estándar de calidad ambiental canadiense con valores de <2.00 mg/kg para Arsénico, <4.00 mg/kg para Cobre, 476.8 mg/kg para Hierro, 0.883 mg/kg para Plomo y 62.69 mg/kg para Zinc.

4.2 Germinación de semillas

La Figura 6 muestra los resultados de la prueba de germinación de las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* en base a 100 semillas instaladas en una bandeja de Tecnopor. Se puede observar el día del inicio de la germinación, la cantidad de semillas germinadas por día y el porcentaje final de germinación.

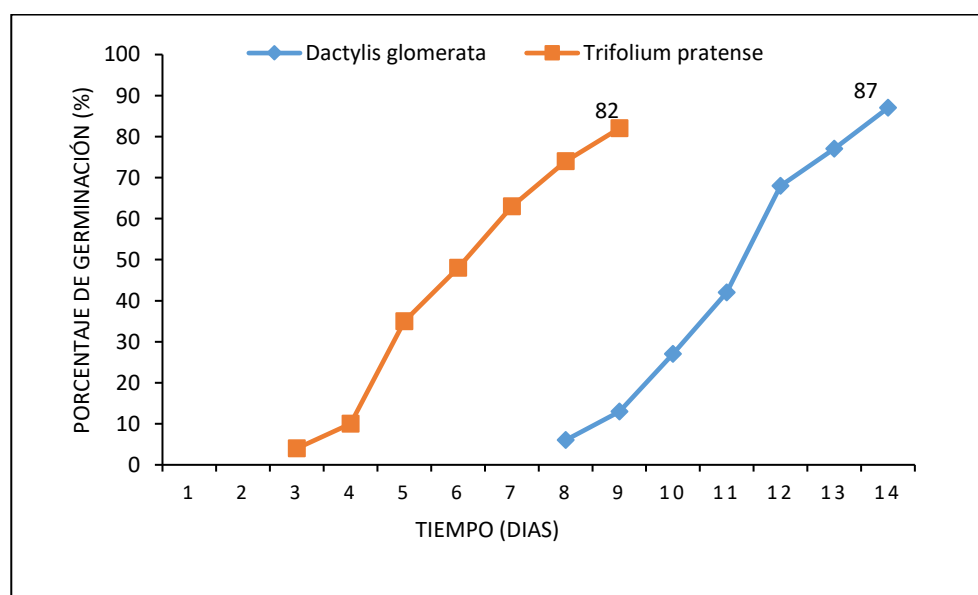


Figura 6. Poder germinativo de semillas de *Dactylis glomerata* vs *Trifolium pratense*.

La especie vegetal *Trifolium pratense*, inició su germinación al tercer día de siembra hasta el séptimo día, alcanzando un 82% de germinación; a comparación de la especie vegetal *Dactylis glomerata* que inició su germinación 5 días después, es decir, al octavo día de siembra, alcanzando un porcentaje de germinación de 87%. En efecto, podemos decir que la especie *Trifolium pratense* germina mucho más rápido que *Dactylis glomerata*, sin embargo, su porcentaje de germinación es menor.

4.3 Características biométricas de las especies vegetales

4.3.1 Altura de las especies vegetales

En las figuras 7 y 8, se muestran las alturas de las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*, cultivadas en suelo problema y en suelo control por un periodo de 16 semanas. En la figura 8, se aprecia que el *Dactylis glomerata* que fue cultivado sobre el suelo control, presentó mayor tamaño, con una altura máxima de 25.9 cm a comparación *Dactylis glomerata* que fue cultivado sobre el suelo problema que obtuvo una altura máxima de 14.3 cm en la última semana de desarrollo.

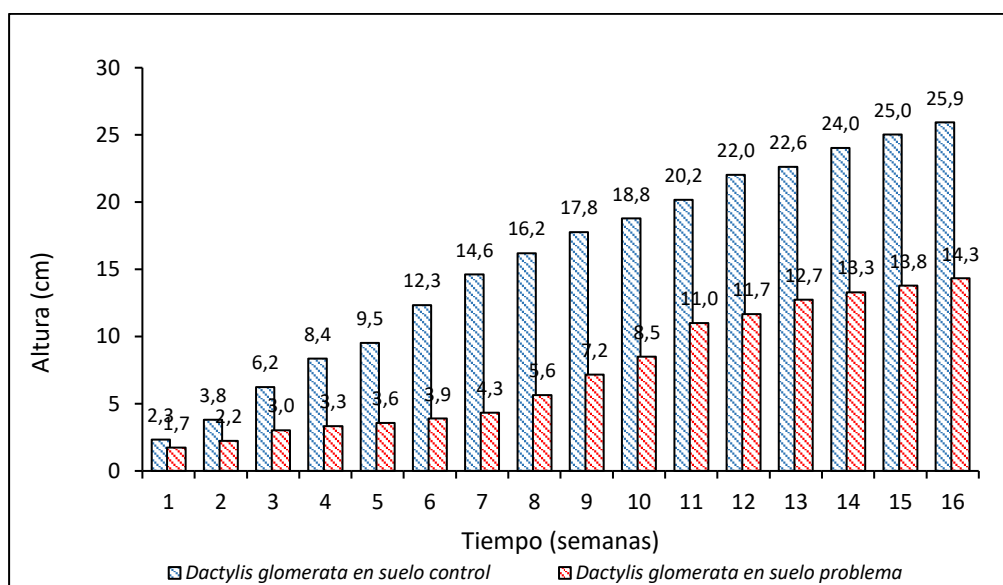


Figura 7. Altura de la especie vegetal *Dactylis glomerata* cultivada sobre suelo control y suelo problema.

En la figura 9 se aprecia que el *Trifolium pratense* que fue cultivado sobre el suelo control, fue de mayor tamaño, con una altura máxima de 24 cm a comparación del *Trifolium pratense* que fue cultivado en el suelo problema obteniendo tan solo una de 4cm en la última semana de desarrollo.

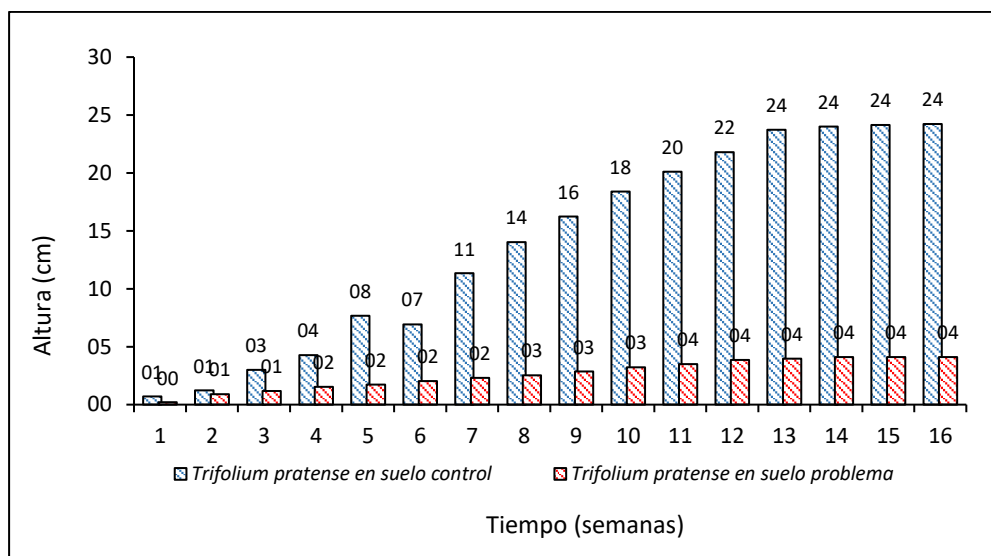


Figura 8: Altura de la especie vegetal *Trifolium pratense* cultivada sobre suelo control y suelo problema.

En la figura 9 se muestra la altura final (promedio de las 3 últimas semanas) *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivados sobre suelo control y suelo problema. Se observa que no hubo diferencias significativas entre el crecimiento de las plantas en el suelo control. Sin embargo, en suelos contaminados, la altura final de las plantas fue menor en ambas especies evaluadas ($p < 0.05$).

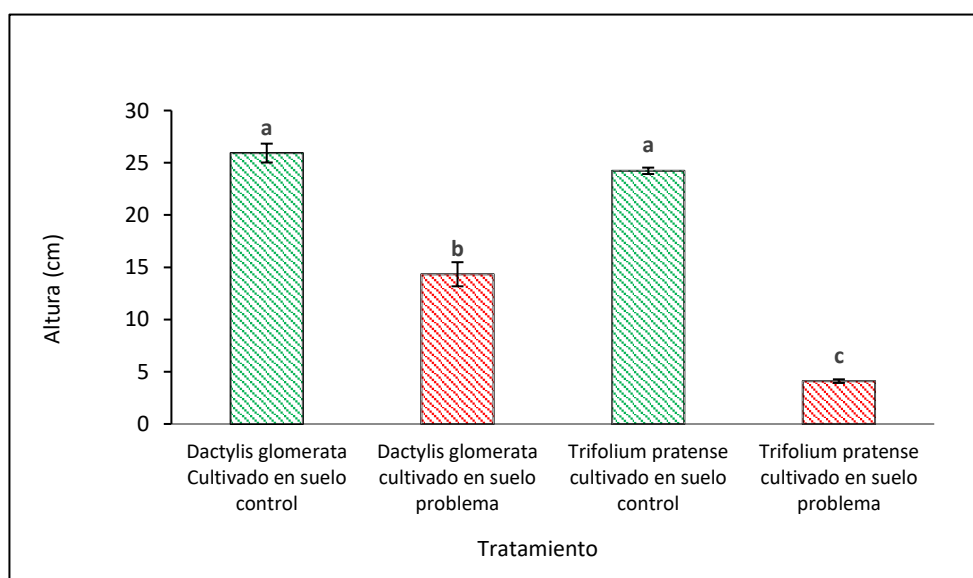


Figura 9: Altura final de las especies vegetales alcanzadas en la semana 16. Los valores son promedios de las 3 últimas semanas de evaluación. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).

4.3.2 Longitud de la raíz de las especies vegetales

La figura 10 muestra la longitud de la raíz, alcanzada al final del tratamiento (promedio de las 3 últimas semanas), por las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*, cultivadas en suelo control y suelo problema. Al igual que la altura de las plantas descritas anteriormente, no se evidenció diferencias significativas en el tamaño de las raíces de las plantas cultivadas en suelo control; sin embargo, ambas especies presentaron menores tamaños de raíces en suelos problema, siendo la raíz de *Trifolium pratense* la que presentó mayor inhibición en el crecimiento de la raíz ($p < 0.05$).

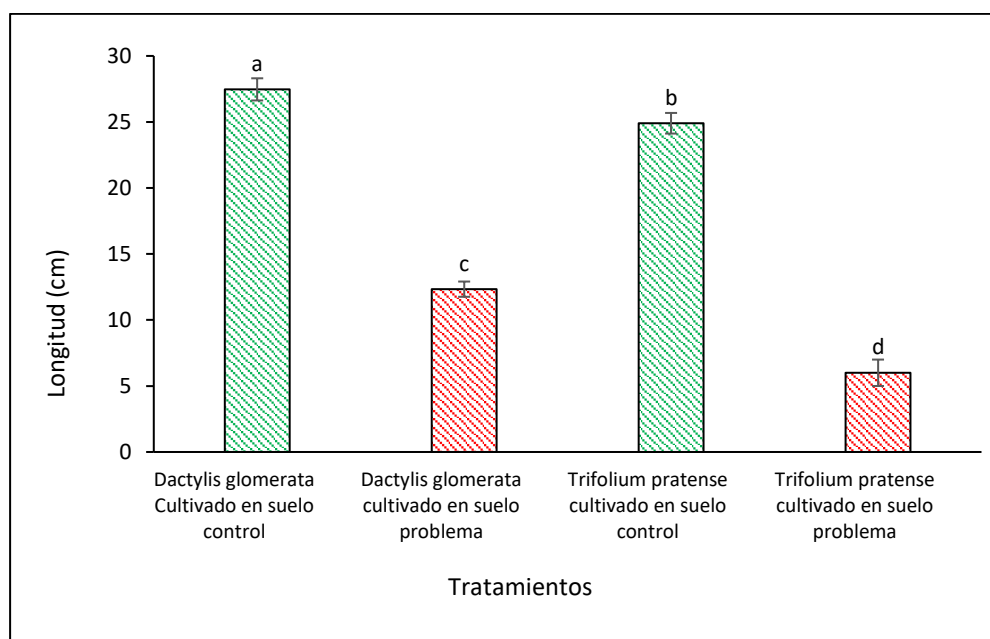


Figura 10: Longitud de la raíz del *Trifolium pratense* y *Dactylis glomerata* alcanzadas en la semana 16. Los valores son promedios de las 3 últimas semanas de evaluación. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).

4.3.3 Biomasa seca de las especies vegetales

La figura 11 muestra los resultados de la biomasa seca de las especies *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivadas sobre suelo problema y suelo control. Se observa diferencias significativas entre la biomasa obtenida de las plantas cultivadas sobre suelo problema, en la que *Dactylis glomerata* presentó mayor biomasa seca ($p < 0.05$). Al no tener réplicas de este parámetro en los tratamientos control no se pudo hacer comparaciones estadísticas entre el

grupo control y grupo problema; sin embargo, el análisis visual de los resultados evidencia que las especies vegetales que fueron cultivadas en el suelo control presentaron mayores valores de biomasa a comparación de las especies cultivadas en suelo problema.

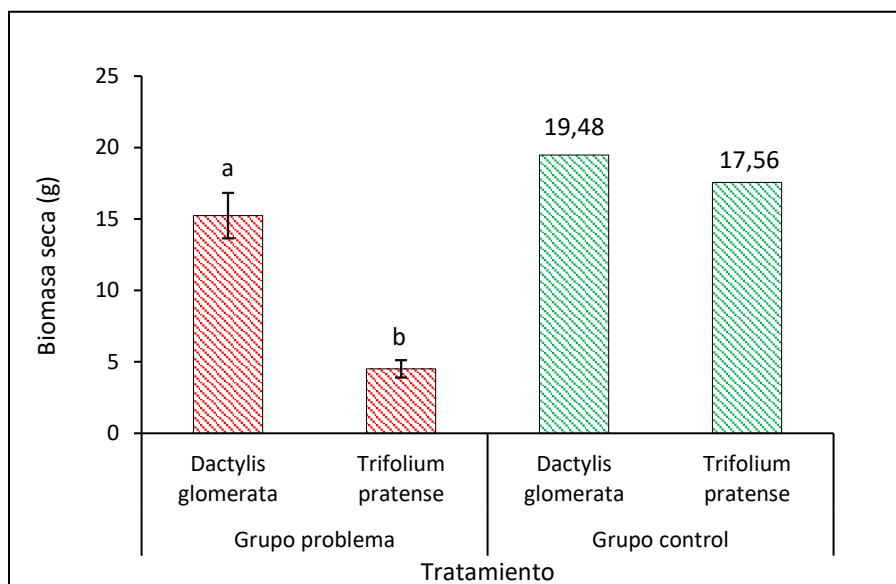


Figura 11: Comparación de biomasa seca de las especies *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivadas en suelo problema y suelo control. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

4.4 Parámetros fisicoquímicos del suelo

a) Potencial de hidrogeno (pH)

La figura 12 muestra el pH del suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales, *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia el pH inicial. Los resultados de pH en el suelo problema al finalizar el tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* muestran ser estadísticamente iguales ($p > 0.05$). Con respecto al pH inicial (4.35), la figura nos muestra un incremento ligero de pH en el suelo problema después del tratamiento; en el suelo donde se cultivó *Dactylis glomerata* el pH se incrementó a 4.50 y en el suelo donde se cultivó el *Trifolium pratense* el pH se incrementó a 4.47.

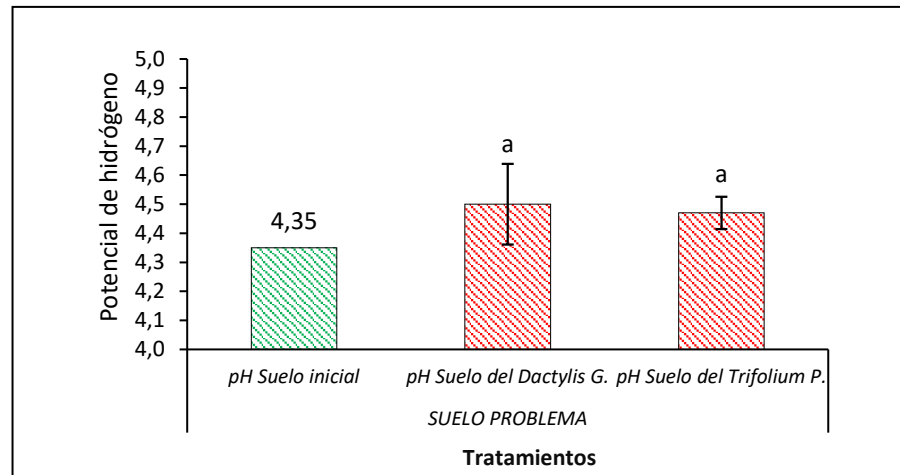


Figura 12: Comparación de pH en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

b) Materia orgánica (MO)

La figura 13 muestra el contenido de materia orgánica en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales, *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia la materia orgánica inicial (8.51%) en ambos tipos de suelo. Los resultados de MO en ambas especies de plantas muestran ser estadísticamente iguales ($p > 0.05$). Con respecto a la MO inicial (8.51%), la figura 18 refleja una reducción ligera en la cantidad de materia orgánica, con una reducción a 6.91 y 6.94% en *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* respectivamente.

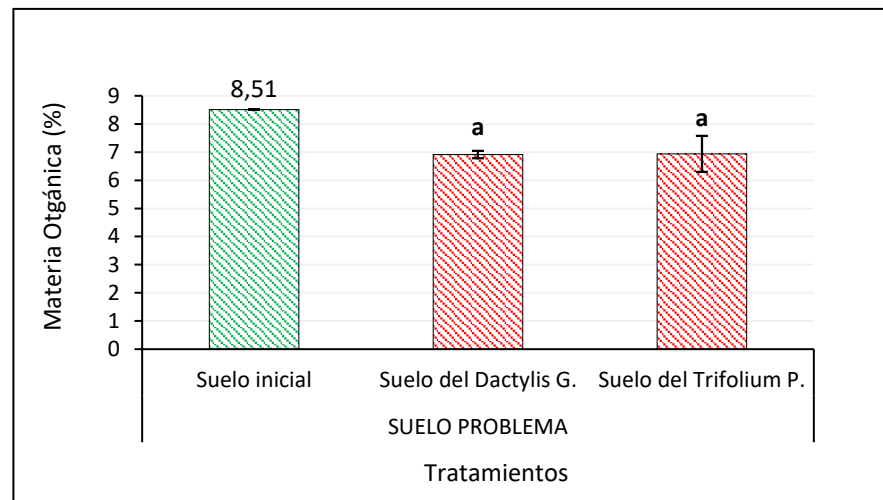


Figura 13: Comparación en la concentración de materia orgánica en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

c) Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

En el gráfico 14 se muestra la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales, *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia la capacidad de intercambio catiónico inicial. Los resultados no revelaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre los CIC finales de suelos donde se cultivaron *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Con respecto a la CIC inicial (29.6 Meg/100gr). Dicha figura muestra una reducción significativa de la capacidad de intercambio catiónico del suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales. En el suelo problema donde se cultivó *Dactylis glomerata*, la CIC se redujo a 2.73 Meg/100gr y en el suelo donde se cultivó el *Trifolium pratense*, se redujo a 4.20 Meg/100gr. Ello se ve reflejado, puesto que la biodisponibilidad de metales presentes en el suelo problema dependen en gran medida de la capacidad de intercambio catiónico.

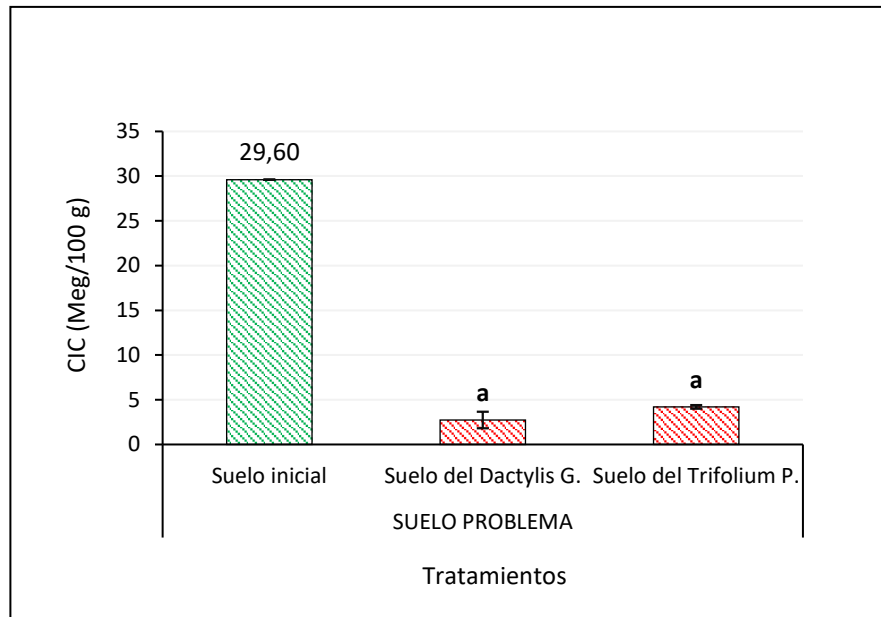


Figura 14: Comparación de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

4.5 Concentración de metales pesados después del tratamiento

a) Arsénico total

En la figura 15 se muestran los resultados de la concentración de Arsénico total que se encontró en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia la concentración inicial. Los resultados de Arsénico en el suelo problema al finalizar el tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* no revelaron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Asimismo, el análisis gráfico del comportamiento del As evidencia una reducción de concentración en relación con la concentración inicial (6.78 mg/kg), con concentraciones promedias de 1.86 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Trifolium pratense* y 2.23 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Dactylis glomerata*.

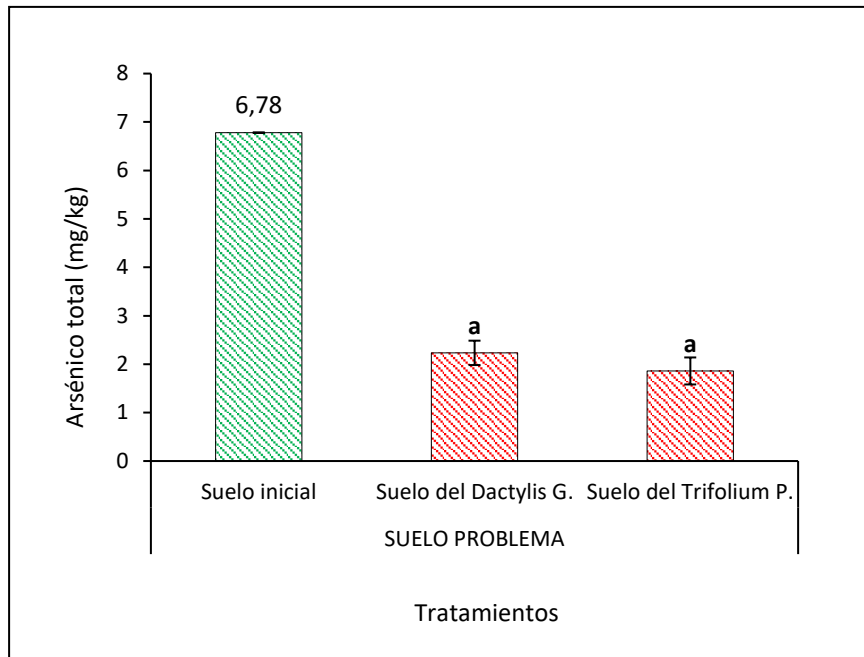


Figura 15: Comparación de la concentración de Arsénico en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

b) Cobre total

En la figura 16 se muestran los resultados de la concentración de Cobre total que se encontró en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia la concentración inicial. Los resultados no revelaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de Cu entre ambos tratamientos ($p > 0.05$). Asimismo, la comparación de los resultados con concentración inicial de cobre (68.14 mg/kg), reflejan una reducción en la concentración de este metal, con valores promedio de 17.03 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Trifolium pratense* y 6.30 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Dactylis glomerata*.

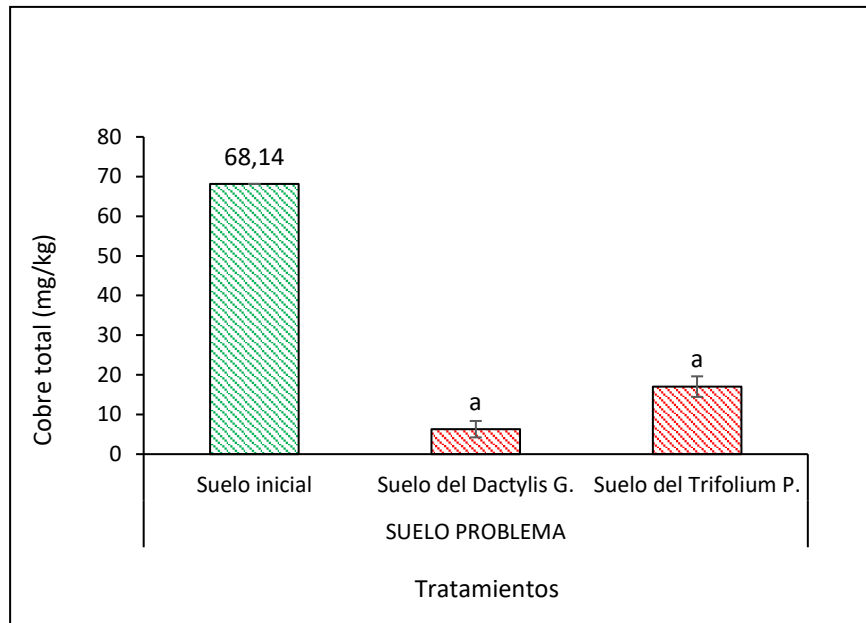


Figura 16: Comparación de la concentración de Cobre en el suelo problema. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

c) Hierro total

En la figura 18 se muestran los resultados de la concentración de Hierro total que se encontró en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia la concentración inicial. Los resultados revelaron que no existe diferencias significativas de la concentración de Fe en ambos tratamientos ($p > 0.05$). Asimismo, se puede observar gráficamente que existe diferencias con relación a la concentración inicial de Hierro (840.79 mg/kg), puesto que, se refleja una reducción en la concentración de este metal con valores promedio de 690.12 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Trifolium pratense* y 689.07 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Dactylis glomerata*.

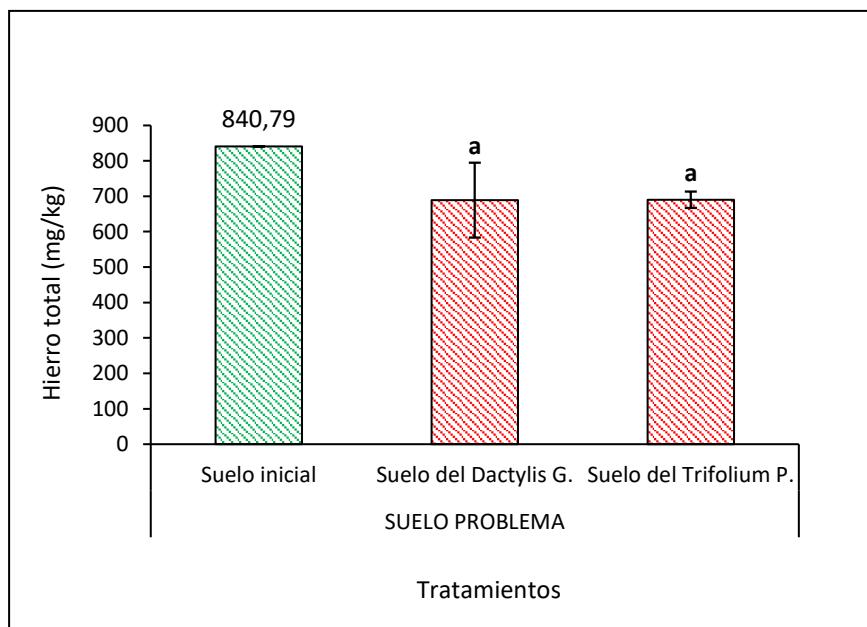


Figura 17: Comparación de la concentración de Hierro en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

d) Plomo total

En la figura 18 se muestran los resultados de la concentración de Plomo total que se encontró en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia la concentración inicial. Los resultados evidenciaron que no existe diferencias significativas de la concentración de Pb entre ambos tratamientos ($p < 0.05$). Asimismo, se puede observar que numéricamente existen diferencias con relación a la concentración inicial de plomo (254.91 mg/kg), puesto que, se refleja reducción en la concentración de este metal con valores promedio de 145.23 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Trifolium pratense* y 156.83 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Dactylis glomerata*.

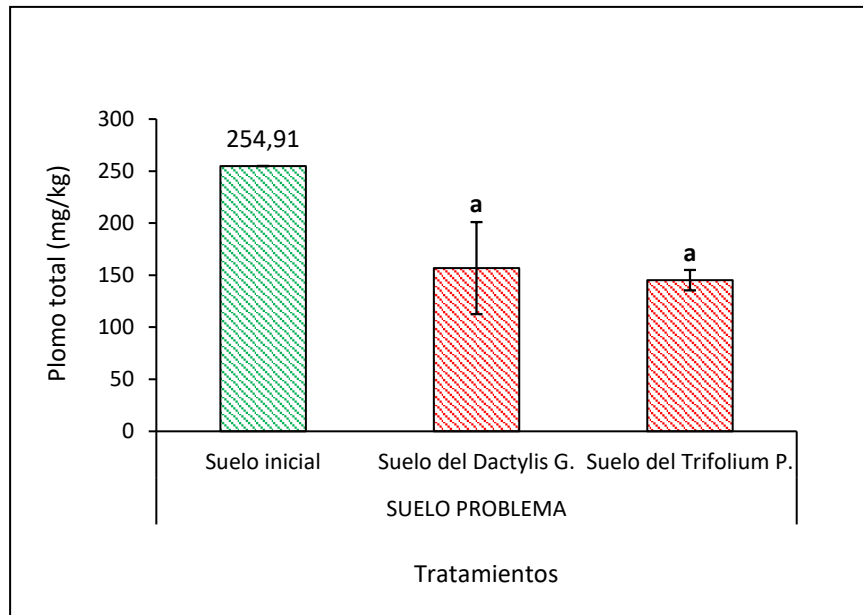


Figura 18. Comparación de la concentración de Plomo en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

e) Zinc total

La figura 19 muestra los resultados de la concentración de Zinc total que se encontró en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* teniendo como referencia la concentración inicial. Los resultados revelaron que no existen diferencias estadísticamente significativas en la concentración de Zn en ambos tratamientos. Además, se puede observar que numéricamente existe diferencias con relación a la concentración inicial de Zn (138.64 mg/kg), puesto que, se refleja una reducción en la concentración de este metal, con valores promedio de 84.12 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Trifolium pratense* y 91.40 mg/kg en el suelo donde se cultivó *Dactylis glomerata*.

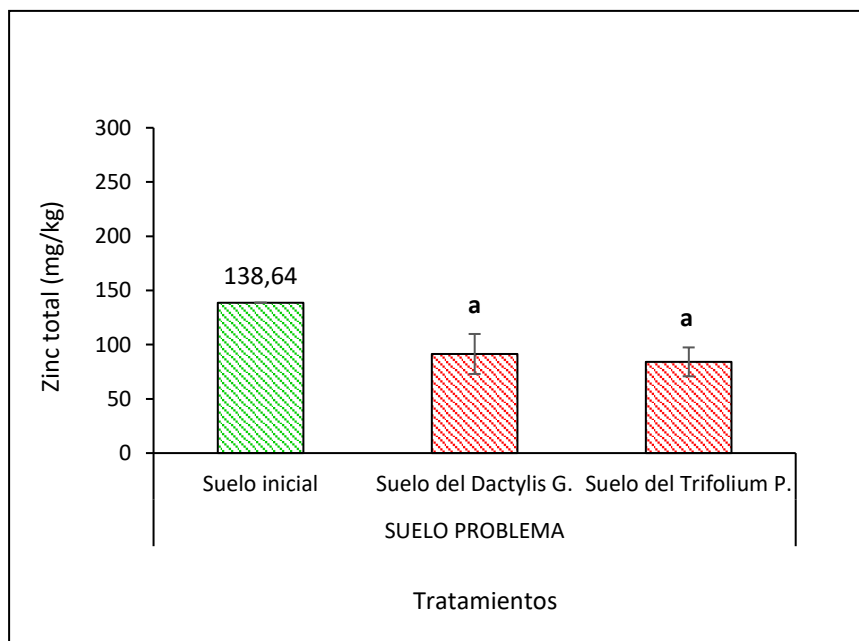


Figura 19. Comparación de la concentración de Zinc en el suelo problema después del tratamiento con las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*. Los valores del grupo problema son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba T Student, $p < 0.05$).

4.6 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*

a) Arsénico total

En la figura 20 se muestra la concentración de Arsénico que se encontró en el tejido vegetal (parte aérea y raíz) de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* al finalizar el tratamiento. La comparación de la concentración de As en ambas partes de tejido vegetal y entre las dos especies evaluadas, revelan que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Se observa que, en la parte aérea de ambas especies de plantas, la desviación estándar es alta, lo que demuestra la alta variabilidad de las concentraciones encontradas en las réplicas en esta parte del tejido. El análisis visual de las gráficas muestra que en la parte aérea la concentración promedio es mayor que en las raíces de ambas especies de plantas; sin embargo, esta afirmación no se puede corroborar estadísticamente.

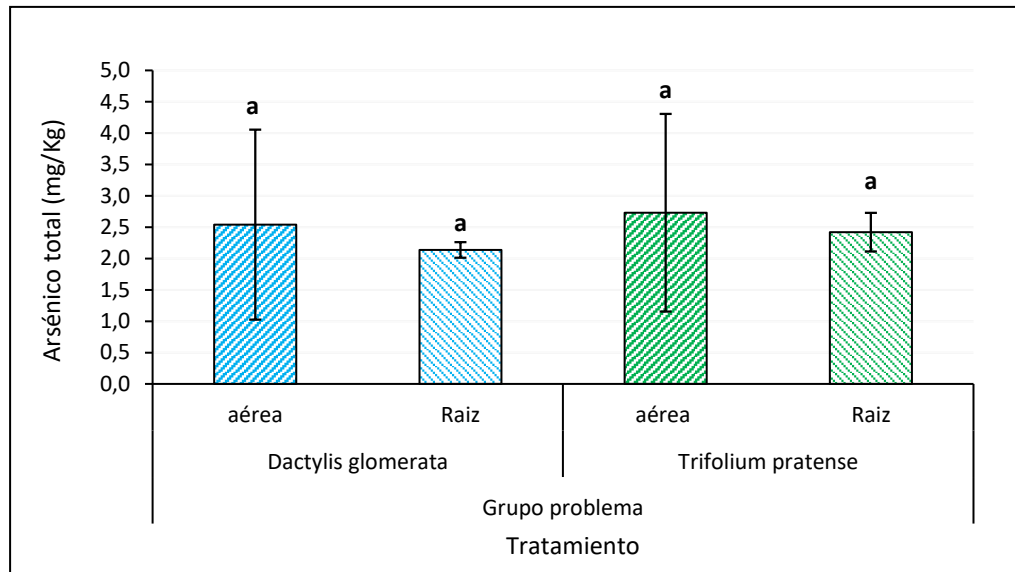


Figura 20: Comparación de la concentración de Arsénico en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre el suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).

b) **Cobre total**

En la figura 21 se muestra la concentración de Cobre que se encontró en el tejido vegetal (aérea y raíz) del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*, cultivadas sobre el suelo problema. Los resultados de concentración de Cobre en el tejido vegetal de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* demuestran que si existes diferencias significativas de por lo menos de uno de los tratamientos estudiados ($p < 0.05$). De ello se puede apreciar que, de las 2 especies del grupo problema, el *Dactylis glomerata* concentró mayor cantidad de Cu en sus raíces (50.61 mg/kg) comparado con *Trifolium pratense* (27.24 mg/kg). No hubo diferencias entre la acumulación de Cu en la parte aérea entre ambas especies. Asimismo, se ve reflejado que hay mayor acumulación de cobre en la raíz de los 2 tipos de especies estudiadas comparado con la parte aérea, lo que indica un caso de fitoacumulación de Cobre.

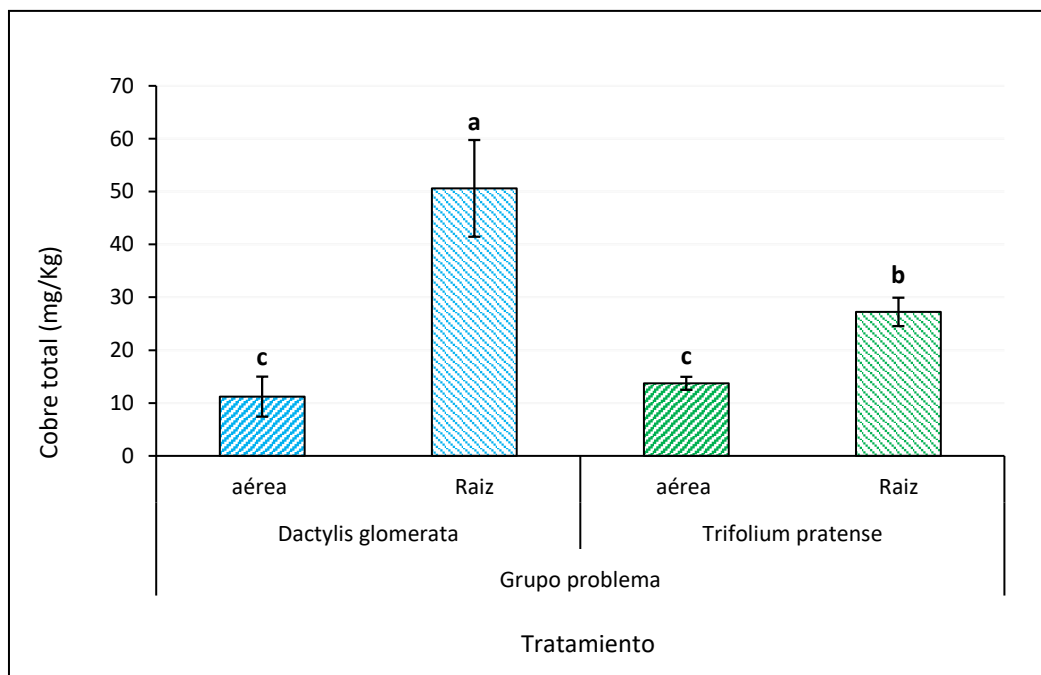


Figura 21: Comparación de la concentración de Cobre en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).

c) Hierro total

La figura 23 muestra la concentración de Hierro que se encontró en el tejido vegetal (parte aérea y raíz) de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*, cultivadas sobre el suelo problema. La comparación de la concentración de Fe en ambas partes de tejido vegetal y entre las dos especies de plantas evaluadas, revelan que no existen diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$). Se observa que, en la parte aérea, de ambas especies de plantas y en la raíz de *Dactylis glomerata*, la desviación estándar es alta, lo que demuestra la alta variabilidad de las concentraciones encontradas en las réplicas. El análisis visual de las gráficas muestra que en la parte radicular la concentración promedio es mayor que en la biomasa aérea de ambas especies de plantas; sin embargo, esta afirmación no se puede corroborar estadísticamente.

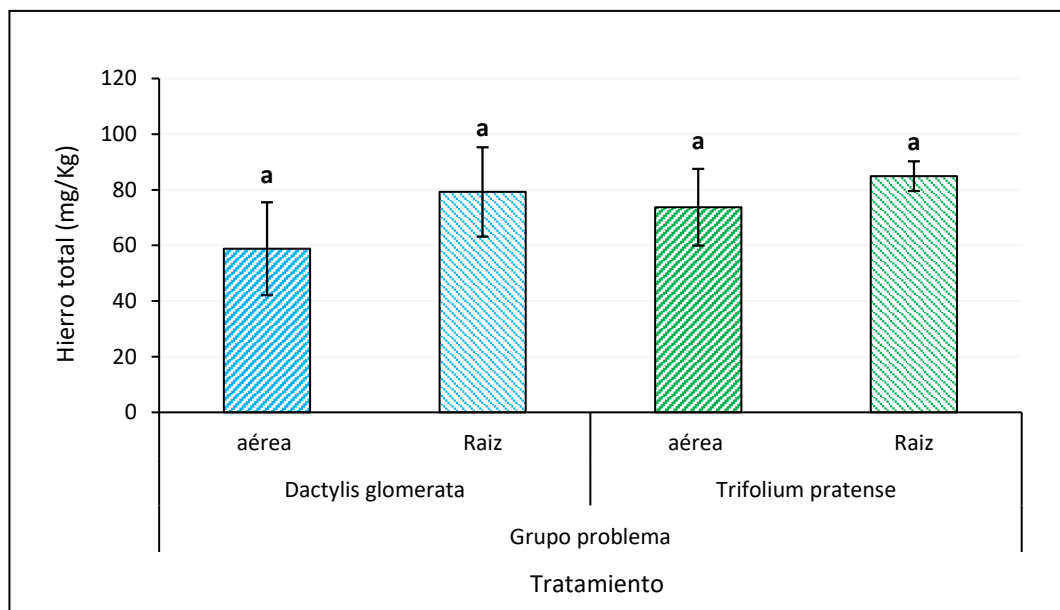


Figura 22: Comparación de la concentración de Hierro en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).

d) Plomo total

La figura 23 muestra la concentración de Plomo que se encontró en el tejido vegetal (parte aérea y raíz) de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*, cultivadas sobre el suelo problema y suelo control. Los resultados de concentración de plomo acumulado en el tejido vegetal de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* demuestran que existe diferencia significativa por lo menos de uno de los tratamientos estudiados ($p < 0.05$). De ello se puede apreciar que, *Dactylis glomerata* fue la especie vegetal que concentró la mayor cantidad de plomo en sus tejidos, especialmente en sus raíces (52.40 mg/kg; $p < 0.05$). La concentración de Pb en la parte aérea de las dos plantas y la raíz de *Trifolium pratense* fueron más bajas y no presentaron diferencias significativas entre ellas.

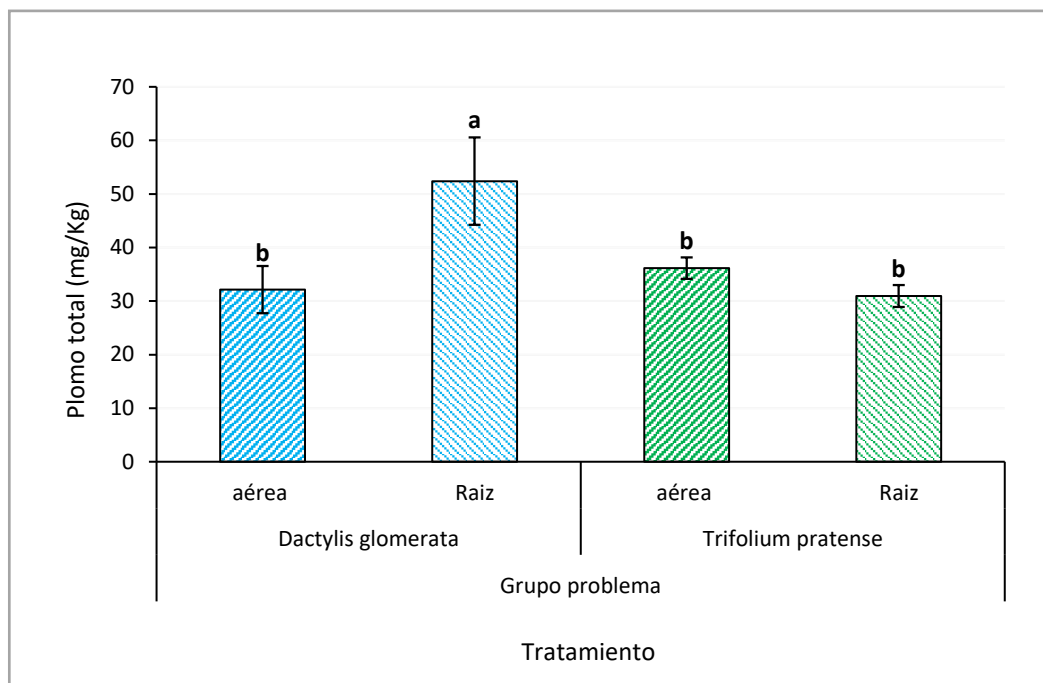


Figura 23: Comparación de la concentración de Plomo en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).

e) Zinc total

La figura 24, nos muestra la concentración de Zinc que se encontró en el tejido vegetal (parte aérea y raíz) del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*, cultivadas sobre el suelo problema y suelo control. Los resultados demuestran que las medias de los tratamientos son estadísticamente iguales o no existen diferencias significativas entre ellos. Se observa que, en la parte aérea y radicular de *Dactylis glomerata*, las desviaciones estándar son muy altas, lo que demuestra la alta variabilidad de las concentraciones encontradas en las réplicas de los análisis realizados en las plantas de esta especie. El análisis visual de las gráficas muestra que en la parte radicular de *Trifolium pratense* la concentración promedio fue menor que en la parte aérea de ambas especies de plantas y la raíz de *Dactylis glomerata*; sin embargo, esta afirmación no se puede corroborar estadísticamente.

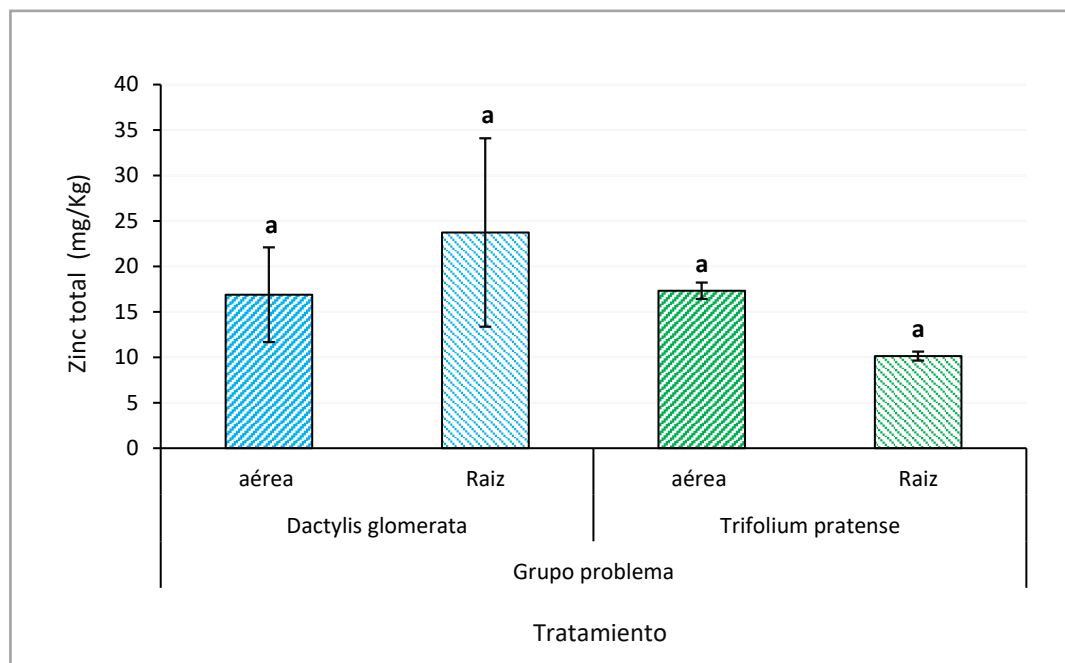


Figura 24: Comparación de la concentración de Zinc en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema. Los valores son promedios de tres repeticiones. Promedios con diferente letra son significativamente diferentes (Prueba Tukey, $p < 0.05$).

4.7 Factor de translocación y bioconcentración

En la tabla 15 se muestran los resultados del factor de translocación y bioconcentración de metales pesados por las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* tanto para el grupo control, como para el grupo problema.

Tabla 15: Factor de translocación y bioconcentración de metales pesados en el grupo problema.

Especie	Suelo problema después del tratamiento	Parte Aérea	Raíz	TF	Clasificación TF	FBC (Aérea)	Clasificación FBC	FBC (Raíz)	Clasificación FBC
<i>Dactylis glomerata</i>									
Arsénico	2,23	2,54	2,14	1,189	Fitoextractora	1,14	Acumuladora	0,96	Excluyente
Cobre	6,30	11,21	50,61	0,222	Fitoestabilizadora	1,78	Acumuladora	8,03	Acumuladora
Hierro	689,07	58,82	79,22	0,743	Fitoestabilizadora	0,09	Excluyente	0,11	Excluyente
Plomo	156,83	32,14	52,40	0,613	Fitoestabilizadora	0,20	Excluyente	0,33	Excluyente
Zinc	91,40	16,88	23,73	0,712	Fitoestabilizadora	0,18	Excluyente	0,26	Excluyente
<i>Trifolium pratense</i>									
Arsénico	1,86	2,73	2,42	1,128	Fitoextractora	1,47	Acumuladora	1,30	Acumuladora
Cobre	17,03	13,73	27,24	0,504	Fitoestabilizadora	0,81	Excluyente	1,60	Acumuladora
Hierro	689,82	73,73	84,90	0,868	Fitoestabilizadora	0,11	Excluyente	0,12	Excluyente
Plomo	145,23	36,15	30,94	1,168	Fitoextractora	0,25	Excluyente	0,21	Excluyente
Zinc	84,12	17,32	10,13	1,709	Fitoextractora	0,21	Excluyente	0,12	Excluyente

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Concentración inicial de metales pesados en el suelo control y suelo problema

Las concentraciones de los metales estudiados presentes en el suelo control fueron bajas, con concentraciones menores a 4 mg/Kg para As, Cu y Pb y 62.69 mg/Kg para Zn; e inferiores a lo establecido en el CEQGs (2007) para suelo agrícola, por lo que se puede afirmar, que el suelo control, es un suelo no contaminado por As, Cu, Pb y Zn, excepto Fe, con una concentración significativa de 476.8 mg/kg, que no se encuentra dentro de los valores establecidos en CEQGs (2007); sin embargo, son escasos los estudios realizados en temas relacionados a la concentración de metales pesados en suelos del sector Wilcahuain por lo que se invita a los lectores a desarrollar investigaciones relacionadas a estos temas.

En el caso del suelo problema, las concentraciones de Cu y Pb superaron los valores establecidos en CEQGs (2007), mientras que las concentraciones de As y Zn estuvieron por debajo de lo establecido en CEQGs (2007). De ello, se puede afirmar que, el suelo problema, es un suelo contaminado por Cobre y Plomo y con valores significativos de Arsénico, Zinc y Hierro. Ello se ve relacionado a lo descrito por Valdivia & Ramírez (2018), quienes, en la investigación desarrollada en el pasivo ambiental minero Santo Toribio determinaron la presencia de 4 metales pesados tales como Cu, Zn, Pb y Fe e indicaron que la presencia de los tres primeros elementos obedecía a las actividades de explotación y característica de mina polimetálica; y la presencia de Fe estaría relacionado a los desechos mineros

con contenido de óxidos de hierro y pirita presentes en el pasivo ambiental minero Santo Toribio.

5.2 Características biométricas de las especies vegetales

Los resultados obtenidos en la semana 16, al finalizar el estudio, indicaron que existen diferencias significativas en las características biométricas de las especies vegetales, puesto que el *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivados sobre suelo control presentaron mayor vigorosidad durante su desarrollo, con una altura y enraizamiento mayor a los 20 cm, con hojas grandes de color verde y por ende mayor biomasa; a diferencia de lo cultivado sobre el suelo problema, en el que presentaron síntomas de enanismo, con alturas de 4cm en el caso de *Trifolium pratense*, marchitamiento y coloración amarillenta-morada en las hojas y en algunas ocasiones la muerte vegetal, lo que indica que las especies que se desarrollaron sobre el suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio, presentaron síntomas de fitotoxicidad al ser sometidas a altas concentraciones de Cu, Pb y demás metales pesados, Ello se ve avalado por Vega (2018), quien afirma en su tesis que, la altura de la planta, número de hojas y longitud de la raíz dependen de la proporción de relave en el sustrato, es decir, la vigorosidad de las plantas, será menor en los tratamientos que tienen mayor concentración de metales pesados. Asimismo, Cargua (2010) indica que las especies vegetales pueden presentar problemas fisiológicos como reducción del tamaño y vigor en su crecimiento, cuando están expuestas a altas concentraciones de metales pesados.

Asimismo, la figura 8 refleja que el *Dactylis glomerata*, que en las primeras semanas presentó una altura reducida; a partir de la octava semana evidenció una mejora en su desarrollo fisiológico alcanzando una altura máxima de 14.3 cm al finalizar el tratamiento. Esto debido a que el *Dactylis glomerata* sufrió un proceso de adaptación a la presencia de metales pesados. Según Piñero (2014), “este fenómeno es característico de las especies de plantas pertenecientes al grupo de los pastos y gramíneas”. Del mismo modo Castillo (2005) indica que, “cada especie vegetal posee mecanismos propios de adaptación a los metales pesados y que la adaptación está referida a cambios bioquímicos en la superficie radicular que modifican la actividad enzimática”.

5.3 Parámetros fisicoquímicos del suelo

En este caso, se han estudiado los parámetros fisicoquímicos tanto para el suelo problema y el suelo control.

5.3.1 pH

De acuerdo con los resultados de pH del suelo en la etapa inicial del proyecto e interpretación utilizando la NOM-021-RECNAT (2000) el suelo problema se caracterizó por ser “fuertemente ácido” con un valor de 4.35. Después del tratamiento con *Dactylis glomerata*, el pH sufrió un ligero incremento a 4.5. Del mismo modo, después del tratamiento con *Trifolium pratense*, el pH del suelo sufrió un ligero incremento a 4.47, manteniendo la clasificación de “fuertemente ácido”; para ambos casos sin registrarse diferencias significativas entre ellos.

En caso del suelo control, después de tratamiento con *Dactylis glomerata*, el pH sufrió una ligera reducción, bajando de 5.63 a 5.60, manteniendo la clasificación como “moderadamente ácido”; del mismo modo, después del tratamiento con *Trifolium pratense*, el pH sufrió una ligera reducción a 5.58 manteniendo la clasificación de “moderadamente ácido”. De todo ello podemos afirmar que los 2 tipos de suelos se caracterizaron por presentar un pH entre moderadamente ácido y fuertemente ácido, por ende, los metales pesados presentes en el suelo problema y suelo control se encontraron biodisponibles y solubles para la absorción por el tejido de las especies vegetales. Según Volke, Velasco, et al., (2005) “los metales generalmente son móviles a pH bajo, en forma de especies iónicas libres o como órgano-metales solubles lo que facilita la absorción de estos por los tejidos de las especies vegetales; en pH alcalino se forman carbonatos o fosfatos minerales insolubles”.

5.3.2 Materia orgánica

El contenido inicial de materia orgánica presente en el suelo problema se caracterizó por ser de clase media con un valor de 8.51%; después del tratamiento con *Dactylis glomerata* este valor se redujo a 6.91% y después del tratamiento con *Trifolium pratense* se redujo a 6.94 %; sin embargo, en ambos casos se mantuvo la clasificación “media”. Por otro lado, en el caso del suelo

control, después del tratamiento con el *Dactylis glomerata*, la materia orgánica sufrió una reducción de 4.08% a 2.21%, pasando de la clasificación “baja” a “muy baja”, de igual manera, después del tratamiento con el *Trifolium pratense* se registró una ligera reducción de materia orgánica de 4.08% a 3.98%, pasando también de la clasificación “baja” a “muy baja”.

En efecto, esta clasificación de materia orgánica resultó favorable para la movilidad de los metales pesados presentes en el suelo problema y control, puesto que, cuanto menor sea la cantidad de materia orgánica en un suelo, la probabilidad de formación de complejos organometálicos es también menor y por ende los metales pesados se encuentran biodisponibles para la absorción por las especies vegetales. Dicha información es ratificada por Alloway (1995) quien afirma que, “la biodisponibilidad de los metales pesados disminuye al incrementarse la cantidad de materia orgánica en el suelo y que por lo general las plantas no absorben grandes complejos organometálicos”.

5.3.3 Capacidad de intercambio catiónico

En función de los resultados, el valor inicial de la CIC del suelo problema fue de 29.6 Meg/100gr clasificándola como “alta” según la NOM-021-RECNAT (2000). Posterior al tratamiento con las especies vegetales se evidenció una reducción significativa de este valor, puesto que después del tratamiento con *Dactylis glomerata* se registró una reducción a 2.7 Meg/100gr, y después del tratamiento con *Trifolium pratense*, hubo una reducción significativa a 4.2 Meg/100gr, pasando de la clasificación “alta” a “Muy baja” en ambos casos.

En cuanto al suelo control, después del tratamiento con *Dactylis glomerata*, se registró una reducción significativa de la CIC, de 41.12 Meg/100gr a 6.2 Meg/100gr, pasando de la clasificación “Muy alta” a “baja”, del mismo modo, después del tratamiento con *Trifolium pratense*, hubo una reducción significativa de la CIC de 41.12 Meg/100gr a 3.2 Meg/100gr, pasando de clasificación “Muy alta” a “Muy baja”.

De lo descrito anteriormente, las condiciones finales de la CIC se mostraron favorables para la biodisponibilidad de metales pesados presentes en el suelo, ello debido a la reducción significativa de este parámetro por las

propiedades del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* que, como bien lo sostiene Jiménez (2017) “la biodisponibilidad de los metales pesados no solo se le atribuye a las características fisicoquímicas del suelo sino también a las especies de plantas y microorganismos presentes en el suelo con capacidad de extraer, estabilizar y bioacumular los metales pesados”. En ese sentido, los valores bajos de la CIC son una característica que favorece la biodisponibilidad de los metales pesados presentes en el suelo, ello lo confirma Lago (2018) quien asegura que, “cuanto mayor sea la CIC del suelo, mayor será la sorción e inmovilización de los metales pesados y cuanto más baja sea la CIC del suelo, mayor será la disponibilidad de metales”.

5.4 Concentración de metales pesados en el suelo problema después del tratamiento

En el caso del Arsénico, metal altamente tóxico, presentó una concentración inicial, de 6.78 mg/kg, valor por debajo de lo establecido en el CEQGs (2007) pero significativa por su nivel de toxicidad, el cual tras el tratamiento con la especie vegetal *Dactylis glomerata*, disminuyó en un 67.11% su concentración inicial obteniendo como resultado final un valor de 2.23mg/kg; y tras el tratamiento con la especie vegetal *Trifolium pratense* la concentración inicial se redujo en un 72.56% obteniendo 1.86 mg/kg de Arsénico como resultado final. En ambos tratamientos se observó una disminución de la concentración de Arsénico, sin embargo, hubo mayor reducción en el tratamiento con *Trifolium pratense*.

Por otro lado, el Cobre presentó una concentración inicial de 68.14 mg/kg, valor que superó el estándar de calidad ambiental según el CEQGs (2007) indicando toxicidad para el suelo. Tras el tratamiento con la especie vegetal *Dactylis glomerata*, esta concentración inicial disminuyó en mayor medida hasta un 90.75% de su concentración inicial llegando a obtener 6.3mg/kg y tras el tratamiento con *Trifolium pratense* la concentración se redujo en un 75.01% hasta obtener un valor de 17.03 mg/kg; en ambos tratamientos se reflejó una disminución de la concentración de Cobre a valores por debajo del estándar de calidad ambiental establecido en el CEQGs (2007).

En cuanto al Hierro, los resultados arrojaron una concentración inicial de 840.79 mg/kg, metal que aunque no se encuentra estipulado en el CEQGs (2007)

su estudio es de importancia por su alto grado de concentración en el pasivo ambiental minero Santo Toribio. Tras el tratamiento con la especie vegetal *Dactylis glomerata*, esta concentración inicial disminuyó en un 18.04%, es decir, a 689.07 mg/kg y tras el tratamiento con la especie vegetal *Trifolium pratense* la concentración se redujo en un 17.92% hasta alcanzar una concentración de 690.12 mg/kg; en ambos tratamientos se obtuvo una reducción ligera de la concentración de Hierro en el suelo, lo que significa que ambas especies vegetales absorbieron el Hierro en sus tejidos en cantidades esenciales para su correcto desarrollo, pues, como lo indica Bruaúes (1903) “el hierro se encuentra en las plantas en pequeñas proporciones y la falta en absoluto de este metal no permitiría un crecimiento normal de las plantas presentando hojas amarillas y pálidas”.

El Plomo presentó una concentración inicial de 254.91 mg/kg, valor que superó el estándar de calidad ambiental según el CEQGs (2007) indicando toxicidad para el suelo, el cual, tras el tratamiento con la especie vegetal *Dactylis glomerata*, dicha concentración inicial disminuyó en un 38.49%, es decir, a 156.8 mg/kg; y tras el tratamiento con *Trifolium pratense* la concentración inicial se redujo en un 43.03% hasta alcanzar una concentración de 145.23 mg/kg; en ambos tratamientos se registró una reducción de la concentración de Plomo disminuyendo los valores incluso por debajo de lo establecido en el CEQGs (2007). Asimismo, se evidenció mayor reducción de este metal tras el tratamiento con *Trifolium pratense*.

Al igual que el Arsénico, la concentración inicial de Zinc (138.64 mg/kg) estuvo ligeramente por debajo de lo establecido en el CEQGs (2007); sin embargo, su estudio es de importancia por su nivel de toxicidad, el cual, tras el tratamiento con la especie vegetal *Dactylis glomerata*, dicha concentración inicial disminuyó en un 34.07 % hasta alcanzar 91.4 mg/kg; y tras el tratamiento con la especie vegetal *Trifolium pratense* la concentración se redujo en un 39.32 % hasta alcanzar 84.12 mg/kg de concentración. En ambos tratamientos se una registró disminución de la concentración de Zinc siendo mayor tras el tratamiento con *Trifolium pratense*.

De los resultados obtenidos podemos afirmar que las concentraciones iniciales de los metales pesados presentes en el suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio, han reducido su concentración significativamente en la mayoría de los casos, tras ser tratados con las especies vegetales, *Dactylis*

glomerata y *Trifolium pratense*; ello obedece a las características remediadoras de las especies vegetales y las propiedades fisicoquímicas del suelo que hicieron posible la reducción de las concentraciones de estos metales. Tal como menciona Solano (2005), los metales pesados en el suelo pueden quedar atrapados en el mismo o también pueden ser movilizados por las soluciones del suelo, siempre en cuando existan condiciones que la favorezcan, es decir, en general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: 1. pueden quedar retenidos en el suelo, 2. pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas, 3. pueden pasar a la atmósfera por volatilización y 4. pueden moverse a las aguas superficiales o subterráneas; siendo el segundo caso, la vía que los metales pesados estudiados en el proyecto tomaron tras el tratamiento con las especies vegetales, puesto que en la siguiente sección capítulo se podrá evidenciar la presencia de los metales pesados en el tejido vegetal del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

5.5 Concentración de metales pesados en el tejido vegetal del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivados sobre el suelo problema

Los resultados de la concentración de metales pesados en el tejido de las especies vegetales indican que tanto el *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* son especies capaces de absorber metales pesados en su tejido vegetal, ya sea en la raíz o parte aérea. Para el caso del Arsénico, los datos obtenidos demostraron que el *Trifolium pratense* concentró 2,73 mg/Kg en la parte aérea y 2,42 mg/Kg en la raíz, del mismo modo el *Dactylis glomerata* concentró 2.54 mg/Kg en la parte aérea y 2.14 mg/Kg en la raíz. En ambos casos se evidencia la fitoextracción de Arsénico puesto que hubo mayor concentración de este metal en la parte aérea, siendo el *Trifolium pratense* la especie vegetal que absorbió mayores cantidades de Arsénico y por ende, su aplicación es de suma importancia en la fitorremediación de suelos contaminados con Arsénico.

Por otro lado, los resultados de concentración de Cobre en el tejido de las especies vegetales demostraron que el *Dactylis glomerata* concentró 50.61 mg/Kg en la raíz y 11.21 mg/Kg en la parte aérea, del mismo modo el *Trifolium pratense* concentró 27.24 mg/Kg en la raíz y 13.73 mg/Kg en la parte aérea, en ambos casos se evidenció la fitoestabilización del Cobre, puesto que se encontró mayor concentración de este metal en las raíces que en la parte aérea de las especies

vegetales estudiadas, siendo el *Dactylis glomerata* la especie con mayor capacidad para retener altas concentraciones de Cobre.

En cuanto al Hierro se evidenció que, el *Trifolium pratense* concentró 84.90 mg/Kg en la raíz y 73.73 mg/Kg en la parte aérea, del mismo modo el *Dactylis glomerata* concentró 79.22 mg/Kg en la raíz y 58.82 mg/Kg en la parte aérea, igual que el caso anterior se demuestra que hubo fitoestabilización de Hierro, puesto que se registró mayor concentración de este metal en parte radicular de las especies vegetales estudiadas, y de la misma forma se evidencia que el *Trifolium pratense* tuvo mayor capacidad de absorción de Hierro en su tejido vegetal.

Los resultados obtenidos respecto a la concentración de Plomo en el tejido de las especies vegetales evidenciaron que, el *Dactylis glomerata* concentró mayor cantidad de este metal en sus raíces con una cifra de 52.40 mg/Kg con respecto a la parte aérea, 32.14 mg/Kg, lo que evidencia que esta especie tiene capacidad de fitoestabilización; por el contrario, el *Trifolium pratense* concentró una mayor cantidad de este metal en la parte aérea con una cifra de 36.15 mg/Kg con respecto a la concentración en la raíz que fue de 30.94 mg/Kg; en ese sentido, estamos hablando de la capacidad de fitoextracción de Plomo. Adicional a ello, se evidenció que el contenido total de Plomo fue mayor en el tejido del *Dactylis glomerata*.

Con respecto a la concentración de Zinc en el tejido de las especies vegetales, los resultados evidenciaron que, el *Dactylis glomerata* concentró una mayor cantidad de este metal en sus raíces con un valor de 23.73 mg/Kg con respecto a la parte aérea que fue de 16.88 mg/Kg, lo que supone que esta especie tiene capacidad de fitoestabilización; por el contrario, el *Trifolium pratense* concentró una mayor cantidad de este metal en la parte aérea con un valor de 17.32 mg/Kg con respecto a la concentración en la raíz que fue de 10.13 mg/Kg, en ese sentido, estamos hablando de la capacidad de fitoextracción de Zinc. Adicional a ello, se evidenció que el contenido total de Zinc fue mayor en el tejido del *Dactylis glomerata*.

En efecto, el *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* demostraron ser especies vegetales capaces de absorber metales pesados (As, Cu, Fe Pb y Zn) ya sea en la parte radicular o parte aérea; la presencia de metales en el tejido vegetal se debería a los mecanismos de las plantas que ayudan a absorber agua y minerales disueltos

en el sustrato a través de sus raíces; y en algunos casos translocan estos metales hacia sus hojas y tallos. Dicha afirmación es respaldada por Yoon, citado en Falcon (2017), quien menciona que en la corteza terrestre existen ciertas especies vegetales con capacidades fitorremediadoras, por su habilidad y potencial de desarrollo en condiciones de toxicidad, especies que no solamente son capaces de acumular grandes cantidades de sustancias tóxicas en sus raíces; sino también, pueden transportarlos desde la raíz hacia sus tallos y hojas, lo cual resulta muy beneficioso porque gracias a dicho proceso se pueden eliminar agentes contaminantes siguiendo diferentes técnicas. Asimismo, Volke, Velasco, et al. (2005) afirman que “los pastos son el género más idóneo para la fitorremediación por su facilidad de adaptación en diferentes tipos de suelos y climas variados, así como su fácil crecimiento”.

5.6 Factor de translocación y bioconcentración de metales pesados

La tabla 15 muestra los resultados del factor de translocación y bioconcentración de las especies vegetales *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* en función de la concentración de As, Cu, Fe, Pb y Zn en el sustrato y tejido vegetal, de los cuales se indica lo siguiente:

Los resultados obtenidos indican que, el *Dactylis glomerata* tiene capacidad fitoextractora de Arsénico, puesto que $FT > 1$, lo que significa que esta especie traslada eficazmente Arsénico desde sus raíces hacia la parte aérea con potencial de acumular este metal en sus tallos y hojas. Asimismo, la relación entre la concentración de Arsénico en el tejido de la planta con respecto a la concentración de Arsénico en el sustrato, es decir, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} > 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta acumuladora de Arsénico en la parte aérea y con $FBC_{Raíz} < 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta excluyente en la raíz. Por otro lado, también se puede afirmar que el *Trifolium pratense* es una planta con capacidad fitoextractora para Arsénico, puesto que $FT > 1$, significa que esta especie traslada eficazmente Arsénico desde sus raíces hacia la parte aérea con potencial de acumular este metal en sus tallos y hojas. Asimismo, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} > 1$ indica que el *Trifolium pratense* es una planta acumuladora de arsénico en la parte aérea y el $FBC_{Raíz} > 1$, indica que el *Trifolium pratense* una planta acumuladora en la raíz.

Referente al Cobre, se puede afirmar que el *Dactylis glomerata* tiene capacidad fitoestabilizadora para este metal, puesto que $FT < 1$, significa que esta especie tiene potencial para almacenar Cobre en sus raíces, que previamente absorbió del suelo, permitiendo de este modo inmovilizar este contaminante en el suelo, Asimismo, la relación entre la concentración de Cobre en el tejido de la planta con respecto a la concentración en el sustrato, es decir, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} > 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta acumuladora de Cobre en la biomasa aérea y $FBC_{Raíz} > 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta acumuladora de Cobre en la raíz. Por otro lado, también se puede afirmar que el *Trifolium pratense* es una planta con capacidad fitoestabilizadora para Cobre, puesto que $FT < 1$, significa que esta especie tiene el potencial de almacenar Cobre en sus raíces, que previamente absorbió del suelo, permitiendo de este modo inmovilizar este contaminante. Asimismo, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} < 1$ indica que el *Trifolium pratense* es una planta excluyente de Cobre en la biomasa aérea y el $FBC_{Raíz} > 1$, indica que el *Trifolium pratense* es una planta acumuladora de Cobre en la raíz.

En cuanto al Hierro, se afirma que el *Dactylis glomerata* tiene capacidad fitoestabilizadora para este metal, puesto que $FT < 1$, significa que esta especie tiene el potencial de almacenar Hierro en sus raíces, que previamente absorbió del suelo, permitiendo de este modo inmovilizar este contaminante en el suelo, Asimismo, la relación entre la concentración de Hierro en el tejido de la planta con respecto a la concentración en el sustrato, es decir, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} < 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta excluyente de Hierro en la biomasa aérea y $FBC_{Raíz} < 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta excluyente de Hierro en la raíz. Por otro lado, también se puede afirmar que el *Trifolium pratense* es una planta con capacidad fitoestabilizadora para Hierro, puesto que $FT < 1$, significa que esta especie tiene potencial de almacenar Hierro en sus raíces, que previamente absorbió del suelo, permitiendo de este modo inmovilizar este contaminante. Asimismo, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} < 1$ indica que el *Trifolium pratense* es una planta excluyente de Hierro en la biomasa aérea y el $FBC_{Raíz} < 1$, indica que el *Trifolium pratense* es una planta excluyente de Hierro en la raíz.

Respecto al Plomo, podemos afirmar que el *Dactylis glomerata* tiene capacidad fitoestabilizadora para este metal, puesto que $FT < 1$, significa que dicha especie tiene potencial para almacenar Plomo en sus raíces, permitiendo de este modo inmovilizar este contaminante en el suelo. Asimismo, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} < 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta excluyente de Plomo en la biomasa aérea y $FBC_{Raíz} < 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta excluyente de Plomo en la raíz. Por otro lado, se afirma que el *Trifolium pratense* es una planta con capacidad fitoextractora para Plomo, puesto que $FT > 1$, significa que esta especie traslada eficazmente Plomo desde sus raíces hacia la biomasa aérea con potencial de acumular este metal en sus tallos y hojas, Asimismo, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} < 1$ indica que el *Trifolium pratense* es una planta excluyente de Plomo en la biomasa aérea y el $FBC_{Raíz} < 1$, indica que el *Trifolium pratense* es una planta excluyente en la raíz.

Respecto al Zinc, podemos afirmar que el *Dactylis glomerata* tiene capacidad fitoestabilizadora para este metal, puesto que $FT < 1$, significa que esta especie tiene el potencial de almacenar Zinc en sus raíces que previamente absorbió del suelo, permitiendo de este modo inmovilizar este contaminante en el suelo. Asimismo, la relación entre la concentración de Zinc en el tejido de la planta con respecto a la concentración en el sustrato, es decir, el factor de bioconcentración, $FBC_{Aérea} < 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta excluyente de Zinc en la biomasa aérea y $FBC_{Raíz} < 1$ indica que el *Dactylis glomerata* es una planta excluyente de Zinc en la raíz. Por otro lado, se afirma que el *Trifolium pratense* es una planta con capacidad fitoextractora para Zinc, puesto que $FT > 1$, significa que esta especie traslada eficazmente Zinc desde sus raíces hacia la biomasa aérea con potencial de acumular este metal en sus tallos y hojas, Asimismo, el factor de Bioconcentración, $FBC_{Aérea} < 1$ indica que el *Trifolium pratense* es una planta excluyente de Zinc en la biomasa aérea y el $FBC_{Raíz} < 1$, indica que el *Trifolium pratense* es una planta excluyente en la raíz.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- El suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio es un suelo contaminado por altas concentraciones de Cu y Pb los cuales superaron los estándares establecidos en la norma canadiense de calidad ambiental y además de ello, este suelo, contiene valores significativos de Arsénico, Zinc y Hierro.
- El suelo del sector Willcahuain resultó ser un suelo no contaminado por As, Cu, Pb, Fe y Zn, puesto que, la concentración estuvo por debajo de lo establecido en la norma canadiense de calidad ambiental.
- Los metales pesados en el suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio se encontraron móviles y biodisponibles para las especies vegetales, puesto que las propiedades fisicoquímicas, revelaron condiciones propicias para ello; caracterizándose por ser “fuertemente ácido”, con contenido “medio” de materia orgánica y alta capacidad de intercambio catiónico, lo cual tras el tratamiento con las especies vegetales pasó a la clasificación “muy baja”.
- El suelo del sector Wilcahuain, se caracterizó por ser un suelo “moderadamente ácido”, con contenido “bajo” de materia orgánica” y por poseer una “muy alta” capacidad de intercambio catiónico, cuyo valor de este último, disminuyó significativamente tras el tratamiento con las especies vegetales pasando de la clasificación “muy alta” a “muy baja”.
- El *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivados sobre suelo control, presentaron mayor vigorosidad durante su proceso de desarrollo, llegando a superar los 20cm de altura aérea y subterránea, con hojas verdes y grandes y

por ende mayor biomasa, a diferencia del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* cultivados sobre el suelo problema que presentaron síntomas de enanismo, marchitamiento y coloración amarillenta-morada en las hojas y hasta la muerte vegetal de algunas plántulas de *Trifolium pratense*; ello debido a la fitotoxicidad por la presencia de metales pesados en el sustrato.

- Durante el proceso de desarrollo, el *Dactylis glomerata* evidenció su capacidad de adaptación a los metales pesados, por lo que mostró una leve recuperación en crecimiento y biomasa, llegando hasta los 15cm de altura aérea después del segundo mes de haber sido cultivado sobre el suelo extraído aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio.
- Se determinó que el *Trifolium pratense* y *Dactylis glomerata* tienen la capacidad de absorber metales pesados (As, Cu, Fe Pb y Zn) en sus tejidos vegetales, por lo que se afirma que ambas especies concentraron mayor cantidad de Arsénico en la biomasa aérea, mayor cantidad de Cobre en la biomasa radicular y del mismo modo, mayor cantidad de Hierro en la raíz. En cuanto al Plomo, se registró una mayor cantidad de este metal en la biomasa aérea del *Trifolium pratense* y mayor cantidad de Plomo en la biomasa radicular del *Dactylis glomerata*. Finalmente, para el caso del Zinc se evidenció una mayor concentración de este metal en la biomasa aérea del *Trifolium pratense* y una mayor concentración en la biomasa radicular del *Dactylis glomerata*.
- La especie *Dactylis glomerata* presenta potencial de fitoextracción para Arsénico y potencial de fitoestabilización para Cobre, Hierro, Plomo y Zinc. Del mismo modo, el *Trifolium pratense* presenta potencial de fitoextracción para Arsénico, Plomo y Zinc y potencial de fitoestabilización para Cobre y Hierro.

RECOMENDACIONES

- La fitoextracción de Arsénico, Plomo y Zinc, presentes en el suelo aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio, sí es posible haciendo uso de la especie vegetal *Trifolium pratense*, sin embargo, se recomienda utilizar ambas especies de manera asociada por su alta compatibilidad y similitud en cuanto a clima, profundidad de siembra, tipo de suelo, modo de riego y tiempo de maduración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alloway, B. (1995). *Soil Processes and Behavior of Heavy Metals*. In B. J. Alloway (Ed.), *Heavy Metals in Soils* (Blackie Ac).
- Arango Aramburo, M., & Olaya, Y. (2012). Problemática de los pasivos ambientales. *Revista Gestion y Ambiente*, 15(3), 125–133.
- Arias, M., & Mosches, C. (2011). *Pasto Ovillo - Dactylis glomerata*. Especies Forrajeras.
- Benigno Vega, R. E. (2018). Evaluación de la fitoextracción por *Chenopodium ambrosioides* y *Trifolium repens* de Zinc y Plomo del relave de la planta concentradora de minerales "Santa Rosa de Jangas", año 2017. In *Repositorio UNASAM*.
- Botello, A., Rendon von Osten, J., Gold, G., & Agraz, C. (2005). *Golfo de Mexico, contaminación e impacto ambiental: diagnostico y tendencias* (Univ. J. Autónoma de Tabasco (ed.); segunda ed).
- Brugúes, C. (1903). *Química agrícola* (Kessinger Pub Co. (ed.); Murillo).
- Burriel, F., Lucena, F., Arribas, S., & Hernández, J. (2008). *Química analítica cualitativa* (E. PARANINFO (ed.)).
- Callaba, A., Iribarren, I., & Fernández-Canteli, P. (Eds.). (2005). *Protección del suelo y desarrollo sostenible*. Intituto geológico y minero de España.
- CEQGs, (2007). <https://doi.org/10.1177/004947559702700223>
- Cargua, J. (2010). *Determinación de las formas de Cu, Cd, Ni, Pb y Zn y su biodisponibilidad en suelos agrícolas del litoral ecuatoriano*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Castillo, F. (2005). *Biotecnología ambiental* (Editorial).
- Cervantes, C., Espino, A., Acevedo, F., León, I., Rivera, M., Avila, M., Wróbel_k, K., Wróbel_Z, K., Gutiérrez, J., Rodríguez, J., & Moreno, R. (2006). Interacciones microbianas con metales pesados. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 48(2), 203–210.
- Ley N° 28271 - Ley que regula los pasivos ambientales de la Actividad Minera, 53 Minam 1 (2004).
- LEY N° 28611: Ley general del ambiente, Pub. L. No. Ley N°28611, Artículo 31° (2005).
- Cotler, H., Sotelo, E., Dominguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S., & Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica*, 83, 5–71.

- D. S. N° 011-2017-MINAM. (2017). Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo D. S. N° 011-2017-MINAM. *El Peruano*, 12–15.
- Dávila Mego, N., & Walter Villegas, L. (2017). Capacidad fitorremediadora de las especies de flora herbácea silvestre con mayor valor de importancia en la zona de pasivos mineros el Sinchao, distrito de chugur, provincia de Hualgayoc, Cajamarca – Perú 2017. In *Repositorio UPN*. Universidad Privada del Norte.
- De la Rosa, D. (2008). *Evaluación Agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible* (Consejo Superior de Investigaciones Científicas (España) (Ed.); Mundi-Pren).
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597–612.
- Diez, J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas*.
- Down, R., & Lehr, J. (2005). *Environmental instrumentation and analysis handbook* (WILEY-INTERSCIENCE (Ed.)). John Wiley & Sons, INC.
- Falcon, J. (2017). *Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con Zea mays L. en la estación experimental el Mantaro - "Junin" en el año 2016*. Universidad Nacional del Centro del Peru.
- Fraume, N. (2006). *Abecedario ecológico: la mas completa guía de términos ambientales* (Editorial San Pablo (Ed.)).
- Galán, E., & Romero, A. (2008). Contaminación de Suelos por metales pesados. *Sociedad Española de Mineralogía Review*, 10, 48–60.
- García, D. (2011). *Trébol Rojo*.
- Haynes, W. (2012). *Handbook of chemistry and physics* (D. Lide (Ed.); CRC Press).
- Herrera, C. (2019). *Azul orchoro – Dactylis glomerata L.*
- Heuvelop, J., Pardo, J., Quirós, S., & Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología tropical* (EUNED (Ed.)).
- Izquierdo Ramirez, C., & López Rodriguez, C. (2020). *Fitoextracción de metales pesados del suelo del pasivo ambiental minero Aurora-Patricia por las especies herbáceas Carex mandoniana, Equisetum bogotense y Muehlenbeckia tamnifolia, La Encañada, 2020*. Universidad Privada del Norte.
- Jiménez, R. (2017). *Introducción a la contaminación de suelos*: Ediciones Mundi-Prensa. <https://books.google.com.pe/books?id=iZg6DwAAQBAJ>
- Laboratorio de calidad ambiental. (2020). *INFORME DE ENSAYO CS200007*.

- Lago, M. (2018). *Biodisponibilidad de metales pesados en suelos contaminados*. Universidad de Vigo.
- Leon, V. (2017). *Capacidad fitorremediadora de especies altoandinas para suelos contaminados por metales pesados procedentes de la compañía minera Lincuna SAC, en condiciones de invernadero, 2015-2016*. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Loayza, R. (2015). Daños ambientales de la minería en el Perú: ¿Qué hacer con ellos? *CONSORCIO DE UNIVERSIDADES*.
- Martinez, F. (2020). *Trébol Rojo (Trifolium pratense)*.
- D-S N°002-2013: Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, Pub. L. No. DS N° 002-2013-MINAM (2013).
- Resolución ministerial N°085-2014-MINAM, 2 (2014).
- Mohan, M., Díaz, M., & Castro, M. (2003). *Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento del trigo: un enfoque multidisciplinario* (CIMMYT-INIA (Ed.)).
- Olivares, E., & Peña, E. (2009). Bioconcentración de elementos minerales en *amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación. *Interciencia*, 34(9), 604–611.
- Piñero, D. (2014). *De las bacterias al hombre: La evolución*. (Fondo de Cultura Económica (Ed.); La ciencia).
- Ríos Rodríguez, A. (2017). *Comparación de las eficiencias fitorremediadoras de las especies Lolium perenne, Pelargonium hortorum y Fuertesimalva echinata en la reducción de la concentración de plomo en suelos agrícolas del distrito de Huamantanga, 2017*. Universidad César Vallejo.
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: una realidad oculta* (FAO (Ed.)).
- Rodríguez, R., & García-Cortés, Á. (2006). *Los residuos minero-metalúrgicos en el medio ambiente* (Instituto geológico y minero de España (Ed.)).
- Salinas, J. G., & García, R. (1979). Métodos analíticos para suelos ácidos y plantas. In *Centro internacional de agricultura tropical (CIAT)* (Vol. 1, Issue 1).
- Sánchez, A. (2011). *Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable* (Instituto Nacional de Ecología (Ed.)).
- NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis., Diario Oficial de la Federación 1 (2002).
- Skoog, D., & West, D. (2002). Introducción a la química analítica. In *Editorial REVERTÉ, S.A.*

- Solano, A. M. (2005). *Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del Cinc*. Universidad de Murcia.
- Soto, K. (2019). *Eficiencia de la CAIOPHORA CIRSIIFOLIA C. PRESL en la fitorremediación y la acumulación de plomo en suelos contaminados por actividad minera*. Universidad Peruana Unión.
- Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109–123. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Toral, M., Lara, N., Gomez, J., & Richter, P. (2001). Determinación de hierro en fase solida por espectrofotometría derivada de segundo orden. *Boletín de La Sociedad Chilena de Química-SciELO*, 46(1).
- Torres, A. (2018). Factor de bioconcentración y traslocación de especies altoandinas para suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de MESAPATA, en condiciones de invernadero, 2015 - 2016. In UNASAM. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Truchado, D. (2014). *Investigación en salud ambiental y ecotoxicología_Efectos de los metales pesados en las plantas*. 11 de Diciembre.
- Valdivia, D., & Ramírez, Á. (2018). Uso de líquenes Como bioindicadores de contaminación atmosférica en el pasivo ambiental minero Santo Toribio, Áncash, Perú. *The Biologist*, 16(1), 77–95.
- Vázquez, J. (2020). *Dactylis glomerata: características, hábitat, ciclo de vida, cuidados*. LIFERDER.
- Vega, E. O. (2018). *Capacidad de fitoacumulación de Zinc (Zn) y Plomo (Pb) utilizando las especies de chocho silvestre (Lupinus tomentosus) y llantén (Plantago mayor) del relave de la planta concentradora de minerales "Santa Rosa de Jangas"; Huaraz – Ancash – 2017*. Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo."
- Vilcapoma Areche, D. (2019). *Fitoextracción de cadmio y zinc en suelos contaminados utilizando Lactuca sativa var . White Boston , en la Estación Agropecuaria Experimental El Mantaro - Junín 2019 (Vol. 0)*. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Volke, T., Velasco, J., & de la Rosa Perez, D. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación* (Instituto Nacional de Ecología (Ed.); Ilustrada).
- Volke, T., & Velazco, J. A. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados* (Instituto Nacional de Ecología (Ed.); SEMARNAT).
- Volke, T., Velazco, J. A., & de la Rosa Pérez, D. A. (2005). *Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación* (Instituto Nacional de Ecología (Ed.); Ilustrada).

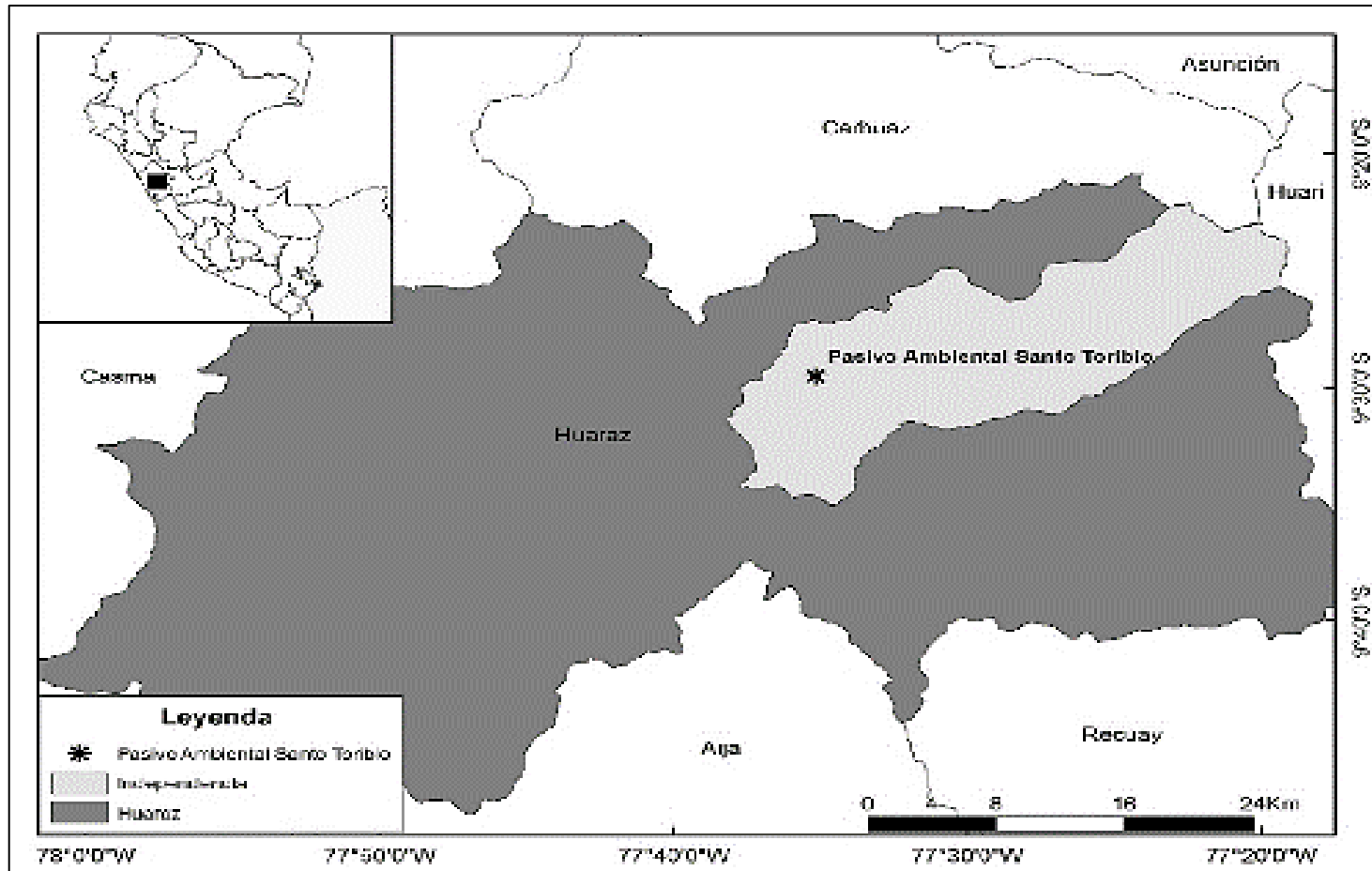
Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *ISRN Ecology*, 2011, 1–20. <https://doi.org/10.5402/2011/402647>

ANEXOS



ANEXO 1

Mapas de ubicación de los puntos de muestreo y ejecución del proyecto



Fuente: Valdivia & Ramírez (2018)

Figura 25: Ubicación del pasivo ambiental minero Santo Toribio, Independencia-Huaraz-Áncash-Perú.



Figura 26: Mapa de ubicación del punto de muestreo del suelo problema – aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio.



Figura 27: Punto de muestreo del suelo control – Sector Wilcahuain.




Figura 28: Mapa de ubicación del área acondicionada para la siembra de las especies vegetales.

ANEXO 2

Instrumentos de recolección de datos de campo

Tabla 16: Formato de campo con el registro de crecimiento del *Dactylis glomerata* y *Trifolium* durante 16 semanas.

FORMATO DE CAMPO					
	EVALUACIÓN DE LA FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS A TRAVÉS DEL <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i> DE SUELOS ALEDAÑOS AL PASIVO AMBIENTAL MINERO SANTO TORIBIO, INDEPENDENCIA – ANCASH, 2019		CÓDIGO:	TESIS-FR-001	
			VERSIÓN:	001	
DESARROLLO FENOLÓGICO DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS					
SEMANA	REPETICION	<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>	
		TRATAMIENTO CONTROL	TRATAMIENTO PROBLEMA	TRATAMIENTO CONTROL	TRATAMIENTO PROBLEMA
1	I	2,3 cm	1,5 cm	0,6 cm	0,3 cm
	II	2,4 cm	2,0 cm	0,7 cm	0,2 cm
	II	2,3 cm	1,7 cm	0,8 cm	0,1 cm
	PROMEDIO	2,3 cm	1,7 cm	0,7 cm	0,2 cm
2	I	3,6 cm	2,3 cm	1,0 cm	1,2 cm
	II	3,8 cm	2,5 cm	1,4 cm	0,6 cm
	II	4 cm	1,9 cm	1,3 cm	0,9 cm
	PROMEDIO	3,8 cm	2,2 cm	1,2 cm	0,9 cm
3	I	6,2 cm	3,2 cm	3,0 cm	1,6 cm
	II	6,0 cm	3,1 cm	2,8 cm	0,9 cm
	II	6,5 cm	2,8 cm	3,2 cm	1 cm
	PROMEDIO	6,2 cm	3,0 cm	3,0 cm	1,2 cm
4	I	8,1 cm	3,7 cm	4,2 cm	2 cm
	II	8,0 cm	3,3 cm	4,3 cm	1,3 cm
	II	9,0 cm	3,0 cm	4,3 cm	1,3 cm
	PROMEDIO	8,4 cm	3,3 cm	4,3 cm	1,5 cm
5	I	9,0 cm	4,0 cm	7,0 cm	2,1 cm
	II	10 cm	3,5 cm	7,9 cm	1,6 cm
	II	9,6 cm	3,2 cm	8,1 cm	1,5 cm
	PROMEDIO	9,5 cm	3,6 cm	7,7 cm	1,7 cm
6	I	12,4 cm	4,2 cm	9,6 cm	2,3 cm
	II	12,6 cm	4,0 cm	8,8 cm	2,0 cm
	II	12,0 cm	3,5 cm	2,4 cm	1,8 cm
	PROMEDIO	12,3 cm	3,9 cm	6,9 cm	2,0 cm
7	I	14,7 cm	4,5 cm	10 cm	2,5 cm
	II	15 cm	4,5 cm	12 cm	2,4 cm
	II	14,2 cm	4,0 cm	12 cm	2,0 cm
	PROMEDIO	14,6 cm	4,3 cm	11,3 cm	2,3 cm

8	I	15,4 cm	5,6 cm	14 cm	2,8 cm
	II	16,8 cm	5,5 cm	14 cm	2,6 cm
	II	16,4 cm	5,8 cm	14,1 cm	2,2 cm
	PROMEDIO	16,2 cm	5,6 cm	14,0 cm	2,5 cm
9	I	17,3 cm	9,0 cm	16 cm	3,1 cm
	II	18 cm	6,0 cm	15,7 cm	2,9 cm
	II	18 cm	6,5 cm	17 cm	2,6 cm
	PROMEDIO	17,8 cm	7,2 cm	16,2 cm	2,9 cm
10	I	19 cm	10 cm	18 cm	3,5 cm
	II	18,9 cm	8,5 cm	18,2 cm	3 cm
	II	18,5 cm	7,0 cm	19 cm	3,2 cm
	PROMEDIO	18,8 cm	8,5 cm	18,4 cm	3,2 cm
11	I	20,4 cm	12 cm	20 cm	3,9 cm
	II	20,8 cm	11 cm	20,3 cm	3,1 cm
	II	19,3 cm	10 cm	20 cm	3,5 cm
	PROMEDIO	20,2 cm	11,0 cm	20,1 cm	3,5 cm
12	I	22 cm	13 cm	22 cm	3,9 cm
	II	22,5 cm	11 cm	21 cm	3,7 cm
	II	21,6 cm	11 cm	22,4 cm	4 cm
	PROMEDIO	22,0 cm	11,7 cm	21,8 cm	3,9 cm
13	I	22,9 cm	14 cm	24 cm	4,0 cm
	II	23 cm	13 cm	23,5 cm	3,9 cm
	II	22 cm	11,2 cm	23,7 cm	4,0 cm
	PROMEDIO	22,6 cm	12,7 cm	23,7 cm	4,0 cm
14	I	24,2 cm	14,2 cm	24,2 cm	4,0 cm
	II	24 cm	13,3 cm	24 cm	4,0 cm
	II	23,9 cm	12,4 cm	23,8 cm	4,3 cm
	PROMEDIO	24,0 cm	13,3 cm	24,0 cm	4,1 cm
15	I	25 cm	14,6 cm	24,5 cm	4,0 cm
	II	25,4 cm	14 cm	24 cm	4,0 cm
	II	24,7 cm	12,8 cm	23,9 cm	4,3 cm
	PROMEDIO	25,0 cm	13,8 cm	24,1 cm	4,1 cm
16	I	26 cm	15 cm	24,5 cm	4,0 cm
	II	26,8 cm	15 cm	24,3 cm	4,0 cm
	II	25 cm	13 cm	23,9 cm	4,3 cm
	PROMEDIO	25,9 cm	14,3 cm	24,2 cm	4,1 cm

Tabla 17: Formato de campo para el registro de la longitud y biomasa del tejido vegetal del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense* en el proceso final del tratamiento (cosecha-semana 16).

		FORMATO DE CAMPO					CÓDIGO TESIS-FR-002	
		EVALUACIÓN DE LA FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS A TRAVÉS DEL <i>Dactylis glomerata</i> y <i>Trifolium pratense</i> DE SUELOS ALEDAÑOS AL PASIVO AMBIENTAL MINERO SANTO TORIBIO, INDEPENDENCIA – ANCASH, 2019					VERSIÓN	001
CARACTERÍSTICAS FENOLÓGICAS EN EL PROCESO FINAL DEL TRATAMIENTO (COSECHA)								
N°	CODIGO DE MUESTRA	<i>Dactylis glomerata</i>			<i>Trifolium pratense</i>			OBSERVACIONES
		Longitudinal (cm)	Peso fresco(gr)	Peso seco (gr)	Longitud final (cm)	Peso fresco(gr)	Peso seco (gr)	
1	MPT - F - R1				4.0 cm	9.21 gr	1.19 gr	MP- <i>Trifolium</i> P.- Parte Aérea – Repetición 1.
2	MPT - R - R1				6.0 cm	5.42 gr	3.89 gr	MP- <i>Trifolium</i> P.- Parte Raiz- Repetición 1
3	MPT - F - R2				4.0 cm	8.61 gr	1.54 gr	MP- <i>Trifolium</i> P.- Parte Aérea – Repetición 2
4	MPT - R - R2				7.0 cm	4.74 gr	4.53 gr	MP- <i>Trifolium</i> P.- Parte Raiz- Repetición 2
5	MPT - F - R3				4.3 cm	11.04 gr	1.48 gr	MP- <i>Trifolium</i> P.- Parte Aérea – Repetición 3
6	MPT - R - R3				5.0 cm	3.42 gr	5.11 gr	MP- <i>Trifolium</i> P.- Parte Raiz- Repetición 3
7	MCT - F - R1				24.2 cm	44.88 gr	9.40 gr	MC- <i>Trifolium</i> P.-Parte Aérea – Repetición 1
8	MCT - R - R1				24.9 cm	41.95 gr	17.56 gr	MC - <i>Trifolium</i> P.- Parte Raiz-Repetición 1
9	MPD - F - R1	15.0 cm	39.53 gr	6.34 gr				MP- <i>Dactylis</i> G.- Parte Aérea - Repetición 1
10	MPD - R - R1	12.0 cm	56.36 gr	8.53 gr				MP- <i>Dactylis</i> G.- Parte Raiz- Repetición 1
11	MPD - F - R2	15.0 cm	42.59 gr	8.41 gr				MP- <i>Dactylis</i> G.- Parte Aérea - Repetición 2
12	MPD - R - R2	13.0 cm	33.49 gr	8.57 gr				MP- <i>Dactylis</i> G.- Parte Raiz- Repetición 2
13	MPD - F - R3	13.0 cm	24.94 gr	7.34 gr				MP- <i>Dactylis</i> G.- Parte Aérea - Repetición 3
14	MPD - R - R3	12.0 cm	57.46 gr	6.52 gr				MP- <i>Dactylis</i> G.- Parte Raiz- Repetición 3
15	MCD - F - R1	25.9 cm	34.49 gr	9.54 gr				MC- <i>Dactylis</i> G.- Parte Aérea - Repetición 1
16	MCD - R - R1	27.5 cm	53.87 gr	9.94 gr				MC- <i>Dactylis</i> G.- Parte Raiz - Repetición 1

ANEXO 3

Informes de ensayo del laboratorio



Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados de la muestra extraída aledaño al pasivo ambiental minero Santo Toribio – MS-01- antes del tratamiento.



INFORME DE ENSAYO CS200007

CLIENTE Razón Social : TESIS * EVALUACIÓN DE LA FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS A TRAVEZ DEL DACTYLIS G. Y TRIFOLIUM P. DE SUELOS ALEDAÑOS AL PASIVO AMBIENTAL MINERO SANTO TORIBIO*
 Dirección : Jr. Proceres N° 102 - Vista Alegre - Huaraz - Huaraz - Ancash
 Atención : Sandra Susana Flores Romero

MUESTRA Producto declarado : Suelo Agrícola
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Aledaño al Relave Minero Santo Toribio
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 12 Agosto 2020
 Fecha de análisis : 12 de Agosto - 19 de Agosto 2020
 Cotización N° : C0200236

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MS - 01
					Fecha de muestreo *	03/07/2020
					Hora de muestreo *	10:30
					Código del Laboratorio	CS200007
FQS ANALISIS FISICOQUIMICO EN SUELOS						
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21 -AS - 02	.....		4.35
FQS19	Materia organica	%	NOM21 -AS - 07	0.01		8.51
FQS34	Capacidad de intercambio catiónico	Meq/100gr	Volumetría	1.0		29.6
MS METALES EN SUELOS						
MS03	Arsénico total	mg/ Kg As	Plata - DDTC	2.00		6.78
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		68.14
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		840.79
MS24	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		254.91
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	CL-PAN	10.00		138.64

* Datos proporcionados por el cliente
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 21 ed. Edition 2017

Huaraz, 19 de Agosto de 2020



MSc. Guim. Mario Leyva Collas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM | UNASAM
 CCP N° 604

"Fin del Informe de Ensayo"

UNASAM

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados de la muestra extraída del sector Wilcahuain – MS-021-antes del tratamiento.



INFORME DE ENSAYO CS200010

CLIENTE Razón Social : TESIS * EVALUACIÓN DE LA FITOEXTRACCIÓN DE METALES PESADOS A TRAVÉS DEL DACTYLIS G. Y TRIFOLIUM PRATENSE DE SUELOS ALEJANDROS AL PASIVO AMBIENTAL MINERO SANTO TORIBIO*
 Dirección : J. Proceso N° 102 - Vista Alegre - Huaraz - Huánuco
 Atención : Sandra Susana Flores Romero

MUESTRA Producto declarado : Suelo Agrícola
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Suelo Wilcahuain
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC200009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No aplica

LABORATORIO Fecha de recepción : 08/Noviembre/2020
 Fecha de análisis : 09 de Noviembre - 13 de Noviembre/2020
 Certificación N° : CO200343

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MS - 021
					Fecha de muestreo ¹	31/10/2020
					Hora de muestreo ¹	11:30
					Código del Laboratorio	CS200010
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO EN SUELOS					
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21-AS-02	.....		5.63
FQS19	Materia orgánica	%	NOM21-AS-07	0.01		4.08
FQS34	Capacidad de intercambio catiónico	Meq/100gr	Volumetrica	1.0		41.2
MS	METALES EN SUELOS					
MS03	Arsénico total	mg/Kg As	Plata - DDTC	2.00		< 2
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		< 4.00
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		476.80
MS24	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		0.883
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	CIPAN	10.00		62.69

¹ Datos proporcionados por el cliente.
 Leyenda: APHA: Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, 23 ed. 2005-2017

Huaraz, 13 de Noviembre de 2020



"Fin del Informe de Ensayo"

[Firma]
 MSc. Dulce María Leyva Colina
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 ICA - UNASAM
 COP N° 604

Resultado de análisis de metales pesados de la parte aérea del *Trifolium pratense* – Tratamiento problema – Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO OT210003

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Proceso N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Durva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Trifolium Pratense P.
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Cotización N° : CC210002

COD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DEFECIÓN	MUESTRA	
					Código de Muestra	MPT - F - RI
					Fecha de muestreo	23/01/2021
					Referencia	1003
					Código de Laboratorio	OT210003
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2,00		< 2,00
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trisilina	1,00		89,410
MTP25	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10,00		17,84
MTP29	Cobalto total	mg/Kg Co	Cuprizona	4,00		12,54
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0,100		35,54

Datos proporcionados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancayo, 12 Febrero de 2021



Mario Loya Galles
 MSc. Galles, Mario Loya Galles
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FOAM - UNASAM
 COP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe.

Resultado de análisis de metales pesados de la parte aérea del *Trifolium pratense*
Tratamiento problema – Repetición 2.



INFORME DE ENSAYO OT210004

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Pácoses N° 102
Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Trifolium Pratense P
Matriz : Otros
Procedencia : Vista Alegre N° 102
Ref./Condición : Cafetera de Custodia CC210002

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25 Enero 2021
Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
Cotización N° : CC210024

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	MPT - F - R2
					Fecha de emisión	23/01/2021
					Horario	10:00
					Código de Laboratorio	OT210004
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		< 2.00
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Triadina	1.00		68.240
MTP25	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		16.28
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cupricona	4.00		13.64
MTP30	Piomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		38.25

* Datos proporcionados por el cliente

Fin del Informe de Ensayo

Huaraz, 12 Febrero de 2021



[Firma]
MSc. Guzm. Mario Leyva Colla
Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
CCP N° 604

Esta prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del laboratorio de calidad ambiental.
Los resultados son válidos por 30 días.

Resultado de análisis de metales pesados de la parte aérea del *Trifolium pratense*
- Tratamiento problema – Repetición 3.



INFORME DE ENSAYO OT210005

CLIENTE
Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Próceros N° 102
Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA
Producto declarado : Muestra de Trifolium Pratense P.
Matriz : Otros
Procedencia : Vista Alegre N° 102
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 25/Enero/2021
Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
Cotización N° : CO210024

COD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del ítem	MPT - F - R3
					Fecha de muestra	23/01/2021
					Muestra N°	10-00
					Código del análisis	OT210005
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2,00		2,73
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Triazina	1,00		63,530
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10,00		17,84
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4,00		15,00
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0,100		34,260

* Datos proporcionados por el cliente

"Fin del informe de Ensayo"

Huancá, 12 Febrero de 2021

MSc. Quím. Mario Leyva Colles
Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
COP N° 104

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del laboratorio.

Análisis de metales pesados de la raíz del *Trifolium pratense* - Tratamiento problema –Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO OT210006

CLIENTE
 Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Proceso N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA
 Producto declarado : Muestra de Trifolium Raíz
 Matriz : Clavo
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Cotización N° : CO210024

COD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de identificación	MPT - R - R1
					Fecha de muestra	23/01/2021
					Horario de muestra	10:00
					Código de Laboratorio	OT210006
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP06	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2,00		2,19
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trazina	1,00		84,118
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	Cl-PAN	10,00		10,196
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4,00		29,91
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0,100		28,564

Datos proporcionados por el cliente

"Fin del informe de Ensayo"

Huancá, 12 Febrero de 2021



Mario Leyva Colita
 MSc. Gelm. Mario Leyva Colita
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

Resultado de análisis de metales pesados de la raíz del *Trifolium pratense* -
Tratamiento problema –Repetición 2.



INFORME DE ENSAYO OT210007

CLIENTE
Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Pícceras N° 102
Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA
Producto declarado : Muestra de Trifoliar Raíz
Matriz : Otros
Procedencia : Vista Alegre N° 102
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO
Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO
Fecha de recepción : 25/Enero/2021
Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
Cotización N° : CC210024

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de Cliente	MPT - R - R2
					23610021	
					15-01	
					OT210007	
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2,00		2,3
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Triesteina	1,00		80,000
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	CH-PAN	10,00		19,59
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cupronona	4,00		27,27
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0,100		33,068

* Datos proporcionados por el cliente

"Fin del informe de Ensayo"

Huancá, 12 Febrero de 2021

MSc. Quím. Mario Leyva Coñas
Advisador del Laboratorio de Calidad Ambiental
ICAM - UNASAM
CUP N° 514

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización expresa.

Análisis de metales pesados de la raíz del *Trifolium pratense* - Tratamiento problema –Repetición 3.



INFORME DE ENSAYO OT210008

CLIENTE
 Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Proceso N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA
 Producto declarado : Muestra de Trifolium Raíz
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Cotización N° : CC210004

COD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de clase	MPT - R - R3
					Fecha de muestra	23/01/2021
					Hora de muestreo	10:00
					Código de Laboratorio	OT210008
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/Kg As	DIN - 38 406	2,00		2,77
MTP10	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1,00		90,590
MTP20	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10,00		8,61
MTP28	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4,00		24,54
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0,100		30,78

Datos proporcionados por el cliente

"Fin del informe de Ensayo"

Huancá, 12 Febrero de 2021



Msc. Germán Mario Leyva Colias
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CCP N° 604

Resultado de análisis de metales pesados de la biomasa aérea del *Dactylis glomerata* - Tratamiento problema – Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO OT210009

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Próceres N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Dactylis Glomerata
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 26 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Certificación N° : CC210024

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	MPD - F - R1
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		< 2.00
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trioxina	1.00		45.800
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		13.46
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		8.18
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		36.26

08/01/2021

"Fin del informe de Ensayo"

Huancayo, 12 Febrero de 2021



[Firma]
 MSc. Gracia María Leyva Cueva
 Administradora del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CCP N° 604

Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental UNASAM.

Resultado de análisis de metales pesados de la biomasa aérea del *Dactylis glomerata* - Tratamiento problema – Repetición 2.



INFORME DE ENSAYO OT210010

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Próceres N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Dactylis Glomerata
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25 Enero 2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Cotización N° : CO210024

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPD - F - RZ
					Fecha de muestra	23/01/2021
					Res. Muestra	10.00
					Código de Laboratorio	OT210010
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		2.92
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Tránsito	1.00		52.940
MTP26	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		14.31
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		10.50
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		27.49

* Datos analizados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancá, 12 Febrero de 2021



MSc. Germán Mario Leyra Collos
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 PCAM - UNASAM
 COP 14 854

Resultado de análisis de metales pesados de la biomasa aérea del *Dactylis glomerata* - Tratamiento problema – Repetición 3.



INFORME DE ENSAYO OT210011

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Proceros N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producción declarado : Muestra de Dactylis Glomerata
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 20 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Coligación N° : CC210004

COD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	SPD - F - R3
					Fecha de muestreo	23/01/2021
					Uso muestreo	10.00
					Código de Laboratorio	OT210011
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	CIN - 38 405	2.00		2.16
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trazna	1.00		77.650
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	CH-PAN	10.00		22.88
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprinos	4.00		15.45
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		32.67

Datos precisados por el cliente

Huaraz, 12 Febrero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



Mario Leyva Colás
 MSc. Quím. Mario Leyva Colás
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 504

Resultado de análisis de metales pesados de la raíz del *Dactylis glomerata* - Tratamiento problema –Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO OT210012

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Pedernales N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cuauza

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Dactylis Glomerata Raiz
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condicción : Cadena de Custodia CC210003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Colización N° : CC210024

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPO - R - R1
					Fecha de muestra *	23/01/2021
					Hora muestra *	10:00
					Código del Laboratorio	07210012
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP05	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		2.28
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trioxina	1.00		97.650
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	Cl-PAN	10.00		17.45
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		51.82
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		51.47

* Datos proporcionados por el cliente

Huancayo, 12 Febrero de 2021

"Fin del informe de Ensayo"



[Firma]
 MSc. Quím. Mario Leyva Colfer
 Autorizado por el Laboratorio de Calidad Ambiental
 PCAM - UNASAM
 COP N° 604

Resultado de análisis de metales pesados de la raíz del *Dactylis glomerata* -
Tratamiento problema –Repetición 2.



INFORME DE ENSAYO OT210013

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Próceres N° 102
Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Dactylis Glomerata Raiz
Matriz : Otros
Procedencia : Vista Alegre N° 102
Ref./Condición : Cadena de Custodia CC21003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
Cotización N° : CO210024

COD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de Muestra	MPO - R - R2
					Fecha de recepción	23/01/2021
					Muestra	10/00
					Código de Laboratorio	OT210013
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP03	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		2.06
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Triadina	5.00		71.770
MTP26	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		18.04
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cupronona	4.00		58.09
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		44.74

* Datos proporcionados por el cliente

"Fin del informe de Ensayo"

Huancá, 12 Febrero de 2021



MSC. Quím. Mario Layra Collas
Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
LCA - UNASAM
CGF N° 804

Resultado de análisis de metales pesados de la raíz del *Dactylis glomerata* - Tratamiento problema – Repetición 3.



INFORME DE ENSAYO OT210014

CLIENTE Razon Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Piscores N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Curva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Dactylis Glomerata Raiz
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC210003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Cotización N° : CC210024

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	MPD - R - R3
					Fecha de muestra	23/01/2021
					Valor máximo	10.00
					Código del Laboratorio	OT210014
MTP METALES EN PLANTA						
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		2.07
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trisóna	1.00		63.240
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	Cl-PAN	10.00		35.69
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		40.81
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		60.98

* Datos proporcionados por el cliente

Huánuco, 12 Febrero de 2021

"Fin del informe de Ensayo"



MSc. Quím. Mario Leyva Corfas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 PCAM - UNASAM
 CQP N° 804

OT210014-0003

Resultado de análisis de metales pesados de la biomasa aérea del *Dactylis glomerata*
- Tratamiento Control.



INFORME DE ENSAYO OT210015

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Proceres N° 102
Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Dactylis Glomerata Planta
Matriz : Otros
Procedencia : Vista Alegre N° 102
Ref./Condición : Coderes de Custodia CC210004

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
Cotización N° : CC210004

COD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de muestra	MCD - F - R1
					Fecha de muestra*	23/01/2021
					Volumen muestra*	10,00
					Código del Laboratorio	OT210015
MTP	METALES EN PLANTA					
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2,00	< 2,00	
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trisigna	1,00	83,530	
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10,00	19,02	
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4,00	< 4,00	
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0,100	0,200	

* Datos proporcionados por el cliente

Huaraz, 12 Febrero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



[Firma]
MSc. Dolm. Mario Leyva Colla
Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
FCAM - UNASAM
COP N° 604

Resultado de análisis de metales pesados de la raíz del *Dactylis glomerata* -
Tratamiento Control –Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO OT210016

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Proceres N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cuervo

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Dactylis Glomerata Raíz
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cédula de Custodia CC210004

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Cotización N° : 00210024

COD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	MCD - R - R1
					Fecha de recepción	23/01/2021
					Fecha muestra	10/20
					Código de muestra	OT210016
METALES EN PLANTA						
MTP						
MTP06	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 406	2.00		< 2.00
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Triazina	1.00		102.350
MTP26	Zinc total	mg/Kg Zn	CH-PAN	10.00		12.94
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cupritzona	4.00		< 4.00
MTP30	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		0.300

Datos proporcionados por el cliente

Muñoz, 12 Febrero de 2021

"Fin del informe de Ensayo"


 MSc. Quím. Mario Leyva Costas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

UNASAM

Resultado de análisis de metales pesados de la biomasa aérea del *Trifolium pratense* - Tratamiento Control.



INFORME DE ENSAYO OT210017

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Próceros N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cuevas

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Trifolium Pratense
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cédula de Custodia CC210004

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Cotización N° : CC210004

CÓD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de cliente	MCT - F - R1
					Fecha de análisis	20/01/2021
					Volumen muestra	10.00
					Código de Laboratorio	OT210017
METALES EN PLANTA						
NTP						
MTP08	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		< 2.00
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Triszlina	1.00		81.180
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		11.37
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		< 4.00
MTP30	Picrno total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		0.24

Datos proporcionados por el cliente

Huancá, 12 Febrero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



MSc. Quito Mario Leyva Cuevas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAJ - UNASAM
 COP N° 654

Resultado de análisis de metales pesados de la raíz del *Trifolium pratense* - Tratamiento Control – Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO OT210018

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Póceres N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Trifolium Pratense - Raíz
 Matriz : Otros
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC210004

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Cotización N° : CC210024

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de Serie	MGT - R - R1
					Fecha de muestra	23/01/2021
					Volumen muestra	15.00
					Código del Laboratorio	OT210018
METALES EN PLANTA						
MTP	Arsénico total	mg/KgAs	DIN - 38 405	2.00		< 2.00
MTP10	Hierro total	mg/KgFe	Trazina	1.00		104.120
MTP28	Zinc total	mg/Kg Zn	GI-PAN	10.00		18.43
MTP29	Cobre total	mg/Kg Cu	Duprizona	4.00		< 4.00
MTP90	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		0.29

* Datos expresados en mg/kg

Huancayo, 12 Febrero de 2021

"Fin del informe de Ensayo"



[Firma]
 MSc. Quím. Mario Leyva Colas
 Administrador del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

UNASAM

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo problema después del tratamiento con *Trifolium pratense* - Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO CS210002

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Próceros N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Vía Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210009

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 29 Enero 2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Colización N° : CC210005

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPTS - R1
	Fecha de muestreo					23/01/2021
	Hora de muestreo					10:00
	Código de Laboratorio					CS200102
ANÁLISIS FISICOQUÍMICO EN SUELOS						
FQS						4.41
FQS10	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21-AS-02	.....		6.19
FQS19	Materia orgánica	%	NOM21-AS-07	0.01		4.0
FQS34	Capacidad de intercambio	Meg/100gr	Volumetrica	1.0		
METALES EN SUELOS						
MS						1.63
MS03	Arsénico total	mg/Kg As	Plata - DDTG	2.00		14.26
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		685.17
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		145.490
MS24	Piomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		96.47
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		

Datos proporcionados por el cliente

Huanc. 12 de Febrero de 2021

"Fin del Informe de Ensayo"



[Firma]
 MSc. Guari Mero Leyva Colías
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

UNASAM

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo problema después del tratamiento con *Trifolium pratense* - Repetición 2.



INFORME DE ENSAYO CS210003

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Próceros N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cuevas

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref/Condición : Cadenas de Custodia CC210003

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Cotización N° : 00210025

COD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPTS - R2
					Fecha de muestreo	23/01/2021
					Hora de muestreo	10:00
					Código del Laboratorio	CS200003
FQS ANALISIS FISICOQUIMICO EN SUELOS						
	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21-AS-02			4.48
	Materia orgánica	%	NOM21-AS-07	0.01		6.87
	Capacidad de intercambio	Meq/100gr	Volumetrica	1.0		4.4
MS METALES EN SUELOS						
MS03	Arsénico total	mg/Kg As	Plata - DDTG	2.00		2.17
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprona	4.00		17.41
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Trisina	1.00		594.28
MS24	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		135.294
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	Cl-PAN	10.00		70.00

* Datos proporcionados por el cliente

Fin del Informe de Ensayo

Huancayo, 12 de Febrero de 2021


 MSc. Quím. Mario Leyva Cuzco
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 PCAM - UNASAM
 COP N° 604

Análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo problema después del tratamiento con *Trifolium pratense* - Repetición 3.



INFORME DE ENSAYO CS210004

CLIENTE Razón Social: SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección: Barrio Vista Alegre Jr. Pisosas N° 102
 Atención: Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA Producto declarado: Muestra de Suelo
 Matriz: Suelo
 Procedencia: Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición: Cacería de Custodia CG210002

MUESTREO Responsable: Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia: No aplica

LABORATORIO Fecha de recepción: 25 Enero 2021
 Fecha de análisis: 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Cotización N°: C0210025

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPIS - RS
					Fecha de muestreo ¹	23/01/2021
					Hora de muestreo ¹	10:00
					Código del Laboratorio	CS200394
FQS ANALISIS FISICOQUIMICO EN SUELOS						
	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21-AS-02	.....		4.52
	Materia orgánica	%	NOM21-AS-07	0.01		7.75
	Capacidad de intercambio	Meq/100gr	Volumetrica	1.0		4.2
MS METALES EN SUELOS						
MS03	Arsénico total	mg/ Kg As	Plata - DDTc	2.00		1.78
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		19.41
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		710.90
MS24	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		154.902
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		85.88

¹ Datos proporcionados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancayo, 12 de Febrero de 2021



MSC. Guzmán Mario Leyva Colinas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

UNASAM

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo problema después del tratamiento con *Dactylis glomerata* - Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO CS210005

CLIENTE Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Proceres N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Queve

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cámara de Custodia CC210002

MUESTREO Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO Fecha de recepción : 25 Enero 2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Cotización N° : C0210025

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPSD - R1
					Fecha de muestreo	29/01/2021
					Hora de muestreo	10:00
					Código del Laboratorio	CS200005
FQS ANALISIS FISICOQUIMICO EN SUELOS						
	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21-AS-02	.....		4.3
	Materia orgánica	%	NOM21-AS-07	0.01		7.00
	Capacidad de intercambio	Mesi/100gr	Volumetria	1.0		3.8
MS METALES EN SUELOS						
MS03	Arsénico total	mg/Kg As	Plata - DDTG	2.00		2.2
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		4.00
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		787.9
MS24	Piomó total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		133.3
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	CL-PAN	10.00		75.8

*Datos proporcionados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancayo, 12 de Febrero de 2021



MSC. Quím. Mario Leyva Collo
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 CCP N° 804

UNASAM

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo problema después del tratamiento con *Dactylis glomerata* - Repetición 2.



INFORME DE ENSAYO CS210006

CLIENTE: Razón Social: SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección: Barrio Vera Alegre Jr. Pisosos N° 102
 Atención: Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA: Producto declarado: Muestra de Suelo
 Matriz: Suelo
 Procedencia: Vera Alegre N° 102
 Ref/Condición: Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO: Responsable: Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia: No indica

LABORATORIO: Fecha de recepción: 25/Enero/2021
 Fecha de análisis: 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Colibración N°: CC210023

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPSO - R2
					Fecha de muestreo ¹	23/01/2021
					Hora de muestreo ¹	10:00
					Código del Laboratorio	CS210006
FQS ANALISIS FISICOQUIMICO EN SUELOS						
PH001	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21 -AS - 02	.....		4.6
MO01	Materia orgánica	%	NOM21 -AS - 07	0.01		6.70
CO01	Capacidad de intercambio	Meq/100gr	Volumétrica	1.0		2.2
MS METALES EN SUELOS						
MS03	Arsénico total	mg/ Kg As	Plata - DDTG	2.00		2.5
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuarizona	4.00		6.9
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Trilazina	1.00		577.6
MS24	Piomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		207.8
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	CL-PAN	10.00		86.5

¹ Datos proporcionados por el cliente

Huancayo, 12 de Febrero de 2021

"Fin del informe de Ensayo"



Msc. Duque Mario Luján Galles
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP N° 604

UNASAM

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo problema después del tratamiento con *Dactylis glomerata* - Repetición 3.



INFORME DE ENSAYO CS210007

CLIENTE
 Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre Jr. Píedras N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Quevedo

MUESTRA
 Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref/Condición : Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No indica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 25 Enero 2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Cotización N° : 00210025

COD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MPSO - R3
					Fecha de muestreo	23/01/2021
					Hora de muestreo	10:00
					Código del Laboratorio	CS210007
FQS ANALISIS FISICOQUIMICO EN SUELOS						
	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21-AS-02	0.00		4.6
	Materia orgánica	%	NOM21-AS-07	0.01		7
	Capacidad de intercambio	Meq/100gr	Volumétrica	1.0		2.2
MS METALES EN SUELOS						
MS03	Arsénico total	mg/Kg As	Plata - DDTG	2.00		2.00
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cupfuzena	4.00		8.00
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		701.7
MS24	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		129.400
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	Ci-PAN	10.00		111.80

*Datos proporcionados por el cliente

Fin del Informe de Ensayo*

Lima, 12 de Febrero de 2021



MSc. Dylis María Leyva Cañas
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 FCAM - UNASAM
 COP 17 604

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo control después del tratamiento con *Trifolium pratense* - Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO CS210008

CLIENTE Razón Social: SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección: Barrio Vista Alegre Jr. Próximo N° 102
 Atención: Sandra Susana Flores Cuervo

MUESTRA Producto declarado: Muestra de Suelo
 Matriz: Suelo
 Procedencia: Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición: Cédula de Custodia CC210003

MUESTREO Responsable: Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia: No Indica

LABORATORIO Fecha de recepción: 25 Enero 2021
 Fecha de análisis: 25 de Enero - 12 de Febrero 2021
 Delimitación N°: CC210003

COD.	PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	LIMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MCST - Rt
					Fecha de muestra	23/01/2021
					Hora de muestra	10:00
					Código del Laboratorio	CS200006
FQS ANALISIS FISICOQUIMICO EN SUELOS						
1402	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21-AS-02	.....		5.58
1403	Materia orgánica	%	NOM21-AS-07	0.01		3.98
1404	Capacidad de intercambio	Mec/100gr	Volumetria	1.0		3.2
MS METALES EN SUELOS						
MS03	Arsénico total	mg/Kg As	Plata - DDTc	2.00		< 2.00
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		< 4.00
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		251.72
MS24	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		0.130
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	Cl-PAN	10.00		26.88

* Datos proporcionados por el cliente

* Fe del Informe de Ensayo *

Huancá, 12 de Febrero de 2021



MSc. Dairo Mario Leyva Colles
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 VCA - UNASAM
 COP N° 604

UNASAM

Resultado de análisis de parámetros fisicoquímicos y metales pesados del suelo control después del tratamiento con *Dactylis glomerata* - Repetición 1.



INFORME DE ENSAYO CS210009

CLIENTE
 Razón Social : SANDRA SUSANA FLORES ROMERO
 Dirección : Barrio Vista Alegre J. Próceros N° 102
 Atención : Sandra Susana Flores Cueva

MUESTRA
 Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Vista Alegre N° 102
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC210002

MUESTREO
 Responsable : Muestra proporcionada por el cliente
 Referencia : No aplica

LABORATORIO
 Fecha de recepción : 25/Enero/2021
 Fecha de análisis : 25 de Enero - 12 de Febrero/2021
 Cotización N° : CC210025

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código del cliente	MCSO - R1
					Fecha de muestreo	23/01/2021
					Hora de muestreo	10:00
					Código del Laboratorio	CS200009
FQS	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO EN SUELOS					
PH	pH (en laboratorio)	Unid. pH	NOM21 -AS - 02	.....		5.60
MO	Materia orgánica	%	NOM21 -AS - 07	0.01		2.21
CI	Capacidad de intercambio	Meq/100gr	Volumetrica	1.0		6.2
MS	METALES EN SUELOS					
MS03	Arsénico total	mg/ Kg As	Plata - DDTC	2.00		< 2.00
MS11	Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00		< 4.00
MS16	Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00		246.55
MS24	Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.100		0.26
MS32	Zinc total	mg/Kg Zn	CI-PAN	10.00		27.06

Datos proporcionados por el cliente

"Fin del Informe de Ensayo"

Huancayo, 12 de Febrero de 2021



[Firma]
 MSc. Juan Mario Loyola Córdova
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental
 ECAM - UNASAM
 COP N° 604

ANEXO 4

Tablas de resultados



Tabla 18: Prueba de germinación de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

Días	<i>Dactylis glomerata</i> (100 Semillas)	<i>Trifolium pratense</i> (100 semillas)
1		
2		
3		4
4		10
5		35
6		48
7		63
8	6	74
9	13	82
10	27	
11	42	
12	68	
13	77	
14	87	
(%) de Germinación	87%	82%

Tabla 19: Altura de las especies vegetales en los diferentes tipos de tratamientos en las últimas semanas (cm).

Semana 16	<i>Dactylis glomerata</i> Cultivado en suelo control (A)	<i>Dactylis glomerata</i> cultivado en suelo problema (B)	<i>Trifolium pratense</i> cultivado en suelo control (C)	<i>Trifolium pratense</i> cultivado en suelo problema (D)
I	26.0	15	24.5	4
II	26.8	15	24.3	4
II	25.0	13	23.9	4.3
Promedio	25.9	14.3	24.2	4.1

Tabla 20: Longitud de la raíz de las especies vegetales estudiadas (cm).

REPETICIÓN	<i>Dactylis glomerata</i> Cultivado en suelo control	<i>Dactylis glomerata</i> cultivado en suelo problema	<i>Trifolium pratense</i> cultivado en suelo control	<i>Trifolium pratense</i> cultivado en suelo problema
I	28	12	24	6
II	26.5	13	25.3	7
II	27.9	12	25.4	5
PROMEDIO	27.5	12.3	24.9	6

Tabla 21: Biomasa fresca de las especies vegetales (gr).

TRATAMIENTO	REPETICION	<i>Dactylis glomerata</i>			<i>Trifolium pratense</i>		
		Aérea	Raíz	TOTAL	Aérea	Raíz	TOTAL
GRUPO PROBLEMA	I	39.53	56.36	95.89	9.21	5.42	14.63
	II	42.59	33.49	76.08	8.61	4.74	13.35
	II	24.94	57.46	82.40	11.04	3.42	14.46
	PROMEDIO	35.69	49.10	84.79	9.62	4.53	14.15
GRUPO CONTROL	I	34.49	53.87	88.36	44.88	41.95	86.84

Tabla 22: Biomasa seca de las especies vegetales.

TRATAMIENTO	REPETICION	<i>Dactylis glomerata</i>			<i>Trifolium pratense</i>		
		Aérea	Raíz	TOTAL	Aérea	Raíz	TOTAL
GRUPO PROBLEMA	I	6.34	8.53	14.87	2.71	1.19	3.89
	II	8.41	8.57	16.98	2.99	1.54	4.53
	II	7.34	6.52	13.86	3.63	1.48	5.11
	PROMEDIO	7.37	7.87	15.24	3.11	1.40	4.51
GRUPO CONTROL	I	9.54	9.94	19.48	8.16	9.40	17.56

Tabla 23: pH del suelo

REPETICIÓN	Suelo Problema			Suelo Control		
	Suelo inicial	Suelo de <i>Dactylis G.</i>	Suelo de <i>Trifolium P.</i>	Suelo inicial	Suelo de <i>Dactylis G.</i>	Suelo de <i>Trifolium P.</i>
I	4,35	4,3	4,41	5,63	5,60	5,58
II	–	4,6	4,48	–	–	–
II	–	4,6	4,52	–	–	–
PROMEDIO	4,35	4,50	4,47	5,63	5,60	5,58

Tabla 24: Contenido de materia orgánica en el suelo (%).

REPETICIÓN	Suelo Problema			Suelo Control		
	Suelo inicial	Suelo de <i>Dactylis G.</i>	Suelo de <i>Trifolium P.</i>	Suelo inicial	Suelo de <i>Dactylis G.</i>	Suelo de <i>Trifolium P.</i>
I	8,51	7,0	6,19	4,08	2,21	3,98
II	–	6,7	6,87	–	–	–
II	–	7,0	7,75	–	–	–
PROMEDIO	8,51	6,91	6,94	4,08	2,21	3,98

Tabla 25: Concentración de Arsénico total en suelo (mg/Kg).

REPETICIÓN	Suelo Problema			Suelo Control		
	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>
I	6,78	2,20	1,63	<2	<2	<2
II	–	2,50	2,17	–	–	–
II	–	2,00	1,78	–	–	–
PROMEDIO	6,78	2,23	1,86	<2	<2	<2

Tabla 26: Concentración de Cobre total en suelo (mg/Kg).

REPETICIÓN	Suelo Problema			Suelo Control		
	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>
I	68,14	4,00	14,26	<4	<4	<4
II	–	6,90	17,41	–	–	–
II	–	8,00	19,41	–	–	–
PROMEDIO	68,14	6,3	17,03	<4	<4	<4

Tabla 27: Concentración de Hierro total en suelo (mg/Kg).

REPETICIÓN	Suelo Problema			Suelo Control		
	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>
I	840,79	787,9	665,17	476,8	246,55	251,72
II	–	577,6	694,28	–	–	–
II	–	701,7	710,90	–	–	–
PROMEDIO	840,79	689,07	690,12	476,80	246,55	251,72

Tabla 28: Concentración de Plomo total en suelo (mg/Kg).

REPETICIÓN	Suelo Problema			Suelo Control		
	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>
I	254,91	133,3	145,49	0,883	0,26	0,13
II	–	207,8	135,294	–	–	–
II	–	129,4	154,902	–	–	–
PROMEDIO	254,91	156,83	145,23	0,88	0,26	0,13

Tabla 29: Concentración de Zinc total en suelo (mg/Kg).

REPETICIÓN	Suelo Problema			Suelo Control		
	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>	Suelo inicial	Suelo tratado con <i>Dactylis G.</i>	Suelo tratado con <i>Trifolium P.</i>
I	138,64	75,9	96,47	62,69	27,06	25,88
II	–	86,5	70	–	–	–
II	–	111,8	85,88	–	–	–
PROMEDIO	138,64	91,40	84,12	62,69	27,06	25,88

Tabla 30: Concentración de Arsénico en el tejido vegetal de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

REP.	Grupo problema				Grupo Control			
	<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>		<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>	
	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz
I	<2	2,28	<2	2,19	<2	<2	<2	<2
II	2,92	2,06	<2	2,3	-	-	-	-
II	2,16	2,07	2,73	2,77	-	-	-	-
PROM.	2,54	2,14	2,73	2,42	<2	<2	<2	<2

Tabla 31: Concentración de Cobre en el tejido vegetal de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

REP.	Grupo problema				Grupo control			
	<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>		<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>	
	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz
I	8,18	51,82	12,54	29,91	<4	<4	<4	<4
II	10,00	59,09	13,64	27,27	-	-	-	-
II	15,45	40,91	15,00	24,54	-	-	-	-
PROM.	11,21	50,61	13,73	27,24	<4	<4	<4	<4

Tabla 32: Concentración de Hierro en el tejido vegetal de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

REP.	Grupo problema				Grupo control			
	<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>		<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>	
	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz
I	45,88	97,65	89,41	84,118	83,53	102,35	81,18	104,12
II	52,94	71,77	68,24	80				
II	77,65	68,24	63,53	90,59				
PROM.	58,82	79,22	73,73	84,90	83,53	102,35	81,18	104,12

Tabla 33: Concentración |de Plomo en el tejido vegetal de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

REP.	Grupo problema				Grupo control			
	<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>		<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>	
	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz
I	36,26	51,47	35,94	28,984	0,20	0,30	0,24	0,29
II	27,49	44,74	38,25	33,068				
II	32,67	60,98	34,26	30,78				
PROM.	32,14	52,40	36,15	30,94	0,20	0,30	0,24	0,29

Tabla 34: Concentración de Zinc en el tejido vegetal del *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.

REP.	Grupo problema				Grupo control			
	<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>		<i>Dactylis glomerata</i>		<i>Trifolium pratense</i>	
	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz	Aérea	Raíz
I	13,46	17,45	17,84	10,196	19,02	12,94	11,37	18,43
II	14,31	18,04	16,28	10,59				
II	22,88	35,69	17,84	9,61				
PROM.	16,88	23,73	17,32	10,13	19,02	12,94	11,37	18,43

ANEXO 5

ANÁLISIS ESTADÍSTICO



A. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA ALTURA DE LAS ESPECIES VEGETALES

Tabla 35: Análisis de varianza de la altura de las especies vegetales.

ANOVA					
Altura (cm)					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter grupos	916,670	3	305,557	538,426	,000
Intragrupo	4,540	8	,568		
Total	921,210	11			

Tabla 36: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la altura de las especies vegetales.

COMPARACIONES MÚLTIPLES						
Variable dependiente: Altura (cm)						
HSD de Tukey						
(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
A	B	11,6000*	,6151	,000	9,630	13,570
	C	1,7000	,6151	,093	-,270	3,670
	D	21,8333*	,6151	,000	19,864	23,803
B	A	-11,6000*	,6151	,000	-13,570	-9,630
	C	-9,9000*	,6151	,000	-11,870	-7,930
	D	10,2333*	,6151	,000	8,264	12,203
C	A	-1,7000	,6151	,093	-3,670	,270
	B	9,9000*	,6151	,000	7,930	11,870
	D	20,1333*	,6151	,000	18,164	22,103
D	A	-21,8333*	,6151	,000	-23,803	-19,864
	B	-10,2333*	,6151	,000	-12,203	-8,264
	C	-20,1333*	,6151	,000	-22,103	-18,164

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

A: *Dactylis glomerata* cultivado en suelo control.
 B: *Dactylis glomerata* cultivado en suelo problema.
 C: *Trifolium pratense* cultivado en suelo control.
 D: *Trifolium pratense* cultivado en suelo problema.

Tabla 37: Subconjuntos homogéneos para la altura de las especies vegetales.

Altura (cm)				
HSD de Tukey				
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
D	3	4,100		
B	3		14,333	
C	3			24,233
A	3			25,933
Sig.		1,000	1,000	,093

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 3,000.

B. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA LONGITUD DE RAÍZ DE LAS ESPECIES VEGETALES

Tabla 38: Análisis de varianza de la longitud de raíz de las especies vegetales

ANOVA					
Longitud de Raíz (cm)					
	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	938,749	3	312,916	472,921	,000
Dentro de grupos	5,293	8	,662		
Total	944,042	11			

Tabla 39: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la longitud de raíz de las especies vegetales.

COMPARACIONES MÚLTIPLES						
Variable dependiente: Longitud de raíz (cm)						
HSD Tukey						
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar r	Sig.	95% de intervalo de confianza	
					Límite inferior	Límite superior
A	B	15,1333*	,6642	,000	13,006	17,260
	C	2,5667*	,6642	,020	,440	4,694
	D	21,4667*	,6642	,000	19,340	23,594
B	A	-15,1333*	,6642	,000	-17,260	-13,006
	C	-12,5667*	,6642	,000	-14,694	-10,440
	D	6,3333*	,6642	,000	4,206	8,460
C	A	-2,5667*	,6642	,020	-4,694	-,440
	B	12,5667*	,6642	,000	10,440	14,694
	D	18,9000*	,6642	,000	16,773	21,027
D	A	-21,4667*	,6642	,000	-23,594	-19,340
	B	-6,3333*	,6642	,000	-8,460	-4,206
	C	-18,9000*	,6642	,000	-21,027	-16,773

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

- A: *Dactylis glomerata* cultivado en suelo control.
 B: *Dactylis glomerata* cultivado en suelo problema.
 C: *Trifolium pratense* cultivado en suelo control.
 D: *Trifolium pratense* cultivado en suelo problema.

Tabla 40: Subconjuntos homogéneos para la longitud de la raíz de las especies vegetales

HSD Tukey a					
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
D	3	6,000			
B	3		12,333		
C	3			24,900	
A	3				27,467
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

C. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA BIOMASA SECA DE LAS ESPECIES VEGETALES EN EL SUELO PROBLEMA (Se aplicó T de Student)

Tabla 41: Análisis estadístico de grupos - Biomasa seca de las especies vegetales en el grupo problema

Biomasa seca (gr)					
	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Biomasa seca de las especies vegetales	A	3	15,2367	1,59199	,91914
	B	3	4,5100	,61025	,35233

Tabla 42: Prueba T para la igualdad de medias-Biomasa seca

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de muestras independientes								
		F	Sig.	t	gl.	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Biomasa seca de las especies vegetales (gr.)	Se han asumido varianzas iguales	2,694	,176	10,89	4	,000	10,726	,984	7,993	13,459
	No se han asumido varianzas iguales			10,89	2,57	,003	10,726	,984	7,280	14,172

D. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PEADOS EN EL SUELO PROBLEMA DESPUES DEL TRATAMIENTO (Se aplicó T de Student)

Tabla 43: Análisis estadístico de grupos- pH del suelo problema después del tratamiento

Potencial de hidrógeno					
	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Potencial de Hidrógeno (pH)	A	3	4,500	,1732	,1000
	B	3	4,470	,0557	,0321

Tabla 44: Prueba T para la igualdad de medias-pH

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba de muestras independientes						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Potencial de Hidrógeno (pH)	Se han asumido varianzas iguales	6,479	,064	,286	4	,789	,0300	,1050	-,2616	,3216
	No se han asumido varianzas iguales			,286	2,409	,798	,0300	,1050	-,3558	,4158

Tabla 45: Análisis estadístico de grupos- Materia orgánica del suelo problema después del tratamiento

	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Materia Orgánica (%)	A	3	6,9000	,17321	,10000
	B	3	6,9367	,78213	,45157

Tabla 46: Prueba T para la igualdad de medias-Materia orgánica

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba de muestras independientes						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Materia Orgánica (pH)	Se han asumido varianzas iguales	2,882	,165	-,079	4	,941	-,03667	,46251	-1,32079	1,24745
	No se han asumido varianzas iguales			-,079	2,196	,943	-,03667	,46251	-1,86600	1,79267

Tabla 47: Análisis estadístico de grupos-Capacidad de intercambio catiónico del suelo problema después del tratamiento

	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Capacidad de intercambio catiónico (Meg/100gr)	A	3	2,7333	,92376	,53333
	B	3	4,2000	,20000	,11547

Tabla 48: Prueba T para la Capacidad de intercambio catiónico

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas	Prueba de muestras independientes															
		F		Sig.		t		gl.		Sig. (bilateral)		Diferencia de medias		Error típ. de la diferencia		95% Intervalo de confianza para la diferencia	
														Inferior	Superior		
Capacidad de intercambio catiónico (Meg/100gr)	Se han asumido varianzas iguales	9,260	,038	-2,688	4	,055	-1,46667	,54569	-2,98175	,04841							
	No se han asumido varianzas iguales			-2,688	2,187	,105	-1,46667	,54569	-3,63224	,69890							

Tabla 49: Análisis estadístico de grupos-Arsénico en el suelo problema después del tratamiento

	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Arsénico (mg/kg)	A	3	2,2333	,25166	,14530
	B	3	2,0267	,56217	,32457

Tabla 50: Prueba T para la igualdad de medias-Arsénico

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba de muestras independientes						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Arsénico (mg/kg)	Se han asumido varianzas iguales	3,376	,140	,581	4	,592	,20667	,35561	-,78065	1,19399
	No se han asumido varianzas iguales			,581	2,771	,605	,20667	,35561	-,97992	1,39325

Tabla 51: Análisis estadístico de grupos-Cobre en el suelo problema después del tratamiento

	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Cobre (mg/kg)	A	3	6,3000	2,06640	1,19304
	B	3	17,0267	2,59631	1,49898

Tabla 52: Prueba T para la igualdad de medias-Cobre

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba de muestras independientes						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Cobre (mg/kg)	Se han asumido varianzas iguales	,122	,745	-5,599	4	,005	-10,72667	1,91580	-16,04577	-5,40756
	No se han asumido varianzas iguales			-5,599	3,808	,006	-10,72667	1,91580	-16,15309	-5,30025

Tabla 53: Análisis estadístico de grupos-Hierro en el suelo problema después del tratamiento

	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Hierro (mg/kg)	A	3	689,0667	105,71766	61,03612
	B	3	690,1167	23,14753	13,36423

Tabla 54: Prueba T para la igualdad de medias-Hierro

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba de muestras independientes						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior	
Hierro (mg/kg)	Se han asumido varianzas iguales	3,312	,143	-,017	4	,987	-1,05000	62,48208	-174,52807	172,42807
	No se han asumido varianzas iguales			-,017	2,191	,988	-1,05000	62,48208	-248,60171	246,50171

Tabla 55: Análisis estadístico de grupos-Plomo en el suelo problema después del tratamiento

	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Plomo (mg/kg)	A	3	156,8333	44,18148	25,50819
	B	3	145,2287	9,80661	5,66185

Tabla 56: Prueba T para la igualdad de medias-Plomo

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba de muestras independientes						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Plomo (mg/kg)	Se han asumido varianzas iguales	8,956	,040	,444	4	,680	11,60467	26,12899	-60,94105	84,15038
	No se han asumido varianzas iguales			,444	2,197	,697	11,60467	26,12899	-91,70691	114,91625

Tabla 57: Análisis estadístico de grupos-Zinc en el suelo

	Tratamientos	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Zinc (mg/kg)	A	3	91,4000	18,44478	10,64910
	B	3	84,1167	13,32281	7,69193

Tabla 58: Prueba T para la igualdad de medias-Zinc

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba de muestras independientes						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
Zinc (mg/kg)	Se han asumido varianzas iguales	,490	,522	,554	4	,609	7,28333	13,13656	-29,18959	43,75626
	No se han asumido varianzas iguales			,554	3,640	,612	7,28333	13,13656	-30,65538	45,22205

E. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TEJIDO VEG.ETAL DE LAS ESPECIES *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*-GRUPO PROBLEMA DESPUES DEL TRATAMIENTO

Tabla 59: Análisis de varianza de la concentración de Arsénico en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

ANOVA					
Concentración de Arsénico en el tejido vegetal de las especies					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	3,902	3	1,301	1,064	,417
Dentro de grupos	9,779	8	1,222		
Total	13,682	11			

Tabla 60: Análisis de varianza de la concentración de Cobre en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

ANOVA					
Concentración de Cobre en el tejido vegetal de las especies					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	2928,103	3	976,034	36,565	,000
Dentro de grupos	213,544	8	26,693		
Total	3141,647	11			

Tabla 61: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la concentración de Cobre en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

COMPARACIONES MÚLTIPLES				
Variable dependiente: Concentración de Cobre en el tejido vegetal de las especies				
HSD Tukey				
(I)	(J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza
Tratamientos	Tratamientos			

		Diferencia de medias (I-J)			Límite inferior	Límite superior
A	B	-39,3967*	4,2185	,000	-52,906	-25,888
	C	-2,5167	4,2185	,930	-16,026	10,992
	D	-16,0300*	4,2185	,022	-29,539	-2,521
B	A	39,3967*	4,2185	,000	25,888	52,906
	C	36,8800*	4,2185	,000	23,371	50,389
	D	23,3667*	4,2185	,002	9,858	36,876
C	A	2,5167	4,2185	,930	-10,992	16,026
	B	-36,8800*	4,2185	,000	-50,389	-23,371
	D	-13,5133*	4,2185	,050	-27,022	-,004
D	A	16,0300*	4,2185	,022	2,521	29,539
	B	-23,3667*	4,2185	,002	-36,876	-9,858
	C	13,5133*	4,2185	,050	,004	27,022

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

A: Parte Aérea_ *Dactylis glomerata* cultivado sobre suelo problema.

B: Raíz_ *Dactylis glomerata* cultivado sobre suelo problema.

C: Parte Aérea_ *Trifolium pratense* cultivado sobre suelo control

D: Raíz_ *Trifolium pratense* cultivado sobre suelo control.

Tabla 62: Subconjuntos homogéneos para la concentración de Cobre total en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

Concentración de Cobre en el tejido vegetal de las especies				
HSD Tukey				
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
A	3	11,210		
C	3	13,727		
D	3		27,240	
B	3			50,607
Sig.		,930	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Tabla 63: Análisis de varianza de la concentración de Hierro en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

Concentración de Hierro en el tejido vegetal de las especies					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1129,228	3	376,409	1,995	,193
Dentro de grupos	1509,355	8	188,669		
Total	2638,583	11			

Tabla 64: Análisis de varianza de la concentración de Plomo en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

ANOVA					
Concentración de plomo en el tejido vegetal de las especies					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	884,351	3	294,784	12,514	,002
Dentro de grupos	188,445	8	23,556		
Total	1072,796	11			

Tabla 65: Prueba de Comparación de Medias de Tukey para la concentración de Plomo en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

COMPARACIONES MÚLTIPLES							
Variable dependiente: Concentración de Plomo en el tejido vegetal de las especies							
HSD Tukey							
(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza		
					Límite inferior	Límite superior	
A	B	-20,25667*	3,96279	,004	-32,9469	-7,5664	
	C	-4,01000	3,96279	,747	-16,7003	8,6803	
	D	1,19633	3,96279	,990	-11,4939	13,8866	
B	A	20,25667*	3,96279	,004	7,5664	32,9469	
	C	16,24667*	3,96279	,015	3,5564	28,9369	
	D	21,45300*	3,96279	,003	8,7627	34,1433	
C	A	4,01000	3,96279	,747	-8,6803	16,7003	
	B	-16,24667*	3,96279	,015	-28,9369	-3,5564	
	D	5,20633	3,96279	,580	-7,4839	17,8966	
D	A	-1,19633	3,96279	,990	-13,8866	11,4939	
	B	-21,45300*	3,96279	,003	-34,1433	-8,7627	
	C	-5,20633	3,96279	,580	-17,8966	7,4839	

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

A: Parte Aérea *Dactylis glomerata* cultivado sobre suelo problema.

B: Raíz *Dactylis glomerata* cultivado sobre suelo problema.

C: Parte Aérea *Trifolium pratense* cultivado sobre suelo control

D: Raíz *Trifolium pratense* cultivado sobre suelo control.

Tabla 66: Subconjuntos homogéneos para la concentración de Plomo total en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

Concentración de Plomo en el tejido vegetal de las especies			
HSD Tukey			
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
D	3	30,9437	
A	3	32,1400	
C	3	36,1500	
B	3		52,3967
Sig.		,580	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Tabla 67: Análisis de varianza de la concentración de Zinc en el tejido vegetal de las especies cultivadas sobre suelo problema

ANOVA					
Concentración de Zinc en el tejido vegetal de las especies					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	277,598	3	92,533	2,729	,114
Dentro de grupos	271,266	8	33,908		
Total	548,864	11			

ANEXO 6

Panel fotográfico





Muestreo de suelo problema para análisis en laboratorio.



Recolección de sustrato en el pasivo ambiental minero Santo Toribio.



Medición de la capa arable para recolección del sustrato en el sector Wilcahuain.



Ensayo de germinación de *Dactylis glomerata* y *Trifolium pratense*.



Siembra de especies vegetales en estudio.



Ubicación y distribución de maceteros con su respectiva etiqueta de identificación.



Primera semana de crecimiento del *Trifolium pratense*.



Diferencia en el desarrollo del *Trifolium pratense* cultivado sobre suelo no contaminado y suelo contaminado.



Diferencia en el desarrollo del *Dactylis glomerata* cultivado sobre suelo no contaminado y suelo contaminado.



Trifolium pratense cultivado sobre suelo control.



Dactylis glomerata cultivado sobre suelo control.



Proceso de riego del *Trifolium pratense*.



Fitotoxicidad en el *Dactylis glomerata* con síntomas de colocación amarilla en las hojas.



Fitotoxicidad en el *Trifolium pratense* con síntomas de colocación amarilla-morada en las hojas.



Control de altura del *Trifolium pratense*.



Control de altura del *Dactylis glomerata*.



Colección de muestras de *Trifolium pratense*.



Colección de muestras de *Dactylis glomerata*.



Medición de la altura de la biomasa aérea del *Trifolium pratense*.



Medición de la altura de la biomasa aérea del *Trifolium pratense*.



Separación del tejido vegetal del *Trifolium pratense* (biomasa aérea y radicular).



Codificación de las muestras de tejido vegetal y sustrato para su traslado al laboratorio