

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO  
SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRARIA, INDUSTRIAS  
ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

**Capacidad fitoestabilizadora del *Plantago major* y *Trifolium repens* en  
mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb**

**TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**KATHERYN VANESSA MEZA FERRER**

**HUACHO-PERÚ**

**2020**

**UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO**

**SÁNCHEZ CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRARIA, INDUSTRIAS**

**ALIMENTARIAS Y AMBIENTAL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**TESIS**

**Capacidad fitoestabilizadora del *Plantago major* y *Trifolium repens* en mezcla  
de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb**

**Sustentado y aprobado ante el Jurado evaluador**

**Ing. SEGUNDO ROLANDO ALVITES  
PRESIDENTE**

**Ing. JESÚS GUSTAVO BARRETO MEZA  
SECRETARIO**

**Ing. Sc. ERONCIO MENDOZA NIETO  
VOCAL**

**Dr. DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS  
ASESOR**

**HUACHO – PERÚ**

**2020**



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión  
Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL N°029-2020-FIAIAyA

ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO  
PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la ciudad de Huacho, el día 25 de noviembre de 2020, siendo las 18:50 horas en la sala virtual de la Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador integrado por:

Presidente	Dr. SEGUNDO ROLANDO ALVITES VIGO	DNI N°26620605
Secretario	Ing. JESUS GUSTAVO BARRETO MEZA	DNI N°15589980
Vocal	Mg. Sr. ERONCIO MENDOZA NIETO	DNI N° 06723932
Asesor	Dr. DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS	DNI N°15651224

Para evaluar la sustentación virtual de la tesis titulada: "Capacidad fitoestabilizadora del Plantago major y Trifolium repens en mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb", la postulante al Título Profesional de Ingeniero Ambiental doña: KATHERYN VANESSA MEZA FERRER, identificado con DNI N°47053477, procedió a la sustentación virtual de Tesis, autorizada mediante Resolución de Decanato N°0070-2020-FIAIAyA de fecha 12/11/2020, de conformidad con las disposiciones vigentes. El postulante **Sí** absolvió las interrogantes que le formularon los miembros del Jurado.

Concluida la sustentación virtual de Tesis, se procedió a la votación correspondiente resultando la candidata **APROBADA** por **UNANIMIDAD** con la nota de:

CALIFICACIÓN		EQUIVALENCIA	CONDICIÓN
NÚMERO	LETRAS		
18	DIECIOCHO	EXCELENTE	APROBADA

Siendo las 20:00 horas del día 25 de noviembre de 2020, se dio por concluido el ACTO DE SUSTENTACION VIRTUAL, de la Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, inscrito en el folio N° 133 del Libro de Actas.



Dr. SEGUNDO ROLANDO ALVITES VIGO  
Presidente



Ing. JESUS GUSTAVO BARRETO MEZA  
Secretario



Mg. Sr. ERONCIO MENDOZA NIETO  
Vocal



Dr. DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS  
Asesor

### **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a Dios por permitir llegar a este momento especial de mi vida. A mi madre Nila y Hermanos por su apoyo incondicional, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, por la oportunidad que me dio para mi realización profesional.
- A los docentes, por su contribución en mi formación profesional.
- A mi Jurado evaluador, por los aportes en la investigación.
- A mi asesor Dr. Dionicio Belisario Luis Olivas, por su paciencia, entrega y valiosos consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de esta tesis.
- A mis amigas Rosmeri Benigno Vega y Yenifer Tito Zúñiga por el apoyo que siempre me brindaron y por los consejos oportunos.

## ÍNDICE

ÍNDICE.....	iv
INDICE DE TABLAS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
<b>1.1. Descripción de la realidad problemática</b> .....	2
<b>1.2. Formulación del Problema</b> .....	3
<b>1.3. Objetivos de la Investigación</b> .....	3
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
<b>2.1. Antecedentes de la investigación</b> .....	5
<b>2.2. Bases Teóricas</b> .....	7
2.2.1. Relaves mineros.....	7
2.2.3. Fitorremediación.....	9
2.2.4. Fitoestabilización.....	10
2.2.5. Factores de biodisponibilidad de metales.....	12
2.2.6. Dinámica de tolerancia de plantas hacia metales.....	14
2.2.7. Eficiencia de fitoestabilización.....	19
2.2.8. Ventajas y desventajas de la fitorremediación.....	21
2.2.9. Especies utilizadas.....	22
a) <i>Plantago major</i> .....	22
b) <i>Trifolium repens</i> .....	22
<b>2.3. Definiciones Conceptuales</b> .....	23
<b>2.4. Hipótesis</b> .....	25
CAPÍTULO III.....	26
METODOLOGÍA.....	26

	v
<b>3.1. Lugar de ejecución.</b> .....	26
<b>3.2. Área sector y programa</b> .....	26
3.3. Tipo de investigación .....	26
3.4. Población y Muestra.....	26
3.5. Preparación de substratos .....	27
3.6. Cultivo de especies.....	29
3.7. Toma de datos biométricos .....	29
3.8. Cosecha de especies .....	33
3.9. Determinación de Zinc y Plomo en las especies .....	34
<b>3.10. Determinación de variables e indicadores.</b> .....	40
<b>3.11. Diseño estadístico</b> .....	41
<b>3.12. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos</b> .....	42
<b>3.13. Procesamiento y análisis de datos</b> .....	42
CAPÍTULO IV .....	43
RESULTADOS .....	43
<b>4.1. Concentración de metales en el relave minero y la tierra agrícola</b> .....	43
<b>4.2. Concentración de zinc y plomo en las mezclas de relave-tierra agrícola.</b> .....	45
<b>4.2.1. Metales totales</b> .....	45
<b>4.2.2. Metales disponibles</b> .....	45
<b>4.3. Características de planta en <i>Plantago major</i> y <i>Trifolium repens</i></b> .....	46
<b>4.3.1. <i>Plantago major</i></b> .....	46
<b>4.3.2. <i>Trifolium repens</i></b> .....	48
<b>4.4. Producción de materia seca en <i>Plantago major</i> y <i>Trifolium repens</i></b> .....	50
<b>4.5. Área foliar en <i>Plantago major</i> y <i>Trifolium repens</i></b> .....	52
<b>4.6. Concentración de zinc y plomo en la raíz y parte aérea de cada especie.</b> .....	54
<b>4.7. Mezcla más eficiente para la fitoestabilización del relave minero.</b> .....	56

	vi
4.7.1. <i>Plantago major</i> .....	56
4.7.2. <i>Trifolium repens</i> .....	57
4.8. Factor de traslocación y bioconcentración por cada especie. ....	57
4.8.1. <i>Plantago major</i> .....	57
4.8.2. <i>Trifolium repens</i> .....	60
CAPÍTULO V .....	62
DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
5.1. Discusión .....	62
5.2. Conclusiones .....	64
5.3. Recomendaciones .....	66
CAPÍTULO VI.....	67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
ANEXOS.....	75
<b>Anexo 1. Matriz de consistencia</b> .....	76
<b>Anexo 2. . Análisis de metales totales en relave y tierra agrícola</b> .....	77
Anexo 3. Análisis de zinc y plomo total por tratamiento.....	78
<b>Anexo 4. Análisis de zinc y plomo biodisponible por tratamiento.</b> .....	79
<b>Anexo 5. Análisis de caracterización fisicoquímica de cada tratamiento.</b> .....	80
<b>Anexo 6. Análisis de zinc y plomo extraído por la parte aérea y raíz de <i>Plantago</i> ...</b>	81
<b>Anexo 7. Análisis de zinc y plomo extraído por la parte aérea y raíz de <i>Trifolium repens</i>.</b> .....	82

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la fitorremediación. ....	21
Tabla 2. Determinación de variables e indicadores. ....	40
Tabla 3. Concentración de metales en relave y tierra agrícola. ....	43
Tabla 4. Concentración de plomo y zinc totales. ....	45
Tabla 5. Concentración de plomo y zinc disponibles. ....	46
Tabla 6. Ritmo de crecimiento aéreo (cm) de <i>Plantago</i> mayor en diferentes sustratos con relaves mineros. ....	46
Tabla 7. Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y Longitud total de planta (LT) de <i>Plantago</i> mayor en diferentes sustratos con relaves mineros. ....	47
Tabla 8. Ritmo de crecimiento aéreo (cm) de <i>Trifolium repens</i> en diferentes sustratos con relaves mineros. ....	48
Tabla 9. Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y longitud total de planta (LT) de <i>Trifolium repens</i> en diferentes sustratos con relaves mineros. ....	49
Tabla 10. Masa seca aérea (MSA), masa seca radicular (MSR) y masa seca total (MST) de <i>Plantago</i> mayor en diferentes sustratos con relaves mineros. ....	50
Tabla 11. Masa seca aérea (MSA), masa seca radicular (MSR) y masa seca total (MST) de <i>Trifolium repens</i> en diferentes sustratos con relaves mineros. ....	51
Tabla 12. Área foliar - <i>Plantago</i> mayor. ....	52
Tabla 13. Área foliar (cm <sup>2</sup> ) de <i>Trifolium repens</i> . ....	53
Tabla 14. Concentración de zinc y plomo en la raíz y parte aérea - <i>Plantago</i> mayor ..... 55	55
Tabla 15. Concentración de zinc y plomo en la planta de <i>Plantago</i> mayor. ....	55
Tabla 16. Concentración de zinc y plomo en la raíz y parte aérea - <i>Trifolium repens</i> . ....	55
Tabla 17. Concentración de zinc y plomo en la planta de <i>Trifolium repens</i> . ....	56
Tabla 18. Prueba de Scott-Knott al 5% para concentraciones de plomo (Pb) y zinc (Zn) en la planta de <i>Plantago</i> mayor, según tratamiento. ....	56

Tabla 19. Prueba de Scott-Knott al 5% para concentraciones plomo (Pb) y zinc (Zn) en la planta de <i>Trifolium repens</i> , según tratamiento. ....	57
Tabla 20. <i>Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), zinc, Plantago major.</i>	59
Tabla 21. Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), plomo, <i>Plantago major</i>	59
Tabla 22. Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), zinc, <i>Trifolium repens</i> .	61
Tabla 23. Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), plomo, <i>Trifolium repens</i> . .....	61
Tabla 24. Matriz de consistencia. ....	76

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Procesos de la fitorremediación. Tomado de Bernal et al. (2007) .....	10
Figura 2. Mecanismos de fitoestabilización. Tomado de: Santibáñez, (2002).....	11
Figura 3. Relavera minera "Santa Rosa de Jangas" .....	27
Figura 4. Muestreo de tierra agrícola.....	27
Figura 5. Preparación de substrato. ....	28
Figura 6. Llenado de substrato en los maceteros.....	28
Figura 7. Siembra de especies. ....	29
Figura 8. Registro de la altura-Trifolium repens. ....	29
Figura 9. Registro de altura-Plantago major.....	30
Figura 10. Medida de la longitud de raíz-Trifolium repens. ....	30
Figura 11. Medida de la longitud de raíz-Plantago major. ....	31
Figura 12. Registro de peso-Trifolium repens.....	31
Figura 13. Registro de peso-Plantago major. ....	32
Figura 14. Cálculo de área foliar. ....	32
Figura 15. Crecimiento de Plantago major.....	33
Figura 16. Crecimiento de Trifolium repens. ....	33
Figura 17. Secado de especies en la estufa.....	34
Figura 18. Homogenización de la muestra. ....	34
Figura 19. Pesaje de las muestras, para digestión.....	35
Figura 20. Incineración de muestras.....	35
Figura 21. Digestión de las muestras.....	36
Figura 22. Filtrado de muestras. ....	36
Figura 23. Preparación de test. ....	37
Figura 24. Espectrofotómetro utilizado en el estudio.....	38

	x
Figura 25.Celda de plomo. ....	38
Figura 26.Celda de zinc. ....	38
Figura 27. Diseño estadístico de la investigación. Elaboración propia. ....	41
Figura 28.Concentración de metales en relave y tierra agrícola. Elaboración propia. ....	44
Figura 29. Ritmo de crecimiento aéreo (cm) de Plantago major en diferentes sustratos con relaves mineros. Elaboración propia ....	47
Figura 30. Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y Longitud total de planta (LT) de Plantago major en diferentes sustratos con relaves mineros. Elaboración propia.....	48
Figura 31.Ritmo de Crecimiento de Trifolium repens según tratamiento. Elaboración propia .....	49
Figura 32.Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y Longitud total de planta (LT) de Trifolium repens en diferentes sustratos con relaves mineros. Elaboración propia .....	50
Figura 33. Biomasa seca (gr) de Plantago major Elaboración propia .....	51
Figura 34. Biomasa seca (gr) de Trifolium repens. Elaboración propia.....	52
Figura 35.Área foliar (cm <sup>2</sup> ) de Plantago major. Elaboración propia .....	53
Figura 36. Área foliar (cm <sup>2</sup> ) de Trifolium repens. Elaboración propia .....	54

**Capacidad fitoestabilizadora del *Plantago major* y *Trifolium repens* en mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb**

**Phytostabilizing capacity of *Plantago major* and *Trifolium repens* in agricultural land mixture and mining tailings for extraction of Zn and Pb**

Katheryn Vanessa Meza Ferrer, Dionicio Belisario Luis Olivas

**RESUMEN**

**Objetivo:** Evaluar la capacidad fitoestabilizadora de *Plantago major* y el *Trifolium repens* en mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb. **Métodos:** En condiciones de invernadero se implementaron dos experimentos independientes, utilizándose en ambos el diseño completamente al azar con cinco tratamientos obtenidas a partir de mezclas de tierra agrícola y relave minero: 0% relave + 100% tierra agrícola (0%R), 25% relave+75% tierra agrícola (25%R), 50% relave+50% tierra agrícola (50%R), 75% relave+25% tierra agrícola (75%R), y 100% relave (100%R), acondicionadas en macetas de 3kg cada una; y tres repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas tanto para *Plantago major* como para *Trifolium repens* fueron: ritmo de crecimiento, altura de planta, longitud radicular, longitud total de planta, masa seca aérea, masa seca radicular, masa seca total, área foliar, concentración de plomo y zinc, factor de traslocación y bioconcentración. **Resultados:** Se observaron que, el aumento del relave minero en la composición del sustrato afectó negativamente en el conjunto de variables evaluadas en ambas especies. Las mayores concentraciones de plomo y zinc en las plantas fueron observadas en las que se desarrollaron en los sustratos compuestos por 50% o más de relaves mineros. **Conclusiones:** Se concluye que el *Plantago major*, es una especie con alto potencial para la Fitoestabilización de áreas contaminadas con zinc y/o plomo. *Trifolium repens*, clasificada como fitoestabilizadora para el zinc, se mostró como una especie acumuladora para el Pb y con alto potencial de fitoextracción de metales pesados.

**Palabras claves:** fitoestabilización, relave minero, *Plantago major*, *Trifolium repens*,

## ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the phytostabilizing capacity of *Plantago major* and *Trifolium repens* in the mixture of agricultural land and mining tailings for the extraction of Zn and Pb. **Methods:** In greenhouse conditions, two independent experiments were implemented, using in both the completely randomized design with five treatments obtained from mixtures of agricultural land and mining tailings: 0% tailings+100% agricultural land (0% R), 25% tailings+75% agricultural land (25% R), 50% tailings+50% agricultural land (50% R), 75% tailings+25% agricultural land (75% R), and 100% tailings (100% R), conditioned in 3kg pots each with three repetitions for each treatment. The variables evaluated for both *Plantago major* and *Trifolium repens* were: growth rate, plant height, root length, total plant length, aerial dry mass, dry root mass, total dry mass, leaf area, concentration of lead and zinc, translocation factor and bioconcentration. **Results:** It was observed that, the increase of the mining tailings in the composition of the substrate negatively affected the set of variables evaluated in both species. The highest concentrations of lead and zinc in the plants were observed in those that were developed in substrates composed of 50% or more of mining tailings. **Conclusions:** It is concluded that the *Plantago major* is a species with high potential for Phytostabilization of areas contaminated with zinc and / or lead. *Trifolium repens*, classified as a phytostabilizer for zinc, was shown as an accumulator species with high potential for heavy metal phytoextraction.

**Keywords:** phytostabilization, mining tailings, *Plantago major*, *Trifolium repens*,

## INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad vinculada a la economía y al medio ambiente. Por un lado, la minería al atraer inversiones produce un mayor ingreso de divisas y mayores valores de exportación, y recientemente ha influido en la evolución positiva de las bolsas mundiales por el alza en la cotización de los metales. Por otro lado, de manera colateral la minería genera relaves mineros trayendo impactos negativos al ambiente; siendo una de las causas de dichos impactos la contaminación por metales pesados, que se definen como aquellos elementos químicos que presentan una densidad superior a 5g/cm<sup>3</sup> o cuyo número atómico es superior a 20. De los 35 metales de la tabla periódica 23 cumplen lo de ser “pesados” (Ag, As, Au, Bi, Cd, Ce, Cr, Co, Cu, Fe, Ga, Hg, Mn, Ni, Pb, Pt, Te, Th, Sb, Sn, U, V y Zn).

Ante ello, es importante buscar alternativas de solución que nos conlleven a la remoción de metales pesados de manera amigable con el ambiente. Entre las alternativas y/o tecnologías utilizadas con éxito en países desarrollados se encuentra la fitorremediación, la cual consiste en el establecimiento de plantas metalófitas excluyentes, o tolerantes a metales y capaces de restringir el transporte interno de metales a los tejidos aéreos y en la incorporación de acondicionadores de sustratos adecuados para inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales presentes en los relaves mineros. Esta tecnología permite acelerar los procesos de repoblamiento vegetal que podrían ocurrir naturalmente en las áreas perturbadas, pero en plazos de cientos o miles de años, de tal manera que se pueda reconstruir más rápido un sistema natural autosustentable que esté integrado al resto del ambiente.

Por lo cual, esta investigación busca evaluar el potencial de fitoestabilización del *Plantago major* y *Trifolium repens* de Zn y Pb, a partir de mezcla de tierra agrícola y relaves minero.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Descripción de la realidad problemática

La economía del Perú está basada principalmente en la minería, siendo esta actividad la responsable del 60,64 % del valor de las exportaciones (BCR, 2017.) Entre las diferentes regiones mineras, Ancash destaca con la mayor cantidad de yacimientos mineros, que al mismo tiempo que genera recursos económicos, también serios problemas socioambientales debido a la presencia de pasivos abandonados por actividades mineras pasadas, que vienen contaminado los suelos con metales pesados. Ancash existen 1378 pasivos ambientales, representa el 15.7% del total de pasivos ambientales mineros de nuestro país, en el primer lugar a nivel nacional en tener este tipo de desechos. (Ministerio de Energía y Minas, 2018).

Estos pasivos ambientales, contienen metales pesados tales como Al, As, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Ni, Pb, Zn, Cr. sin valor económico que contaminan el suelo, ya sea: a) físicamente afectando la textura, estructura, estabilidad y disponibilidad de agua; b) químicamente, con la alteración del pH, déficit de nutrientes y exceso de metales tóxicos, y también c) biológicamente, mediante el descenso o eliminación de microorganismos del suelo y de los organismos mayores (Williamson, Johnson, & Bradshaw, 1982).

Una de las técnicas con éxito en el mundo es la fitorremediación, la que resulta de suma importancia su aplicación para remediar suelos contaminados con metales pesados. Sin embargo, esta actividad, aún es incipiente, siendo el mayor problema la falta de antecedentes y resultados, debido a la larga duración de este tipo de proyectos, que son dependientes del crecimiento de las plantas, la actividad biológica y las condiciones climáticas, por lo que la presente investigación tiene como propósito utilizar dos especies silvestres *Plantago major* y *Trifolium repens* como plantas fitorremediadoras.

## **1.2. Formulación del Problema**

### **1.2.1. Problema General**

¿El *Plantago major* y el *Trifolium repens* tendrán la capacidad fitoestabilizadora de Zn y Pb, a partir de mezcla de tierra agrícola y relaves minero?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cuál es la concentración de Zn y Pb en el relave minero “Santa Rosa de Jangas”?

¿Cuál es la concentración de Zn y Pb en las mezclas de relave-tierra agrícola?

¿Cuál es la altura, biomasa seca y área foliar que alcanzan las especies en estudio, en cada tratamiento?

¿Cuánto es la concentración de Zn y Pb en la raíz y parte aérea de cada especie?

¿Cuál será la mezcla más eficiente para la fitoestabilización?

¿Cuál es el factor de traslocación y bioconcentración en cada tratamiento de cada especie?

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivo General**

Evaluar la capacidad fitoestabilizadora de *Plantago major* y *el Trifolium repens* en mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Determinar la concentración de Zn y Pb en el relave minero “Santa Rosa de Jangas”.

Determinar la concentración de Zn y Pb en las mezclas de relave-tierra agrícola.

Evaluar la altura, biomasa seca y área foliar que alcanzan las especies en estudio, en cada tratamiento.

Determinar la concentración de Zn y Pb en la raíz y parte aérea de cada especie.

Evaluar la mezcla más eficiente para la fitoestabilización.

Determinar el factor de traslocación y bioconcentración en cada tratamiento de cada especie.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

Orchard (2008), mediante un ensayo experimental de laboratorio evaluó la capacidad de establecimiento de tres especies vegetales nativas de la zona centro-norte de Chile; (*Caesalpinia spinosa*, *Eulychnia acida* y *Alstroemeria pulchra*) en relaves de la minería del cobre acondicionados con distintos mejoradores. Los resultados de este ensayo indicaron que *C. spinosa* y *E. acida* podrían crecer en depósitos de relaves acondicionados, de lograrse una reducción en la solubilización de cobre y la salinidad. *A. pulchra* no constituiría una especie recomendada para programas de fitoestabilización de relaves mineros, dada su toxicidad por cobre y sensibilidad a la salinidad.

Cordero (2005), en su estudio de fitorremediación , utilizó a dos especies *Mombasaen* y *Brachiariadecumbens* como acumuladoras ; el análisis foliar, para el primero, no mostró una función hiperacumuladora ya que registro valores menores o parecidos a los detectados en el material vegetal de la zona inicialmente que son para cadmio y plomo 51,6 mg/Kg y 265,3 mg/kg. El tratamiento con *Brachiariadecumbens* demostró una eficiencia para fitorremediación media ya que los resultados obtenidos inicial promedio en los lotes para cadmio y plomo son 250,8 mg/Kg y 1135,5 mg/kg. Es importante resaltar que las especies utilizadas dentro de este estudio son una buena alternativa para la disminución de la contaminación de cadmio, ya que acumulan y toleran altas concentraciones de este elemento en el suelo.

Sepulveda et al. (2012), en su estudio de fitoextracción, utilizó una especie *Sarcocornia neei* (salicornia) donde evaluó la absorción de MP de relave, encontrándose que esta planta pudo desarrollarse en relave con crecimiento 39,1% menor que en arena, pero

similar a la mezcla relave-arena; se consideró que el crecimiento de salicornia en relave fue satisfactorio para el estudio. En el relave se determinó Cu, Fe, Mn, Mo, As Hg y Cd. Salicornia absorbió mayormente Fe, Cu y Mn. Para el caso de Mn y Hg una tonelada de plantas podría, teóricamente, absorber el 73% y 100%, respectivamente, de los elementos existentes en una tonelada de relave. La absorción para Fe y Cu no fue interesante para una posible aplicación de plantas de salicornia en fitominería, sin embargo, estos resultados muestran que esta especie parece ser adecuada para la fitoextracción desde relaves.

Lopez (2011), en su estudio de fitorremediación, utilizó dos especies que son el llantén y diente de león que estas especies absorben sobre los 60 mg As (V) / kg de hojas secas, superando casi 44 y 22 veces, respectivamente, el contenido inicial del metaloide en la planta. Se propone la fitorremediación como un procedimiento para reducir la dispersión de arsénico en suelos contaminados de Mayoc, y que puede ser aplicado a cualquier otro ecosistema con características similares. Se describe una propuesta multidisciplinaria para efectuar el procedimiento.

Argota, et al. (2014) en su estudio de determinación de los coeficientes biológicos de fitorremediación en suelos de relave mineros por exposición asimilable a Pb y Cd, utilizó dos especies *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata* (Poaceae) de Ananea, Puno, Perú. Evaluó el potencial de fitorremediación se determinó tres coeficientes biológicos: coeficientes de absorción biológico- BAC, factor de traslocación - BT y factor de remediación -RC de *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata*. Se observó diferencias en la raíz, hoja, BT, RC entre el Pb y el Cd de ambas especies de plantas en conjunto. No se vieron diferencias entre el Pb y Cd para el BAC. No se encontraron diferencias entre *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata* en la concentración de Pb y Cd en la raíz, y en las hojas. No se encontraron

diferencias entre *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata* en la BAC, BT y RC del Pb, y del Cd. El potencial de fitorremediación para ambas especies de plantas fue bajo.

Jara et al. (2014) en su estudio de fitorremediación evaluó la eficiencia de acumulación de plomo y zinc de 3 especies vegetales de la zona del distrito de Lachaqui, provincia de Canta, región Lima. (*Fuertesimalva echinata*, *L. ballianus*, *S. nitidum*). Los resultados obtenida fueron en las raíces de *Fuertesimalva echinata*, obteniendo 2015.1 mg de plomo kg MS y 1024.2 mg de zinc kg-1 MS. En las raíces de *L. ballianus* fue obtenida la más alta acumulación de cadmio, con una concentración de 287.3 mg kg-1 MS con el tratamiento de 100% de relave de mina. *Fuertesimalva echinata* presentó el mayor índice de tolerancia (IT) al tratamiento de 100% de relave de mina, con un IT de 41.5%, pero, *S. nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de relave de mina con IT de 68.5% y 67.9.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Relaves mineros**

Los relaves son roca finamente molida desde la cual los valores minerales deseados han sido extraídos mediante el uso de reactivos químicos. Este residuo toma la forma de una solución acuosa compuesta al menos en un 50% de agua y puede ser transportada a través de cañerías. Los relaves por lo general son vaciados en instalaciones de almacenamiento donde son retenidos en estanques o diques construidos con los mismos relaves, desechos de minas o rellenos de tierra o roca. Cuando los relaves son depositados en la instalación, la fracción sólida se asienta lo que forma una playa que propicia que la solución acuosa sea decantada y depositada o reciclada. A medida que los relaves son decantados, a menudo son utilizados para aumentar la altura del dique de los mismos relaves. Dado que las instalaciones de almacenamiento por lo general contienen residuos químicos y elevados niveles de metales, es

crucial asegurar su estabilidad física y química. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995).

### **2.2.2. Suelos contaminados por metales pesados**

Un suelo contaminado es el tipo de suelo que se encuentra afectado por agentes o sustancias químicas o físicas de tipo sólido, líquido y gaseoso que pueden provenir por acciones de tipo naturales o antrópicas que afectan la biota ya que pueden limitar el crecimiento de plantas y perturbar la biota edáfica; y causar graves consecuencias a la salud humana y animal. (Cordero, 2014).

Los metales pesados como elementos contaminantes y su estática en el suelo, condiciona una elevada persistencia y al no poder degradarse con facilidad, pueden cambiar su estado de oxidación representando cierta movilidad hacia los seres vivos. (Vullo, 2003).

Bernal et al. (2007) mencionan que la permanencia de metales pesados en el suelo es muy peligrosa para la biota debido a su elevada tendencia a la bioacumulación y a la biomagnificación a través de la cadena trófica. Dicha toxicidad depende no solo de la concentración, sino además de su forma química y de su persistencia.

#### **a) Plomo**

En el suelo el plomo tiene una gran afinidad con las sustancias húmicas y el pH y depende de ellos para fijarse, pero debido a que es poco móvil permanece en los horizontes superiores y no es asimilado en grandes cantidades por las plantas. (Acosta & Montillana, 2011). La acumulación de Pb en la superficie edáfica genera alteraciones en la actividad biológica de los suelos inhibiendo procesos microbianos y acumulándose en la microflora, flora y fauna edáfica. Alta concentración de Pb soluble en el suelo puede provocar una absorción radicular de éste elemento y una posible toxicidad en herbívoros. Como el Pb no es un elemento esencial para el metabolismo

de las plantas, una concentración en ellas superior a 5 ppm indicaría una contaminación de las mismas, habiéndose detectado efectos a concentraciones superiores a 30 mg kg<sup>-1</sup> en la parte aérea de las plantas. La contaminación de Pb en la biota está influida por las características edáficas, ya que altos valores de pH, CIC, contenidos en materia orgánica o arcillas disminuyen el metal disponible para la vegetación (Rabago, 2011).

#### **b) Zinc**

En cuanto a la contaminación de suelos por Zinc, están relacionados por fuentes antropogénicas, específicamente con la industria de metales no ferrosos y con prácticas de agricultura. (Kabata, 1992). El zinc no es considerado altamente fitotóxico, la fitotoxicidad se presenta de manera continua principalmente en suelos ácidos. La fisiología y bioquímica de los efectos tóxicos es muy similar a la de otros metales pesados. Una concentración de 300 mg kg<sup>-1</sup> de zinc es tóxica en cebada joven, mientras 400 mg kg<sup>-1</sup> son tóxicos en avena al inicio del cultivo. Las plantas presentan retardo en su crecimiento y daño en tejidos con 150 a 200 mg kg<sup>-1</sup> (Beltran, 2001).

#### **2.2.3. Fitorremediación**

La fitorremediación (Figura 1) utiliza plantas y comunidades microbianas asociadas a la rizosfera para degradar, aislar o inmovilizar contaminantes en el suelo y en las aguas subterráneas - técnica atractiva por el bajo costo, la naturaleza no destructiva y la estética agradable (Marques, 2005).

La fitorremediación se basa en la fisiología vegetal, la bioquímica del suelo y la química de los contaminantes, promoviendo la rehabilitación de la estructura y la ecología del suelo (Merkl, N, Schultze-Kraft, R, & Arias, M, 2006), aumentando la cantidad de C orgánico, la porosidad y la infiltración del agua en suelo y reduciendo la erosión. Las plantas también

mantienen la estructura del suelo, garantizando intercambios gaseosos y el desarrollo de los microorganismos, incluidos los bioremediadores. (Merkl, Schultze-Kraft, & Arias, 2006).

La fitorremediación puede ser usada en suelos contaminados con sustancias orgánicas o inorgánicas, como metales pesados, elementos contaminantes, hidrocarburos de petróleo, agrotóxicos, explosivos, solventes clorados y subproductos tóxicos de la industria (Accioly & Siqueira, 2000).

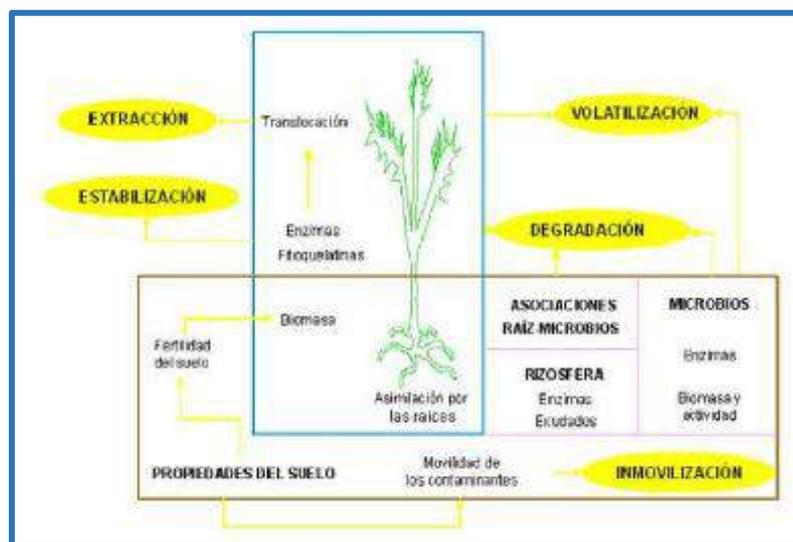


Figura 1. Procesos de la fitorremediación. Tomado de Bernal et al. (2007)

#### 2.2.4. Fitoestabilización

La fitoestabilización (Figura 2) es uno de los procesos de inmovilización que contempla la fitorremediación, esta última también llamada fitolimpieza o fitocorrección; incluye cualquier proceso biológico, químico o físico, inducido por las plantas, que ayude en la absorción, degradación y metabolización de los contaminantes, ya sea por las plantas mismas o por los microorganismos que se desarrollan en la rizósfera (Lopez, 2011).

La fitoestabilización, propiamente dicha, es el uso de plantas metalófitas excluyentes, o sea tolerantes a metales y capaces de restringir el transporte interno de metales a los tejidos aéreos (Dietz & Schnoor, 2001) y en la incorporación de acondicionadores de sustrato

adecuados para inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales presentes en los relaves (Berti & Cunnighan, 2000). Esta tecnología permite acelerar los procesos de repoblamiento vegetal que podrían ocurrir naturalmente en las áreas perturbadas (sucesión), pero en plazos de cientos o miles de años, de manera de reconstruir más rápido un sistema natural autosustentable que esté integrado al resto del ambiente. De esta forma, la fitoestabilización permite devolver el sustrato en una condición ecológica aceptable, recuperar el ecosistema y realizar diversos usos posteriores del área. (Petrisor, y otros, 2004).

Según Santibañez (2002), el objetivo de fitoestabilización es inmovilizar o reducir la biodisponibilidad de los metales/metaloideos contenidos en un suelo contaminado o en desechos mineros masivos, mediante mecanismos de estabilización físicos, químicos y biológicos, que consiste en el uso simultáneo de plantas tolerantes y excluyentes de metales - metaloides al acumularlos en sus raíces (plantas metalófitas excluyentes) y acondicionadores de sustratos orgánicos e inorgánicos.

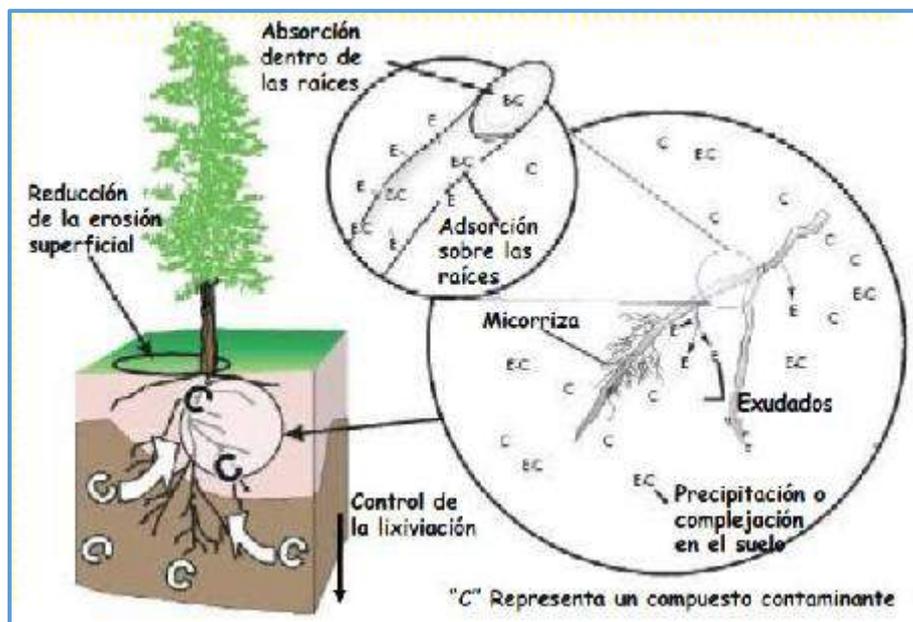


Figura 2. Mecanismos de fitoestabilización. Tomado de: Santibañez, (2002)

### 2.2.5. Factores de biodisponibilidad de metales

La solubilidad de los elementos pesados puede estar afectada por las características presentadas por estos y las condiciones medio ambientales.

- a) pH: El pH del suelo es el factor principal que condiciona los procesos de adsorción en el suelo y la actividad de los metales (Hooda P. , y otros, 2000). Este efecto ha sido explicado por diversos mecanismos como precipitación, la hidrólisis metálica, adsorción de metales, la competencia de los cationes metálicos por los sitios de intercambio (Basta & Tabatabai, 1992), la ionización de grupos superficiales, el desplazamiento del equilibrio en las reacciones de complejación superficiales, la competencia con  $H_3O^+$  y  $Al^{3+}$  por los sitios negativos y los cambios en la especiación metálica (Msaky & Calvet, 1990).

Además, generalmente, los metales quedan retenidos en el suelo a pH básicos, mientras que a pH ácidos los metales están más solubles siendo, por lo tanto, mayor su disponibilidad para las plantas, excepto algunos metales, como el arsénico, selenio y cromo hexavalente, más biodisponibles a pH básicos (Ross, 1994).

- b) Materia orgánica: Los constituyentes de la materia orgánica le proporcionan sitios para la adsorción de metales (grupos funcionales con comportamiento ácido, tales como carboxílicos, fenólicos, alcohólicos y grupos aminos), pudiendo ser la principal fuente de la capacidad de intercambio catiónico en las capas superficiales del suelo (McLean & Bledsoe, 1992).

Incluso en suelos agrícolas, generalmente con bajas concentraciones de materia orgánica, la contribución de la materia orgánica a la capacidad de intercambio catiónico es significativa, aunque varía en función del tipo de suelo (Kabata-Pendias & Pendias, 2000). Además, la materia orgánica puede retener a los

metales tanto por su capacidad de intercambio catiónico como por su capacidad quelante. (Adriano, 2001).

La disminución constante de la materia orgánica en la mayoría de los suelos agrícolas, debido a las intensivas labores agroindustriales, ha incrementado la necesidad del empleo de fertilizantes orgánicos (García-Gómez, Bernal, & Roig, 2005) Una alternativa para este problema es el uso de las compostas, las cuales se obtienen mediante el proceso de composteo, que consiste en degradar la materia orgánica para estabilizarla biológicamente, bajo condiciones aerobias controladas. Esto da como resultado un producto final denominado composta, la cual es estable, libre de patógenos y elementos fitotóxicos para las plantas y puede ser aplicada para el mejoramiento de suelos y cultivos. (Widman, Herrera, & Cabañas, 2005).

- c) Calcio: La presencia de altas concentraciones de calcio en los suelos puede reducir la absorción de metales pesados como el cadmio y el cobre por parte de las plantas, debido a que existe una competencia iónica entre ellos. De la misma manera, las altas concentraciones de estos metales pesados pueden reducir la absorción de calcio y bajar la concentración de este elemento a nivel de raíces hojas y frutos de las plantas. (Osteras & Greger, 2006).

En la mayoría de suelos donde encontramos presencia de calcio, no únicamente lo encontramos como calcio libre, sino que puede estar como carbonato y fosfato de calcio, en esta situación el cadmio puede ser controlado por la alcalinización del suelo y precipitar al metal pesado, además el efecto competitivo del calcio y las consecuencias fisiológicas y químicas de un incremento del pH del suelo disminuyen la absorción de cadmio por las raíces del cultivo (Contreras, Herrera, & Izquierdo, 2005).

d) Composición granulométrica de los suelos

La composición granulométrica de los suelos tiene una gran importancia en la retención de los metales debido a la capacidad de adsorción de las arcillas. Esto hace que una mayor o menor concentración de arcilla condicione, en gran medida, el contenido de metales en los suelos pudiendo incluso relacionarse los contenidos medios de metales pesados agrupándolos en función de las texturas de los suelos analizados (Bak, Jensen, Larsen, Pritsi, & Scott-Fordsmand, 1997).

### 2.2.6. Dinámica de tolerancia de plantas hacia metales

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

- a) Base genética: El genotipo y el ambiente producen una variación en el fenotipo del organismo y la proporción de la variabilidad fenotípica total debida a los efectos genéticos aditivos (como es el caso de la tolerancia hacia los metales pesados) se denomina herencia en sentido limitado (Bradshaw & Mcneilly, 1985) La flexibilidad fenotípica es la capacidad de un genotipo para funcionar en un rango de ambientes mediante una respuesta plástica y/o estable. En la literatura botánica la respuesta plástica en plantas es interpretada como un valor adaptativo (Kuiper, 1984).
- b) Estrategias de tolerancia: Baker (1981) sugirió tres estrategias básicas de tolerancia a los metales:

**Metal-Exclusión**, en que el metal absorbido y transportado es restringido principalmente en las vacuolas de las raíces, o en la rizósfera, restringiendo su translocación hacia los tallos (Kabata, 1992). Las plantas con mecanismos de

metal resistencia basadas en la exclusión son denominadas Excluseras y pueden ser eficientes para tecnologías de fitoestabilización (Becerril, y otros, 2007). La exclusión es la estrategia de tolerancia más característica de especies sensibles a los metales (Llugany, Tolrá, Poschenrieder, & Barceló, 2007)

**Metal-Acumulación**, en que no hay restricción y los metales son acumulados en formas no nocivas para la planta, ya sea mediante un ligamiento con células de la pared, almacenamiento de los iones al interior de la vacuola, complejación por ácidos orgánicos y posiblemente por proteínas ligadoras de metales específicos y otras propiedades como adaptaciones enzimáticas y efectos en la permeabilidad de la membrana (Baker,1981). Las plantas con mecanismos de metal-acumulación son denominadas Acumuladoras y son las especies más comunes en los suelos contaminados (Llugany, Tolrá, Poschenrieder, & Barceló, 2007).

Las especies que presentan mecanismos altamente especializados que les permiten acumular metales en su parte aérea, hasta alcanzar concentraciones superiores a 2% de su peso seco (Baker, 1987), superando así en 10 a 100 veces los valores normales de metales acumulados (Chaney, y otros, 2000), son denominadas hiperacumuladoras. Actualmente se utiliza el término hiperacumuladora de metales para designar plantas que acumulan más de: 100 mg·kg<sup>-1</sup> de *Cd* (0,01%PS), 1000 mg·kg<sup>-1</sup> de *Al, As, Co, Cu, Pb, Ni* y *Se* (0,1% PS) y más de 10000 mgkg de *Zn* y *Mn* (1 % PS) (Baker, McGrath, Sidoli, & Reeves, 1994). En el caso de *Zn* y *Mn* algunos autores piensan que es demasiado restrictivo y consideran que se podría utilizar un valor de 3000 mg·kg<sup>-1</sup>. De acuerdo con el metal que sean capaces de acumular se pueden clasificar por

ejemplo en hipernickelóforas, o hiperzincóforas según puedan acumular *Ni* o *Zn* respectivamente. Esta clasificación ha sido propuesta por Jafre (1974) en uno de los primeros estudios relacionados con la fitorremediación. (Jaffré & Schmid, 1974).

**Metal- indicación**, son plantas que reflejan el contenido de metales en el suelo o el aire (Kabata-Pendias & Pendias, 2000). A este grupo pertenecen la mayoría de las plantas agrícolas, ej. trigo, avena, maíz. (Tlustos, Pavliková, Szaková, & Balik, 2006). Además de musgos y líquenes, conocidos como los indicadores más sensibles de contaminación atmosférica, muchos otros órganos de plantas han mostrado ser buenos indicadores de contaminación de suelo y ambientes acuáticos (Kabata-Pendias & Pendias, 2000).

- c) Ingreso del metal a la planta: La absorción radicular es la vía mayoritaria de entrada a la planta de muchos elementos y es necesario que el elemento se encuentre disuelto para ser absorbido por la planta (Menguel & Kyrky, 2001). Los iones solubilizados en la zona de la raíz entran en ella gracias al movimiento del flujo del agua o por difusión entre la solución que hay dentro del apoplasto de la raíz y la circundante. La solución del suelo y los iones disueltos pueden entrar directamente por la vía simplástica (entrada dentro de las células) o apoplástica, en un flujo desde la epidermis hasta la Banda de Caspari a través del espacio libre intercelular. La Banda de Caspari obliga a los elementos químicos a continuar el camino por la vía simplástica, es decir, a penetrar en el interior de las células vegetales. A nivel de la membrana celular la entrada de los iones (absorción) se produce de forma general mediante proteínas transportadoras. Aunque hay distintos tipos de transportadores de membrana, en el

caso del arsénico hay dos que tienen un papel fundamental en su absorción: las acuaporinas y los transportadores de fosfato. Las acuaporinas son canales de entrada de agua juegan un papel fundamental en la absorción de moléculas sin carga como glicerol, amoniacó y ácido bórico, silícico y arsenioso (Zhao, Hamon, Lombi, McLaughlin, & McGrath, 2002). Mientras, los transportadores de fosfato pueden permitir la entrada de metales en muchas especies vegetales Esta forma tiene una alta afinidad por los grupos -SH y suele ser complejada y almacenada en la vacuola, pero también puede transportarse. El transporte xilemático de los metales tiene gran importancia porque va a determinar la distribución y localización de los metales en la planta. El fosfato es un anión altamente móvil en planta, por lo que ayuda a los metales a estar movilizados. (Breckle, 1991)

- d) Mecanismo celular de tolerancia: Las estrategias para evitar la acumulación de metales pesados son diversas, extracelularmente incluyen funciones de micorrizas, pared celular y exudados extracelulares. También puede participar la membrana plasmática, ya sea mediante la reducción de la absorción de metales pesados o bien estimulando el flujo de salida de los metales que han entrado en el citosol. Dentro del protoplasto existe una variedad de mecanismos potenciales, como por ejemplo:
- a) la reparación de proteínas, b) la participación de metalotioneínas, c) la quelación de metales formando complejos metálicos en el citosol mediante compuestos orgánicos, aminoácidos o péptidos, o d) su compartimentación fuera de procesos metabólicos mediante el transporte dentro de la vacuola (Chaney, y otros, 1997). De esta manera pueden inmovilizar, compartimentar y/o desintoxicar los metales que llegan al interior celular (Hall, 2002).

Según Barceló y Poschenrieder (2003; se tienen los siguientes mecanismos de acumulación:

**Formación de complejos y compartimentación:** Las hiperacumuladoras sintetizan quelatos (como fitoquelatinas, ácidos orgánicos, aminoácidos o fenoles de tipo flavonoides) que detoxifican los iones metálicos mediante la formación de complejos y/o secuestrando los metales desde zonas con un metabolismo activo (citoplasma), estos complejos orgánicos menos tóxicos son llevados a compartimentos celulares con poca actividad metabólica (pared celular, vacuolas), donde son almacenados en forma de compuesto orgánico o inorgánico.

**Hipótesis de Deposición:** Las hiperacumuladoras alejan los metales de la raíz, acumulándolos en las partes absisas de la planta (hojas viejas), lavadas por la lluvia (epidermis, pelos) o quemadas.

**Absorción inadvertida:** Se cree que la hiperacumulación de metales es un subproducto de un mecanismo de adaptación hacia otras características adversas del suelo.

**Hiperacumulación como mecanismo de defensa ante condiciones bióticas o abióticas de stress:** Una eficacia de los metales ante ciertos hongos, bacterias patógenas y herbívoros que consumen hojas han sido publicados. Este tipo de protección natural requiere de tres condiciones: la primera es que el metal sea más tóxico para el patógeno o el herbívoro que para la planta, la segunda, que el metal impida la virulencia del patógeno o herbívoro y la tercera, que el metal incremente la resistencia de la planta frente al factor causante del estrés biótico. (Boyd, Wall, & Jaffré, 2006) han demostrado que un alto contenido de Ni en las

hojas de hiperacumuladoras puede reducir la incidencia de insectos, bacterias y hongos. Una alta concentración de metales en las hojas puede actuar como elemento disuasivo o, después de la ingestión, puede reducir la tasa de reproducción de herbívoros. Además, el intercambio de defensas orgánicas mediante la acumulación de metales puede dar ventajas: se ha publicado que altas concentraciones de metales pueden ser usadas en ajuste osmótico bajo condiciones de sequía

### 2.2.7. Eficiencia de fitoestabilización

Para determinar si una planta es fitoestabilizadora, se debe usar los siguientes coeficientes:

- a) Factor de Traslocación (TF): Indica la eficiencia de la planta en trasladar el metal acumulado desde las raíces a la parte aérea (Patricia, 2016). La fórmula es la siguiente:

$$TF = [PA] / [R]$$

Donde:

TF: factor de traslocación

[PA]: Concentración de metales pesados en la parte aérea.

[R]: Concentración de metales pesados en la raíz.

Audet & Charest (2007) consideran que:

TF > 1 Hiperacumuladora

TF < 1 Fitoestabilizadora

- b) Factor de Bioconcentración (BCF): Indica la eficiencia de una especie vegetal de acumular un metal en sus tejidos desde el ambiente circundante. El factor de bioacumulación o bioconcentración (BCF's o BAF's) se hace para estimar la relación entre residuos químicos en las plantas y la concentración medidas en el

medio donde viven (suelo). (Mendieta Webster & Taisigue Lopez, 2014). La fórmula es la siguiente:

$$BCF = [PA]/[S]$$

Donde:

BCF: factor de bioconcentración.

[PA]: Concentración de metales pesados en la parte aérea.

[R]: Concentración de metales pesados en el suelo.

Audet & Charest, (2007) indican que:

BCF aérea <1 Excluyente o fitoestabilizadora

1 < BCF aérea < 10 Acumuladora

BCF aérea >10 Hiperacumuladora

## 2.2.8. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Tabla 1.

*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 trasportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la diseminación de contaminantes a través del aire o del agua.	Se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera 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 fitovolatilización, 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.
Es poco perjudicial para el ambiente.	En sistemas acuáticos se puede favorecer la diseminación de plagas, tales como los mosquitos.
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, suelo, aire y sedimentos. Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales).	

Nota: Ventajas y Desventajas de la fitorremediación tomado de Delgadillo, Gonzalo, Prieto\_Garcia, Villagomez, & Acevedo, 2011

### 2.2.9. Especies utilizadas.

Según (Juncafresa, 1980).

#### a) *Plantago major*

**Descripción:** hierba siempre verde de tallo grueso y corto, de 10 - 50 cm de altura total. Hojas dispuestas en rosetas, de pedúnculo largo, aovadas, de 5 - 20 cm de largo por 4 - 15 cm de ancho, con 3 - 5 - 7 nervios gruesos, generalmente lisas. Flores pequeñas reunidas en espigas densas, verde-amarillentas, de 4 - 15 cm de largo. Fruto en cápsula ovada, con numerosas semillas negras, rugosas y brillantes, de aprox. 1 mm de largo

**Familia:** Plantaginaceae.

**Nombres comunes:** Llantai, Llantén macho; Llantén mayor, Tanchagem (portugués);

#### **Datos ambientales**

**Clima:** Abarca una gama de condiciones climáticas, no aceptando temperaturas bajo cero.

**Suelo:** Areno-arcilloso, rico en materia orgánica, no sujeto a humedad excesiva.

#### **Cultivo**

**Época de siembra:** Durante todo el año.

**Espaciamiento:** El espaciamiento de siembra recomendado es de 0,30 m x 0,20 m y 0.30 m x 0,30 m.

**Cosecha:** A partir del 4 mes.

#### b) *Trifolium repens*

**Descripción:** planta perenne de 10-50 cm. Tallos rastreros y enraizantes. Hojas trifoliadas, foliolos obovados, denticulados, a menudo con una mancha blanca en el

haz. Estípulas bruscamente estrechadas en el ápice. Flores con corola blanca o rosada, membranosa en la fructificación; presentan una pequeña bráctea en su base. Cáliz con 10 nervios. Flores agrupadas en cabezuelas globosas, pedunculadas.

**Familia:** Fabaceae

**Nombres común:** Trébol blanco

**Datos ambientales**

**Clima:** Árido - Atlántico - Continental - Mediterráneo - Montañoso - Subtropical árido – Tropical

**Suelo:** pH Ácido - pH Neutro - pH Alcalino - Suelo bien drenado - Suelo fértil - Suelo Húmedo - Suelo pobre - Textura arcillosa - Textura arenosa - Textura franca

**Cultivo**

**Época de siembra:** Durante todo el año.

**Espaciamiento:** La profundidad más favorable está comprendida entre uno y medio y tres centímetros; debiéndose sembrar a tres centímetros de profundidad en las tierras ligeras, y a uno en las compactas.

**Cosecha:** A partir del cuarto mes

### 2.3. Definiciones Conceptuales

**Biodisponibilidad:** La disponibilidad de los metales está relacionada con el flujo del elemento hacia la planta, el cual depende de la concentración en la solución suelo y del transporte a través de éste (Hooda et al., 1999).

**Factor de Traslocación:** Es la concentración de metal en la raíz entre la concentración del metal en las hojas (Sun, Zhou, & Diao, 2008).

**Factor de bioconcentración:** Es la proporción del elemento contenido en la parte aérea de la planta con respecto a la superficie del suelo. (Whitfield & Zeeb, 2010).

**Fitoestabilización:** Son aquellas especies que poseen la estrategia de acumular metales en las raíces, independientemente del nivel de contaminación del sustrato, (Hazrat, Khan, & Sajad, 2013).

**Metal Pesado:** Se refiere a aquellos metales de la tabla periódica cuyo peso específico es superior a 5 g/cm<sup>3</sup> o que tienen un número atómico por encima de 20, excluyendo generalmente a los metales alcalinos y elementos alcalinotérreos (Breckle, 1991); de acuerdo con (Tiller, 1989) parece que el término de “metal pesado” puede ser utilizado de una forma globalizadora para referirse a aquellos metales clasificados como contaminantes ambientales.

**Metalofitas:** Las especies metalófitas y pseudometálofitas son plantas que, debido a proceso evolutivos, han desarrollado mecanismos fisiológicos capaces acumular cantidades, significativamente grandes, de metales no bioelementales en su masa aérea o en la rizosfera, convirtiéndose en esponjas catiónicas de metales como los Clase B e Intermedios. (Servellon, 2011).

**Planta exclusora:** Son especies que previenen la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de estos sobre un amplio rango de concentración de metales en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces. (Mendieta & Taisigue, 2014).

**Relave:** Los relaves son roca finamente molida desde la cual los valores minerales deseados han sido extraídos mediante el uso de reactivos químicos. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995).

**Tierra agrícola:** El suelo agrícola es aquel que se utiliza en el ámbito de la productividad para hacer referencia a un determinado tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o agricultura. El suelo agrícola debe ser en primer lugar un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo que sean luego cosechados y utilizados por el hombre, por lo cual también debe ser apto por sus componentes para el ser humano. (EcuRed, 2015).

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

El *Plantago major* y el *Trifolium repens* tienen capacidad fitoestabilizadora de Zn y Pb a partir en mezcla de tierra agrícola y relave minero

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

La concentración de metales pesados está sobre los Estándares de calidad ambiental para suelo (ECAs).

La concentración de Zn y Pb total en las mezclas de relave-tierra agrícola, es directamente proporcional al contenido de relave.

La altura, biomasa seca y área foliar que alcanzan las especies en estudio, en cada tratamiento, es directamente proporcional al contenido de tierra agrícola.

La concentración de Zn y Pb en la raíz y parte aérea de cada especie es directamente proporcional a la biodisponibilidad del relave minero.

La mezcla más eficiente será en tratamiento 50% en una proporción 50%R Y 50% TA

El factor de traslocación y bioconcentración en cada tratamiento, es menor a uno, lo que indica alta capacidad fitoestabilizadora.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. Lugar de ejecución.**

El proyecto se desarrolló durante los meses de febrero a noviembre del año 2017, en el distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, departamento de Ancash, ubicada en coordenadas 222377 Este y 8945978 Norte y a una altitud de 2500 msnm.

#### **3.2. Área sector y programa**

3.2.1. Área: 03 AMBIENTAL

3.2.2. Sector: 0301 BIODIVERSIDAD Y CALIDAD AMBIENTAL

3.2.3. Programa: 0301 0006 BIORREMEDIACION DE SUELOS CONTAMINADOS

#### **3.3. Tipo de investigación**

Experimental.

#### **3.4. Población y Muestra**

##### **a) Población**

Relaves mineros provenientes de la Planta Concentradora de Minerales “Santa Rosa de Jangas”.

Especies nativas con potencial fitoestabilizador, que crecen en relaves mineros.

##### **b) Muestra**

Relave minero extraído de la Planta Concentradora de Minerales “Santa Rosa de Jangas”.

La muestra fue obtenida a partir de 15 calicatas, de 0.75m de profundidad y 0.5m x 0.5m de ancho por largo. Esta muestra fue llevada a un lugar adecuado

para que seque a temperatura ambiente. Luego se realizó una mezcla homogénea de las 15 calicatas. Para obtener la muestra final.



Figura 3. Relavera minera "Santa Rosa de Jangas"



Figura 4. Muestreo de tierra agrícola.

*Plantago major* y *Trifolium repens*

### 3.5. Preparación de sustratos

El relave minero y tierra agrícola obtenido, fueron secados a temperatura ambiente por 7 días, hasta tenerlo completamente seco.

Luego se realizó combinaciones de:

-0% relave (0%R)

-75% tierra agrícola + 25% relave (25%R)

-50% tierra agrícola + 50% relave (50%R)

-25% tierra agrícola + 75% relave (75%R)

-100% relave (100%R)

Obteniéndose así 5 grupos los cuales fueron llenados en macetas con 3Kg cada uno; y con tres repeticiones.



Figura 5. Preparación de sustrato.



Figura 6. Llenado de sustrato en los maceteros.

### 3.6.Cultivo de especies

Ambas especies fueron sembradas a partir de semillas, y adaptadas en un invernadero.



Figura 7.Siembra de especies.

El riego se realizaba cada dos días, de acuerdo a las condiciones ambientales.

### 3.7.Toma de datos biométricos

Se tomó los valores con la ayuda de una regla cada 15 días aproximadamente.



Figura 8. Registro de la altura-Trifolium repens.



Figura 9. Registro de altura-Plantago major.



Figura 10. Medida de la longitud de raíz-Trifolium repens.



Figura 11. Medida de la longitud de raíz-Plantago major.



Figura 12. Registro de peso-Trifolium repens.



*Figura 13.* Registro de peso-Plantago major.



*Figura 14.* Cálculo de área foliar.

### 3.8.Cosecha de especies

Una vez las especies alcanzaron el tamaño adecuado (alcanzaron su ciclo de vida), fueron cosechados y llenados en bolsas ziploc para la posterior determinación de zinc y plomo en las especies.



Figura 15. Crecimiento de Plantago major.



Figura 16. Crecimiento de Trifolium repens.

### 3.9. Determinación de Zinc y Plomo en las especies

#### a) Preparación de los tejidos vegetales.

Se prepararán las especies de la siguiente manera:

Las especies se cosechan y lavan cuidadosamente con agua destilada.

Luego se secan en la estufa por 24 horas a 30°C.



*Figura 17.* Secado de especies en la estufa.

Homogenizar con un mortero la parte aérea y raíz por separado



*Figura 18.* Homogenización de la muestra.

**b) Proceso de digestión y pH.**

Pesar 0.5 g de cada tratamiento (aproximadamente), de raíz y parte aérea por separado, con un total de 30 muestras, 15 para zinc y 15g para plomo.



*Figura 19.* Pesaje de las muestras, para digestión.

Quemar la muestra hasta obtener cenizas de color blanco, por aproximadamente 1 hora.



*Figura 20.* Incineración de muestras.

La muestra debe ser digerida, que consiste añadir 2ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ), en un vaso precipitado junto a la muestra, en un estufa con campana extractora, dejando la muestra hasta casi por evaporarse luego se añadir una vez más 1ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) hasta conseguir que se evapore.



*Figura 21.* Digestión de las muestras.

Enrazar a 100 ml con agua destilada para luego acondicionar el pH (5-6), con la ayuda del potenciómetro.

Filtrar en una fiola, y extraer 5ml de muestra en un tubo de ensayo para el análisis de Zn y 8 ml para el análisis de Pb para luego utilizar los test o kits correspondientes



*Figura 22.* Filtrado de muestras.

### c) Preparación de los test.

Se añaden los reactivos en estricto orden según indica el manual *spectroquant* para Zinc y Plomo.

Agitar vigorosamente y esperar 30 segundos aproximadamente.



Figura 23. Preparación de test.

### d) Espectrofotómetro.

El equipo a utilizar es de la marca Spectroquant Nova 60, de las siguientes características:

Modos de medición	Absorbancia, concentration, transmission
Pantalla	128×64 P
Nº de métodos	50 (libres programables)
Sistema óptico	Haz único con 12 filtros en matriz
Rango de absorbancia	-0,300 - 3,200 A
Precisión de la longitud de onda	±2 nm
longitud de onda	340 ; 410 ; 445 ; 500 ; 525 ; 550 ; 565 ; 605 ; 620 ; 665 ; 690 ; 820 nm
Fuente de luz	Lámpara halógena de tungsteno, preajuste, sin calentamiento
Memoria	1000 values
Cubetas	Ø 16 mm (round) and 10, 20, 50 mm (rectangular)
Peso	2,3 kg
Capacidad de almacenaje	1000 resultados



*Figura 24.* Espectrofotómetro utilizado en el estudio.

Añadir la muestra preparada de plomo en una celda de 9 ml; colocar en el espectrofotómetro y leer.



*Figura 25.* Celda de plomo.

Añadir el extractor de la muestra de zinc en una celda de 3ml, y colocar en el espectrofotómetro y leer.



*Figura 26.* Celda de zinc.

Estos datos están en ppm y para el peso y volumen muestreado.

**e) Corrección de datos:**

Una vez obtenida las concentraciones en mg/L, se determinaron en términos de mg/Kg, de la siguiente manera.

W: Peso en gr utilizado del total de la muestra. (0.5 gr aproximadamente)

V: Volumen de dilución (100 ml)

CE: Concentración leída por el equipo en mg/L

CM: Concentración de la muestra en mg/L

$$= \frac{W}{10000}$$

$$\% = \frac{C}{100}$$

Finalmente se convirtió de % a mg/Kg teniendo en cuenta que 1% = 10000 ppm y 1 ppm = 1mg/Kg. Obteniendo como fórmula simplificada

$$= \frac{C}{100}$$

### 3.10.Determinación de variables e indicadores.

Tabla 2.

*Determinación de variables e indicadores.*

VARIABLES	DEFINICION	INDICADORES	PARAMETROS	METODOLOGIA EXPERIMENTAL
Variable dependiente: Fitoestabilizadora de Zn y Pb	La fitoestabilización, es el uso de plantas tolerantes a metales y capaces de restringir el transporte interno de metales a los tejidos aéreos (Dietz & Schnoor, 2001)	Factor de bioconcentración (BCF)  Menor a 1.	BCF= [PA]/[S] Donde: [PA]: Concentración de metales pesados en la parte aérea. [R]: Concentración de metales pesados en el suelo.	O1 – X – O2  O1= pre-test X= Tratamiento O2=post-tesis
		Factor de traslocación (TF)  Menor a 1.	TF= [PA]/[R] Donde: [PA]: Concentración de metales pesados en la parte aérea. [R]: Concentración de metales pesados en la raíz.	
Variable independiente: <i>Plantago major</i> y <i>Trifolium repens</i>	Plantas que crecen en el relave minero de la planta concentradora de minerales “Santa Rosa de Jangas”	Medidas biométricas	-Altura _Biomasa seca _ Área foliar	

Fuente: Elaboración propia.

### 3.11. Diseño estadístico

Diseño completamente al azar *Plantago major* y *Trifolium repens* con 5 tratamientos y 3 repeticiones para cada especie

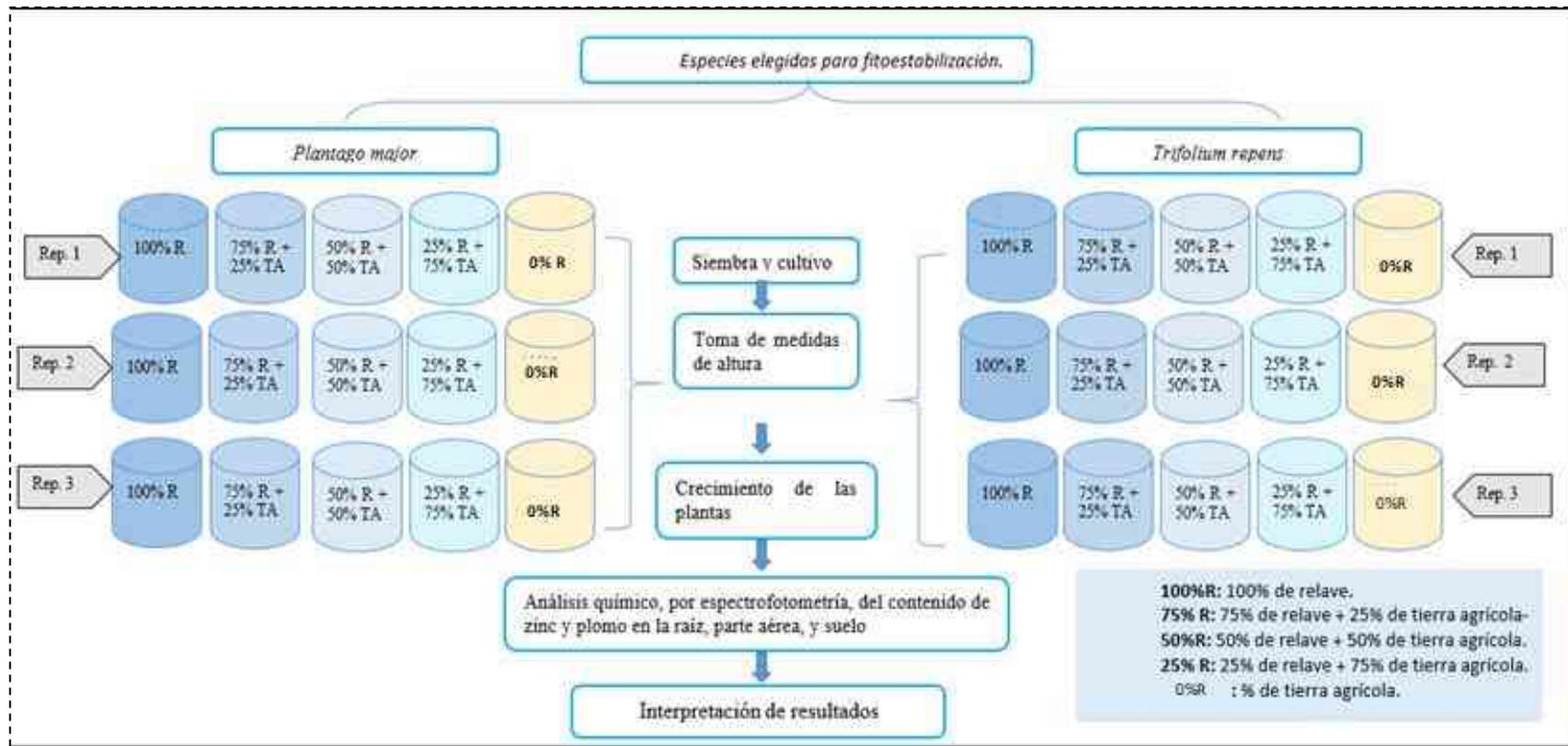


Figura 27. Diseño estadístico de la investigación. Elaboración propia.

### **3.12. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

- a. Fuente primaria:** Los resultados obtenidos en el análisis de las plantas y muestras de relave y tierra agrícola.
- b. Fuente secundaria:** Revisión documental como libros, resúmenes, publicaciones especializadas haciendo uso de fichas bibliográficas consulta a especialistas, utilización de Internet.

### **3.13. Procesamiento y análisis de datos**

El procesamiento de los datos se realizará con el programa Microsoft Excel y los resultados serán presentados con tablas y figuras

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Concentración de metales en el relave minero y la tierra agrícola

En la tabla 3, se muestran las concentraciones de metales pesados en los dos tipos de sustratos utilizados en el experimento. Se observa que, para el total de metales analizados, mayores concentraciones de estos se encuentran en el relave minero, en comparación a la tierra agrícola.

Así mismo, en el grafico 1, se puede apreciar las concentraciones de relave, tierra agrícola y los estándares de calidad de suelo canadiense, mostrándonos como las concentraciones de relave superan ampliamente los valores máximos admitidos según norma.

Tabla 3.

*Concentración de metales en relave y tierra agrícola.*

Metal (mg Kg <sup>-1</sup> )	Sustrato	
	Relave	Tierra Agrícola
Aluminio total (Al)	273.00	80.00
Arsénico total (As)	2.14	2.00
Cadmio total (Cd)	13.56	1.11
Calcio (Ca)	431.00	189.00
Cobre total (Cu)	407.00	7.00
Cromo total (Cr)	125.00	17.50
Hierro total (Fe)	22.60	78.00
Magnesio total (Mg)	512.00	69.00
Manganeso total (Mn)	27.80	16.20
Níquel total (Ni)	44.00	22.00
Plomo total (Pb)	730.00	89.00
Zinc total (Zn)	2400.00	35.00
Cromo VI (Cr <sup>+6</sup> )	276.00	10.00

Fuente: Elaboración propia.

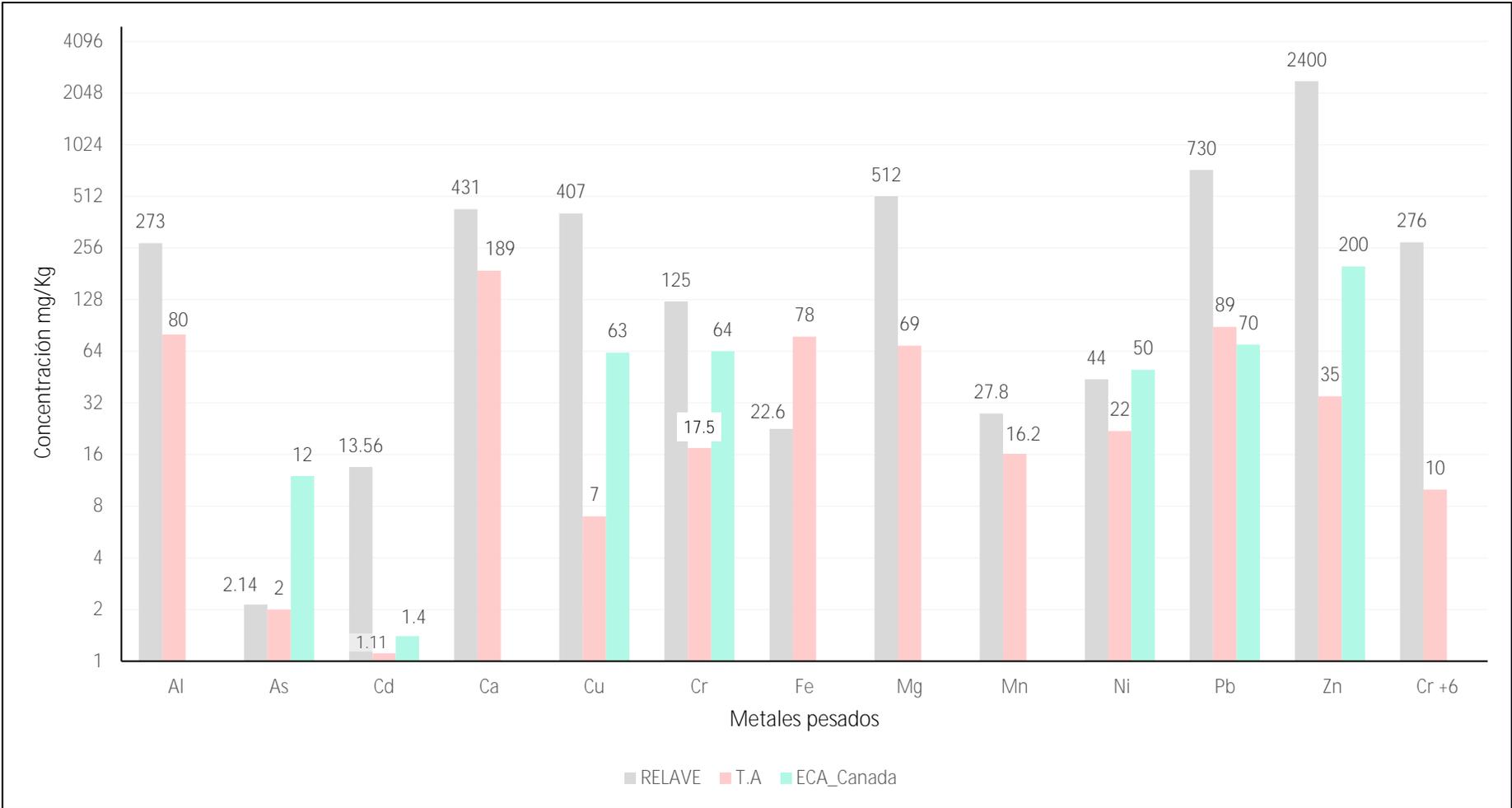


Figura 28. Concentración de metales en relave y tierra agrícola. Elaboración propia.

## 4.2. Concentración de zinc y plomo en las mezclas de relave-tierra agrícola.

### 4.2.1. Metales totales

En la tabla 4 se presentan las concentraciones de plomo y zinc por cada uno de los tratamientos. Se aprecia que, al aumentar el relave minero en la mezcla de sustrato, se incrementan las concentraciones de los metales antes mencionados. Cabe mencionar que la concentración total se refiere a los metales en el suelo que pueden encontrarse bajo distintas formas: como ion libre o en forma complejada en la disolución del suelo, adsorbidos o en forma intercambiable en la fracción coloidal del suelo (arcilla, compuestos húmicos, hidróxidos de hierro, manganeso y aluminio) o bien formando parte de minerales secundarios, primarios y complejos insolubles en la fase sólida del suelo. (Gonzales, Almendros, & Manuel J, 2009).

Tabla 4.

*Concentración de plomo y zinc totales.*

Metal (mg kg <sup>-1</sup> )	0% R	25% R	50%R	75%R	100%R
Plomo	89.19	255.4	412.31	551.35	730.61
Zinc	35.2	612.34	1218.21	1820.65	2400.52

Fuente: Elaboración propia.

### 4.2.2. Metales disponibles

La biodisponibilidad sería el grado de libertad en que se encuentra un elemento o compuesto de una fuente potencial para ser capturado por un organismo (ingerido o adsorbido) (Newman & Jagoe, 1994). En la tabla 5, se observa que la mayor biodisponibilidad para plomo y zinc se encuentra en las mezclas que contienen entre 25 y 50% de relave minero. Esta tendencia podría explicarse por los valores de pH, capacidad de intercambio catiónico y demás características fisicoquímicas de cada tratamiento que hacen que se presenten de diferente forma (Anexo 2.4. Caracterización fisicoquímica de cada tratamiento).

De acuerdo con estos resultados, se puede inferir que las especies pueden tomar con mayor facilidad el plomo y zinc en las mezclas de 25 y 50% de relave minero, pudiendo incluso ser tóxicos y no soportar estos niveles.

Tabla 5.

*Concentración de plomo y zinc disponibles.*

Metal (mg kg <sup>-1</sup> )	0% TA	25% R	50%R	75%R	100%R
Plomo	75.8	120.8	313.4	110	188.2
Zinc	22.64	33.39	44.1	11.58	10

Fuente: Elaboración propia.

### 4.3. Características de planta en *Plantago major* y *Trifolium repens*

#### 4.3.1. *Plantago major*

En la tabla 6 y figura 4 se presenta el ritmo de crecimiento aéreo de la planta *Plantago major*. Se observa que el crecimiento es relativamente similar hasta el día 100, en donde cada tratamiento comienza a variar de manera significativa, es así que los tratamientos en 50, 75 y 100%R comienzan a tener un crecimiento lento, presentando marchitez en algunas hojas, disminuyendo así su crecimiento. No obstante, los tratamientos 25%R y 0%R, siguen el crecimiento normal sin presentar marchitez u otras observaciones.

Tabla 6.

*Ritmo de crecimiento aéreo (cm) de Plantago major en diferentes sustratos con relaves mineros.*

Tratamiento	40	55	70	85	100	115	130
0%R	5.03 a	7.70 a	9.93 a	11.87 a	14.00 a	15.73 a	16.63 a
25%R	4.53 a	6.60 a	8.53 b	10.03 b	11.00 b	15.27 a	16.40 a
50%R	4.50 a	6.40 a	8.27 b	10.00 b	11.23 b	10.50 b	10.70 b
75%R	4.27 a	6.03 a	7.80 b	9.37 c	10.57 b	9.77 b	10.27 b
100%R	3.17 b	4.90 b	7.10 b	8.93 c	10.33 b	10.47 b	9.73 b

Nota: Medias con una letra común en la columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia

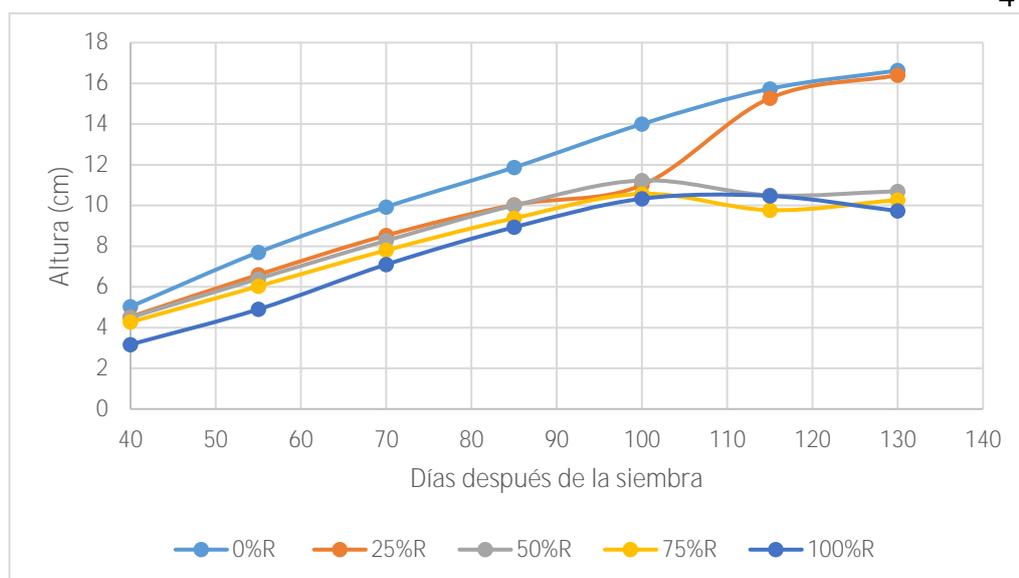


Figura 29. Ritmo de crecimiento aéreo (cm) de *Plantago major* en diferentes sustratos con relaves mineros. Elaboración propia

En la tabla 7 y figura 5 se aprecia que, para altura de planta, los mayores valores se obtuvieron con 0% y 25% de relaves mineros. Para longitud radicular y longitud total de la planta, el sustrato con 100% de relave minero produjo menores valores, siendo significativamente inferior a los otros tratamientos.

En general, se puede decir que el *Plantago major* se puede desarrollar sin mayores problemas en sustratos que contengan hasta 75% de relaves mineros.

Tabla 7.

*Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y Longitud total de planta (LT) de Plantago major en diferentes sustratos con relaves mineros.*

Tratamiento	AP (cm)	LR (cm)	LT (cm)
0%R	16.63 a	54.83 a	71.47 a
25%R	16.40 a	45.30 a	61.70 a
50%R	10.70 b	45.30 a	56.00 a
75%R	10.27 b	39.77 a	50.03 a
100%R	9.73 b	18.83 b	28.57 b

Nota: Medias con una letra común en la columna no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia

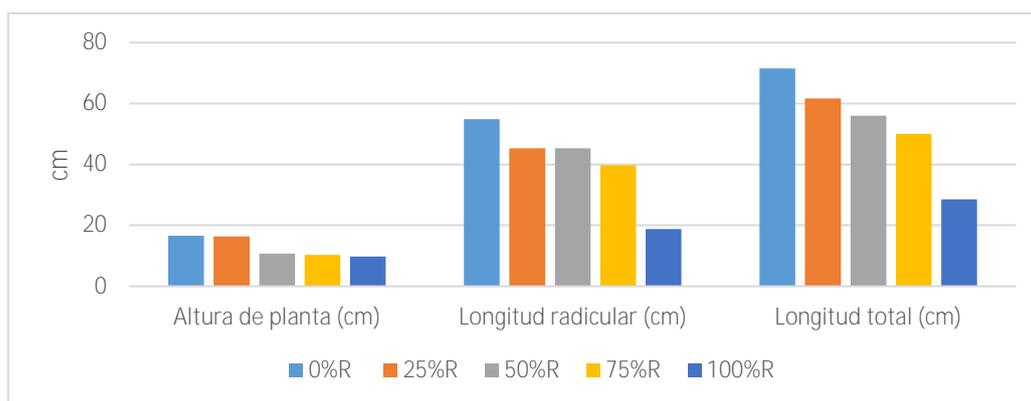


Figura 30. Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y Longitud total de planta (LT) de *Plantago major* en diferentes sustratos con relaves mineros. Elaboración propia

#### 4.3.2. *Trifolium repens*

En la tabla 8 y figura 6 se presenta el ritmo de crecimiento aéreo de la planta *Trifolium repens*. Se observa que el crecimiento es hasta los 100 días para los sustratos que contienen relaves mineros, sufriendo quemaduras posteriores por intoxicación. Los tratamientos con contenido en relave tienen un crecimiento lento y bajo con respecto al 100%TA, lo cual nos indica que esta especie no es resistente o tolerante a altas concentraciones de metales pesados; presentando el menor crecimiento en el tratamiento 50%R, donde existe mayor biodisponibilidad de metales.

Tabla 8.

*Ritmo de crecimiento aéreo (cm) de Trifolium repens en diferentes sustratos con relaves mineros.*

Tratamiento	40	55	70	85	100	115	130
0%R	2.70 a	5.67 a	7.83 a	10.83 a	16.63 a	18.80 a	21.57 a
25%R	1.50 b	3.33 c	4.97 b	5.53 c	6.17 b	6.17 b	6.17 b
50%R	1.50 b	2.53 c	3.37 b	3.87 c	4.50 b	4.50 b	4.50 b
75%R	1.77 b	3.00 c	3.83 b	4.67 c	5.20 b	5.20 b	5.20 b
100%R	2.33 a	4.67 b	6.23 a	7.57 b	8.33b	8.33 b	8.33 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).

Elaboración propia

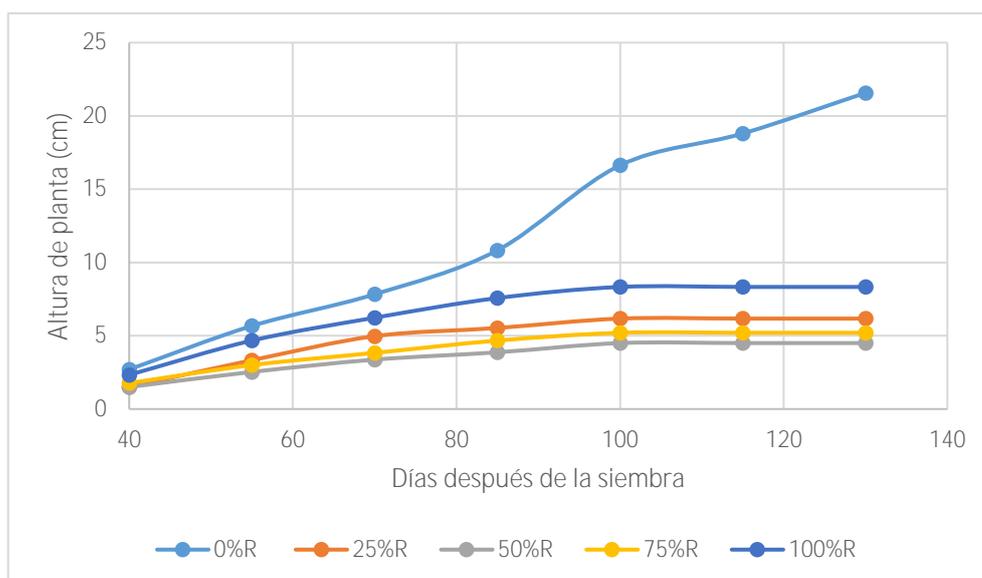


Figura 31. Ritmo de Crecimiento de *Trifolium repens* según tratamiento. Elaboración propia

En la tabla 9 y figura 7 se aprecia que, para altura de planta, longitud radicular y longitud total del *Trifolium repens*, los mayores valores se obtuvieron con 0% de sustrato de relave minero. En general, se puede decir que el *Trifolium repens* no se puede desarrollar en sustratos que contengan relaves mineros.

Tabla 9.

*Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y longitud total de planta (LT) de Trifolium repens en diferentes sustratos con relaves mineros.*

Tratamiento	AP	LR	LT
0%R	21.57 a	20.67 a	42.23 a
25%R	6.17 b	9.90 b	16.07 b
50%R	4.50 b	9.50 b	14.00 b
75%R	5.20 b	9.40 b	14.60 b
100%R	8.33 b	12.63 b	20.97 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Elaboración propia

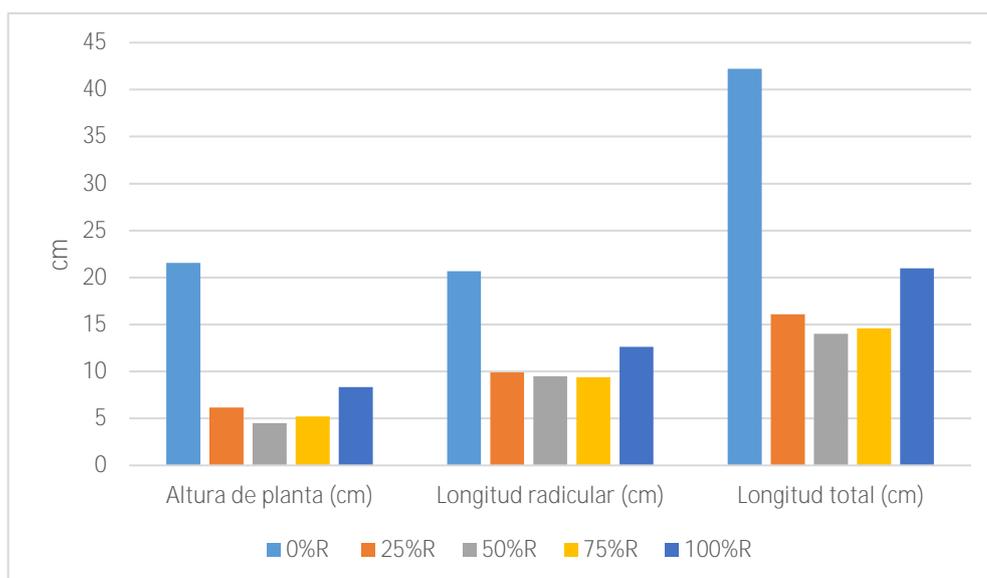


Figura 32. Altura de planta (AP), longitud radicular (LR) y Longitud total de planta (LT) de *Trifolium repens* en diferentes sustratos con relaves mineros. Elaboración propia

#### 4.4. Producción de materia seca en *Plantago major* y *Trifolium repens*

##### 4.4.1. *Plantago major*

En la tabla 10 y en la figura 8, se puede apreciar la biomasa que representa el peso de cada especie, previamente secada. El *Plantago major*, presenta valores relativamente altos siendo inversamente proporcionales al contenido de relave minero, a más relave menos biomasa.

Tabla 10.

*Masa seca aérea (MSA), masa seca radicular (MSR) y masa seca total (MST) de Plantago major en diferentes sustratos con relaves mineros.*

Tratamiento	MSA	MSR	MST
0%R	28.09 a	19.87 a	47.95 a
25%R	15.32 b	7.81 b	23.14 b
50%R	8.97 b	9.21 b	18.18 b
75%R	5.76 b	7.85 b	13.61 b
100%R	4.89 b	6.31 b	11.20 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ). Elaboración propia

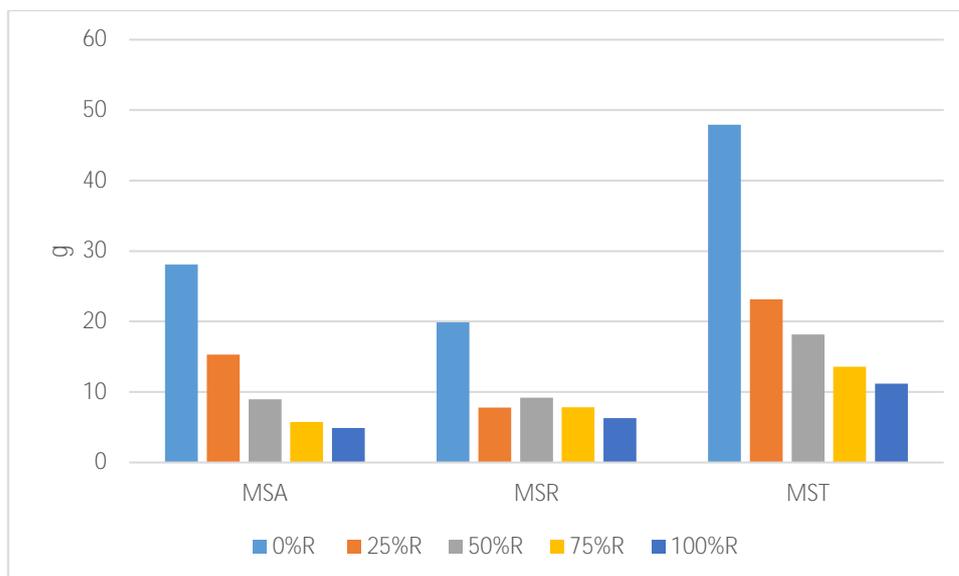


Figura 33. Biomasa seca (gr) de Plantago major Elaboración propia

#### 4.4.2. *Trifolium repens*

En la tabla 11 y en la figura 9, se puede apreciar la biomasa que representa el peso de cada especie, previamente secada. El *Trifolium repens* presenta valores de biomasa relacionados inversamente a la biodisponibilidad de metales en cada tratamiento, siendo el más bajo en el 50%R, en cuyo tratamiento existe mayor biodisponibilidad.

Tabla 11.

*Masa seca aérea (MSA), masa seca radicular (MSR) y masa seca total (MST) de Trifolium repens en diferentes sustratos con relaves mineros.*

Tratamiento	MAS	MSR	MST
0%R	10.07 a	4.63 a	14.70 a
25%R	1.86 b	0.82 b	2.67 b
50%R	0.46 c	0.28 b	0.74 c
75%R	0.78 c	0.48 b	1.26 c
100%R	2.31 b	0.81 b	3.12 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia

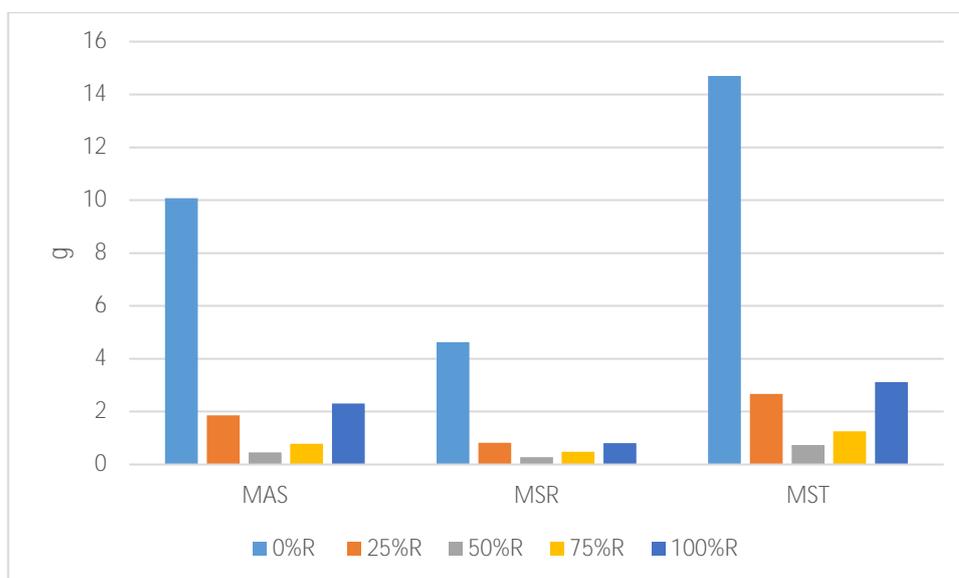


Figura 34. Biomasa seca (gr) de *Trifolium repens*. Elaboración propia.

#### 4.5. Área foliar en *Plantago major* y *Trifolium repens*

##### 4.5.1. *Plantago major*

En la tabla 12 y en la figura 10 el área foliar se presenta en cm<sup>2</sup>, para el *Plantago major*, observándose un área inversamente proporcional al porcentaje de relave; a mayor relave menor área foliar. Obteniéndose una diferencia significativa para el tratamiento de 0%R.

Tabla 12.

##### *Área foliar -Plantago major.*

Tratamiento	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
0%R	1958.26 a
25%R	1068.35 b
50%R	625.20 b
75%R	401.74 b
100%R	340.96 b

Nota :Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia

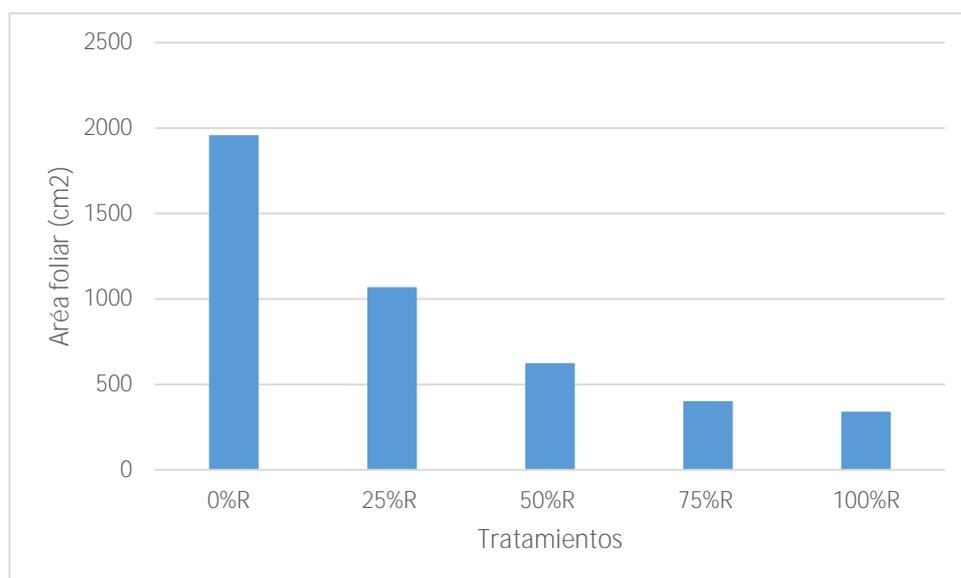


Figura 35. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de Plantago major. Elaboración propia

#### 4.5.2. *Trifolium repens*

En la tabla 13 y en la figura 11, muestra los valores de área foliar en cm<sup>2</sup> del *Trifolium repens*. Obteniéndose que el tratamiento 0% R presenta el mayor valor con una diferencia altamente significativa respecto a los demás tratamientos. Los tratamientos 25% y 100%R presentan valores semejantes estadísticamente. Finalmente los tratamientos 50% R y 75%R presentan valores no significantes estadísticamente entre ellos, y muy diferentes estadísticamente al tratamiento 0%R.

Tabla 13.

#### Área foliar (cm<sup>2</sup>) de *Trifolium repens*.

Tratamiento	Área foliar (cm <sup>2</sup> )
0%R	1277.88 a
25%R	239.14 b
50%R	106.87 c
75%R	145.76 c
100%R	353.13 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia.

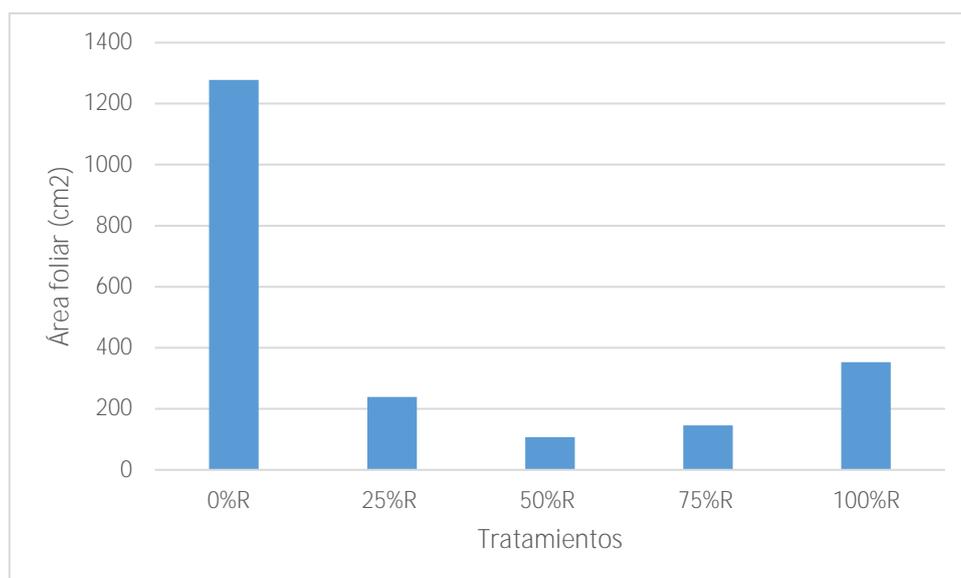


Figura 36. Área foliar (cm<sup>2</sup>) de *Trifolium repens*. Elaboración propia

Los valores de altura, biomasa y área foliar guardan relación estrictamente directa entre ellas. Pudiendo apreciarse que el *Trifolium repens* es una especie que no tiene un desarrollo abundante de biomasa, lo cual puede deberse a la concentración de metales que es capaz de extraer, según Barceló & Poschenrieder, 2003, una de las limitaciones de las plantas hiperacumuladoras es la escasa producción de biomasa. A diferencia de *Plantago major* que presenta una biomasa relativamente alta.

#### 4.6. Concentración de zinc y plomo en la raíz y parte aérea de cada especie.

##### 4.6.1. *Plantago major*

En la tabla 14. Se presentan las concentraciones de plomo y zinc para la parte aérea (tallo) y raíz del *Plantago major*, estos datos posteriormente serán sometidos a un Análisis de varianza (ANOVA), y finalmente a un método de comparaciones múltiples Scott-knott

Tabla 14.

*Concentración de zinc y plomo en la raíz y parte aérea -Plantago major*

Tratamiento	Follaje		Raíz	
	Pb	Zn	Pb	Zn
	..... mg.kg <sup>-1</sup> .....			
0%R	47.33 b	42.00 b	111.33 b	210.00 a
25%R	67.00 b	67.00 b	137.00 b	210.33 a
50%R	95.33 b	140.33 b	163.67 b	364.00 a
75%R	85.33 b	129.67 b	199.67 a	273.00 a
100%R	204.00 a	247.33 a	221.67 a	260.33 a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia  
Tabla 15.

*Concentración de zinc y plomo en la planta de Plantago major.*

Tratamiento	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )
0%R	74.15 c	110.44 b
25%R	92.58 c	104.46 b
50%R	131.20 b	262.37 a
75%R	149.89 b	225.92 a
100%R	213.79 a	247.06 a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia.

**4.6.2. *Trifolium repens***

En la tabla 16. Se presentan las concentraciones de plomo y zinc para la parte aérea (tallo) y raíz del *Trifolium repens*, estos datos posteriormente serán sometidos a un Análisis de varianza (ANOVA), y finalmente a un método de comparaciones múltiples Scott-knott

Tabla 16.

*Concentración de zinc y plomo en la raíz y parte aérea -Trifolium repens*

Tratamiento	Follaje		Raíz	
	Pb	Zn	Pb	Zn
	..... mg.kg <sup>-1</sup> .....			
0%R	216.06 b	69.34 c	271.48 b	80.09 b
25%R	632.45 a	253.39 b	385.25 b	94.05 b
50%R	711.22 a	365.58 b	822.72 a	101.40 b
75%R	695.96 a	702.96 a	383.04 b	592.25 a
100%R	706.87 a	218.73 b	658.66 a	461.96 a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia.

Tabla 17.

*Concentración de zinc y plomo en la planta de Trifolium repens.*

Tratamiento	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )
0%R	233.25 b	71.95 c
25%R	559.61 a	202.66 b
50%R	751.26 a	265.81 b
75%R	688.90 a	661.64 a
100%R	582.87 a	275.76 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia.

**4.7. Mezcla más eficiente para la fitoestabilización del relave minero.****4.7.1. *Plantago major***

Según el análisis de varianza, se ha observado diferencias significativas entre los distintos tratamientos para las concentraciones tanto de plomo como de zinc, en la planta de *Plantago major*.

Según la prueba de comparación múltiple de Scott-Knott al 5%, se observa que, para el plomo y zinc, las mayores concentraciones se encontraron en las plantas que se desarrollaron en sustratos compuestos por 50% o más de relaves mineros.

Tabla 18.

*Prueba de Scott-Knott al 5% para concentraciones de plomo (Pb) y zinc (Zn) en la planta de Plantago major, según tratamiento.*

Tratamiento	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )
0%R	74.15 c	110.44 b
25%R	92.58 c	104.46 b
50%R	131.20 b	262.37 a
75%R	149.89 b	225.92 a
100%R	213.79 a	247.06 a

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia

#### 4.7.2. *Trifolium repens*

Según el análisis de varianza, se ha observado diferencias significativas entre los distintos tratamientos para las concentraciones tanto de plomo como de zinc, en la planta de *Trifolium repens*.

Según la prueba de comparación múltiple de Scott-Knott al 5%, se observa que, para el plomo las mayores concentraciones se encontraron en las plantas que se desarrollaron en sustratos compuestos por 25% o más de relaves mineros. En el caso del Zinc, la mayor concentración se produjo en las plantas que se desarrollaron en sustratos con 75% de relave minero. En los otros sustratos, con relaves mineros, también las plantas presentaron mayores concentraciones de Zn.

Tabla 19.

*Prueba de Scott-Knott al 5% para concentraciones plomo (Pb) y zinc (Zn) en la planta de Trifolium repens, según tratamiento.*

Tratamiento	Pb (mg.kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg.kg <sup>-1</sup> )
0%R	233.25 b	71.95 c
25%R	559.61 a	202.66 b
50%R	751.26 a	265.81 b
75%R	688.90 a	661.64 a
100%R	582.87 a	275.76 b

Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ ).Elaboración propia.

#### 4.8. Factor de traslocación y bioconcentración por cada especie.

##### 4.8.1. *Plantago major*

La tabla 20, muestra el factor de bioconcentración (FBC aérea), y el factor de traslocación (TF); para las concentraciones de zinc extraídas por el *Plantago major*, en donde nos indica que esta especie es fitoestabilizadora, para ambos factores, es decir existe un transporte del suelo o la raíz hacia la parte aérea, la concentración existente en la parte aérea es mínima. Sin embargo, el FBC para el tratamiento en 100% tierra agrícola la clasifica como

acumuladora ya que presenta un valor sobre la unidad, esto se da debido a que la concentración del metal en el suelo es mínima, por lo que puede ser trasladada por la especie como un elemento esencial para su metabolismo, sin afectar las características propias de la planta.

Así mismo, la tabla 21, presenta los factores de bioconcentración y traslocación de plomo en *Plantago major*, cuya clasificación la coloca al 100% como una especie fitoestabilizadora.

## a) Zinc

Tabla 20.

*Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), zinc, Plantago major.*

	SUELO	RAIZ	PARTE AEREA	FBC (parte aérea)	CLASIFICACIÓN	TF	CLASIFICACIÓN
Pm-0% R	35.20	210.00	42.00	1.19	Acumulador	0.20	Fitoestabilizador
Pm-25% R	612.34	210.33	67.00	0.11	Fitoestabilizador	0.32	Fitoestabilizador
Pm-50%R	1218.21	364.00	140.33	0.12	Fitoestabilizador	0.39	Fitoestabilizador
Pm-75%R	1820.65	273.00	129.67	0.07	Fitoestabilizador	0.47	Fitoestabilizador
Pm-100%R	2400.52	260.33	247.33	0.10	Fitoestabilizador	0.95	Fitoestabilizador

Fuente: Elaboración propia

## b) Plomo

Tabla 21.

*Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), plomo, Plantago major*

	SUELO	RAIZ	PARTE AEREA	FBC (parte aérea)	CLASIFICACIÓN	TF	CLASIFICACIÓN
Pm-0% R	89.19	111.33	47.33	0.53	Fitoestabilizador	0.43	Fitoestabilizador
Pm-25% R	255.40	137.00	67.00	0.26	Fitoestabilizador	0.49	Fitoestabilizador
Pm-50%R	412.31	163.67	95.33	0.23	Fitoestabilizador	0.58	Fitoestabilizador
Pm-75%R	551.35	199.67	85.33	0.15	Fitoestabilizador	0.43	Fitoestabilizador
Pm-100%R	730.61	221.67	204.00	0.28	Fitoestabilizador	0.92	Fitoestabilizador

Fuente: Elaboración propia

#### 4.8.2. *Trifolium repens*

El factor de bioconcentración clasifica al *Trifolium repens* como una especie fitoestabilizadora para zinc. Sin embargo, el factor de traslocación para los tratamientos 25%R, 50%R y 75%R la clasifica como acumuladora (tabla 22); y según lo señalado por Wahsha, Bini, Fontana, Wahsha, & Zilioli, 2012; las plantas con ambos factores mayores que uno son apto para la fitoextracción; Por otro lado, las que posean un factor de bioconcentración mayor que uno, pero un factor de transferencia menor posee potencial para la fitoestabilización. Por lo tanto, las especies son consideradas como fitoestabilizadoras.

La tabla 23, clasifica a la especie en los tratamientos 25%R y 75%R como una especie acumuladora, con valores sobre uno; los tratamientos 100%TA. 50%R y 100%R serán clasificadas como fitoestabilizadoras.

Sin embargo, cada especie vegetal puede crecer y reproducirse de manera óptima en un rango de concentración de metales en el suelo determinado, sin embargo, si las concentraciones superan el umbral de tolerancia de dicha especie, comienzan a producirse efectos de toxicidad, los que conllevan alteraciones fisiológicas en el crecimiento y reproducción de las plantas, o incluso la muerte. (Gonzales, Almendros, & Manuel J, 2009)

Tabla 22.

*Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), zinc, Trifolium repens*

	SUELO	RAIZ	PARTE AEREA	FBC	CLASIFICACIÓN	TF	CLASIFICACIÓN
Tr-0% R	35.20	80.09	69.34	1.97	Acumuladora	0.91	Fitoestabilizador
Tr-25% R	612.34	94.05	253.39	0.41	Fitoestabilizador	2.94	Acumuladora
Tr-50%R	1218.21	101.40	365.58	0.30	Fitoestabilizador	3.61	Acumuladora
Tr-75%R	1820.65	592.25	702.96	0.39	Fitoestabilizador	1.20	Acumulador
Tr-100%R	2400.52	461.96	218.73	0.09	Fitoestabilizador	0.52	Fitoestabilizador

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23.

*Factor de traslocación (TF) y bioconcentración (FBC), plomo, Trifolium repens.*

	SUELO	RAIZ	PARTE AEREA	FBC (parte aerea)	CLASIFICACIÓN	TF	CLASIFICACIÓN
Tr-0% R	89.2	271.5	216.1	2.4	Acumuladora	0.80	Fitoestabilizador
Tr-25% R	255.4	385.2	632.5	2.5	Acumuladora	1.66	Acumuladora
Tr-50%R	412.3	822.7	711.2	1.7	Acumuladora	0.87	Fitoestabilizador
Tr-75%R	551.4	383.0	696.0	1.3	Acumuladora	1.92	Acumuladora
Tr-100%R	730.6	658.7	706.9	1.0	Fitoestabilizador	1.23	Acumuladora

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Discusión

La especie *Plantago major*. Evaluada en condiciones de invernadero, presentó alto potencial de fitoestabilización, debido a su baja capacidad de acumular zinc y plomo. El metal absorbido y transportado es restringido principalmente en las vacuolas de las raíces, o en la rizósfera, restringiendo su translocación hacia los tallos (Kabata, 1992). Las plantas con mecanismos de metal resistencia basadas en la exclusión son denominadas Excluseras y pueden ser eficientes para tecnologías de fitoestabilización (Becerril, y otros, 2007). La exclusión es la estrategia de tolerancia más característica de especies sensibles a los metales (Llugany, Tolrá, Poschenrieder, & Barceló, 2007). *Trifolium repens*, presenta capacidad para acumular plomo en los tratamientos 25%R y 75%R; se da la acumulación en estos tratamientos debido a los factores de biodisponibilidad presentes, la disponibilidad de los metales está relacionada con el flujo del elemento hacia la planta, el cual depende de la concentración en la solución suelo y del transporte a través de éste (Hooda P. , y otros, 2000). Uno de los factores observados es principalmente el pH; a menor pH mayor biodisponibilidad.

En cuanto a altura, biomasa y área foliar la especie *Plantago major* presento valores en forma decreciente de 0%R a 100%R; a menor concentración de relave mayor altura, biomasa y área foliar; el crecimiento de las especies se limita debido a la presencia de metales pesados en el sustrato y la planta (Jara-Peña, y otros, 2014). *Trifolium repens*, presenta el valor más alto (altura, biomasa y área foliar) en el tratamiento 0%R seguida por el tratamiento 100%R, siendo el tratamiento 50%R el que presenta los valores más bajos, esto puede explicarse debido a las características fisicoquímicas del sustrato, específicamente al pH, en el tratamiento 50%R el pH presenta el valor más bajo,

convirtiendo el sustrato en una solución con mayor biodisponibilidad de metales pesados, es así que el pH del suelo es el factor principal que condiciona los procesos de adsorción en el suelo y la actividad de los metales (Hooda P. , y otros, 2000).

En su estudio evaluó el potencial de fitorremediación donde se determinó tres coeficientes biológicos: coeficientes de absorción biológico-ABC, factor de traslocación –BT y factor de remediación –RC de *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata*. Se observó diferencias en la raíz, hoja, BT, RC entre el Pb y el Cd de ambas especies de plantas en conjunto. No se encontraron diferencias entre *A. magellanicus bracteatus* y *M. angustata* en la concentración de Pb y Cd en la raíz, y en las hojas. El potencial de fitorremediación para ambas especies de plantas fue bajo. (Argota, Encinas, Argota & Iannacone, 2014), en cuanto al resultado se obtuvo al Factor de traslocación y bioconcentración por cada especie. Para las concentraciones de Zinc y Plomo extraídas por el *Plantago major*, en donde nos indica que esta especie es fitoestabilizadora. El factor de bioconcentración clasifica al *Trifolium repens* como una especie fitoestabilizadora para Zinc. Sin embargo, el factor de traslocación para los tratamientos 25%R, 50%R y 75% R la clasifica como acumuladora; los tratamientos 0%R Y 100%R serán clasificadas como fitoestabilizadoras.

## 5.2. Conclusiones

La especie *Plantago major* evaluada en condiciones de invernadero, presentó alto potencial de fitoestabilización, debido a su baja capacidad de acumular zinc y plomo. *Trifolium repens*, presenta capacidad para acumular plomo en los tratamientos 25%R y 75%R.

La concentración de metales pesados evaluados en el relave minero indicó la existencia de altas concentraciones de zinc ( $2400 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) y plomo ( $730 \text{ mg.kg}^{-1}$ )

La concentración total de zinc y plomo en cada tratamiento presentan relación directamente proporcional al contenido de relave, a mayor proporción de relave mayor concentración total. Sin embargo, la concentración biodisponible mayor se da en el tratamiento 50%R.

La altura, biomasa y área foliar para *Plantago major*, se da en forma decreciente de 0%R a 100%R. Sin embargo, *Trifolium repens*, presenta el valor más alto en el tratamiento 0%R con volares de 42.23cm, 14.70g, 1277.88cm<sup>2</sup> seguida por el tratamiento 100%R, con valores de 20.97cm, 3.12g, 353.13cm<sup>2</sup> siendo el tratamiento 50%R, con volares de 14cm, 0.74g, 106.87cm<sup>2</sup> que presenta los valores más bajos.

Las concentraciones de zinc en la raíz y parte aérea de *Plantago major* obtuvo mayores concentraciones en el tratamiento de 50%R con un valor de  $364 \text{ mg.kg}^{-1}$  en la parte de la raíz y 100%R con un valor de  $247.33 \text{ mg.kg}^{-1}$  en la parte aérea, las concentraciones de plomo fue mayor en 100%R con un valor de  $221.67 \text{ mg.kg}^{-1}$  en la raíz y  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$  en la parte aérea la parte. *Trifolium repens*, presento valores más altos en el tratamiento 75%R para zinc con valores de  $702.96 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $592.25 \text{ mg.kg}^{-1}$  en la parte aérea y raíz; las concentraciones de plomo fueron mayores en

el tratamiento 50%R, con valores de 711.22 mg.kg<sup>-1</sup>, 822.72 en la parte aérea y raíz seguida por 100%R.

*Plantago major*, en cuanto a la extracción de zinc presenta valores estadísticamente iguales para los tratamientos, lo que indica que todos los tratamientos extraen concentraciones estadísticamente iguales; para las concentraciones de plomo extraídas indica que el tratamiento que extrajo mayores concentraciones fue el tratamiento 100%R, seguida por el tratamiento 75% R y 50%R; los tratamientos 25%R, 0%R son estadísticamente iguales. *Trifolium repens*, indica que el tratamiento 75%R es el más significativo con respecto al zinc; las concentraciones de plomo fueron mayores en el tratamiento 50%R, seguida por 75%R y 100%R, siendo los tratamientos 0%R y 25%R estadísticamente iguales.

Los factores de traslocación y bioconcentración clasifican a *Plantago major* como una especie fitoestabilizadora tanto para zinc y plomo. *Trifolium repens*, es clasificada como especie fitoestabilizadora para el zinc. Sin embargo, para concentraciones extraídas de plomo los factores de traslocación y bioconcentración clasifican a esta especie en los tratamientos 25%R y 75%R como acumuladora, con alto potencial de fitoextracción de metales pesados.

### 5.3. Recomendaciones

Usar el *Plantago major* como planta fitoestabilizadora en recuperación de cobertura vegetal de desmontes, y usar *Trifolium repens*. en la extracción de plomo en suelos contaminados por este metal.

Usar estas especies en la fitorremediación de áreas contaminadas, ya que están adaptadas a las condiciones ambientales de nuestro entorno,

Realizar un análisis de todos los metales pesados en cada especie, ya que puede haber la posibilidad de extracción de otros metales no considerados en este estudio.

Las plantas usadas en fitorremediación deben ser dispuestas en un lugar adecuado una vez finalizado la fitorremediación.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accioly, A., & Siqueira, J. (2000). Contaminação química e biorremediação do solo. In: R. F. Novais, V. Alvarez, . Schaefer, C. E. (Eds). *Tópicos em ciência do solo* (pp. 299-352). Viçosa, Brasil: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo.
- Acosta, M., & Montillana, J. (2011). *Evaluacion de la contamiacion de Cadmio y Plomo en agua, suelo y sedimento y analisis de impactos ambientales en la subcuena del rio Balsillas afluente del rio Bogota* (Tesis de pregrado). Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1127&context=ing\\_ambiental\\_sanitaria](https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1127&context=ing_ambiental_sanitaria)
- Adriano, D. (2001). *Trace elements in terrestrial environments. Biogeochemistry, bioavailability and risks of metals*. (J. o. Quality, Ed.) New York, Estados Unidos: Springer Verlang.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1995). Case studies in enviromental medicine. *Atlanta*, 69, 59-68.
- Alloway, B. (1995). *Soil process and the behavior of heavy metals*. London: BJ Edition.
- Argota, G., Encinas, M., Argota, H., & Iannacone, J. (2014). Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata*(Poaceae). *The biologist*, 12(1), 99-108.
- Audet, P., & Charest, C. (2007). Heavy metal phytoremediation from a metaanalytical perspective. *Environmental Pollution*, 147(1), 231-237.
- Bak, J., Jensen, J., Larsen, M., Pritsi, G., & Scott-Fordsmand, J. (1997). A heavy metal monitoring-programme in Denmark. *The Science of the Total Environment*, 207(2-3), 179-186.
- Baker. (1987). Metal Tolerance. *New Phytologist*, 106(1), 93-11. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1987.tb04685.x>

- Baker, A. (1981). Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. *Journal of Plant Nutrition*, 3(1-4), 643-654. <https://doi.org/10.1080/01904168109362867>
- Baker, A., McGrath, S., Sidoli, C., & Reeves, R. (1994). The Possibility of in-Situ Heavy-Metal Decontamination of Polluted Soils Using Crops of Metal-Accumulating Plants. *Resources*, 11(1-4), 41-49. [https://doi.org/10.1016/0921-3449\(94\)90077-9](https://doi.org/10.1016/0921-3449(94)90077-9)
- Barceló, J., & Poschenrieder, C. (2003). Phytoremediation: Principles and perspectivas. *Contributions to Science*, 2(3), 333-344. Recuperado de <http://revistes.iec.cat/index.php/cts/article/viewfile/310/309>
- Basta, N., & Tabatabai, M. (1992). Effect of cropping systems on adsorption of metals by soils. II. Effect of pH. *Soil Scienc*, 154, 195-204. <https://doi.org/10.1097/00010694-199203000-00004>
- Becerril, M., Barrutia, O., Garcia, L., Hernandez, A., Olano, M., & Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Ecosistemas*, 16(2), 50-55. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/128>
- Beltran , M. (2001). *Fitoextraccion en suelos contaminados con cadmio y zinc* (tesis de maestría). Universidad Autonoma Metropolitana, . Mexico D. F, México.
- Benavides , R. (2016). *Panorama del sector minero. La mineria responsable y sus aportes al desarrollo del Perú*. Recuperado de [https://www.buenaventura.com/assets/uploads/publicaciones/Libro\\_Mineria\\_Responsable\\_2da\\_Edici%C3%B3n2.pdf](https://www.buenaventura.com/assets/uploads/publicaciones/Libro_Mineria_Responsable_2da_Edici%C3%B3n2.pdf)
- Bernal,P, Clemente,R, Vasquez,S, & Walker,J. (2007). Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Asnalcollar. *Ecosistemas*, 16(2),67-76. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/131>
- Berti, W., & Cunnighan, S. (2000). Phytostabilization of metals. In I. Raskin y B. Ensley (Eds), *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*. New York, Estados Unidos: Science.

- Boyd, R., Wall, M., & Jaffré, T. (2006). Nickel levels in arthropods associated with Ni hyperaccumulator plants from an ultramafic site in New Caledonia. *Insect Science*, 13(4), 271-277. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2006.00094.x>
- Bradshaw, A., & Mcneilly, D. (1985). *Evolución y Contaminación*. Barcelona, España: Omega.
- Breckle, S. (1991). "Growth under stress: heavy metals". New York, Estados Unidos: INC.
- Chaney, R., Brown, S., Homer, F., Malik, M., Angle J, Reeves, R., & Chin, M. (2000). *Improving metal hyperaccumulator wild plants to develop commercial phytoextraction systems approaches and progress*. Florida, Estados Unidos: Boca Raton.
- Chaney, R., Malik, M., Brown , S., Brewer, E., Angle, J., & Baker, A. (1997). Phytoremediation of soil metals. *Biotechnology*, 8, 279-284.
- Contreras, F., Herrera, T., & Izquierdo, A. (2005). Efecto de dos fuentes de carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) sobre la disponibilidad de cadmio para plantas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en suelos de Barlovento, estado Miranda. *Venesuelos*, 13, 52-63. Recuperado de [http://190.169.30.98/ojs/index.php/rev\\_venes/article/view/979](http://190.169.30.98/ojs/index.php/rev_venes/article/view/979)
- Cordero, J. (2014). *Fitorremediación in situ para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (plomo y cadmio) y evaluación de selenio en la finca furatena alta en el municipio de Útica (Cundinamarca)* (Tesis de pregrado). Universidad Libre, Bogota, Colombia.
- Delgadillo, A., Gonzalo, C., Prieto\_Garcia, F., Villagomez, J., & Acevedo, A. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14, 597-612.
- Dietz, A., & Schnoor, L. (2001). Advances in phytoremediation. *Environmental Healyh Perspectives*, 109, 163-168.
- EcuRed. (2015). Características Físicas suelo agrícola. Recuperado de [https://www.ecured.cu/Suelo\\_agr%C3%ADcola#:~:text=El%20suelo%20agr%C](https://www.ecured.cu/Suelo_agr%C3%ADcola#:~:text=El%20suelo%20agr%C)

3%ADcola%20debe%20contar,estos%20%C3%BAltimos%20en%20menor%20proporci%C3%B3n.

- Evans, L. (1989). Chemistry of metal retention by soils. *Environmental Science and Technology*, 23, 1946.
- Garcia-Gomez, A., Bernal, M., & Roig, A. (2005). Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting. *Compost. Science Util*, 13(2), 127-135.
- Gonzales, D., Almendros, P., & Manuel J. (2009). Métodos de análisis de elementos en suelos: disponibilidad y fraccionamiento. *Anales químicos*, 105(3), 205-212.
- Hall, J. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 53(1), 1-11. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.366.1>
- Hazrat, A., Khan, E., & Sajad, M. (2013). Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*, 91(7), 869-881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Hooda, P., Rendell, A., Edwards, A., Withers, P., Aitken, N., & Truesdale, V. (2000). Relating Soil Phosphorus Indices to Potential Phosphorus Release to Water. *Environmental Quality*, 29(4), 1166-1171. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900040018x>
- Iwegbue, C. (2007). Distribution of heavy metals in sediments and surface water of crude oil impacted area in the Niger Delta, Nigeria. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 50(3), 178-183.
- Jaffré, T., & Schmid, M. (1974). Accumulation du nickel par une Rubiacée de Nouvelle Calédonia. *Psychotria douarrei*, 6, 1727-1730.
- Jara-Peña, E., Gomez, J., Montoya, H., Chanco, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21, 145.
- Jara-Peña, E., Gomez, J., Montoya, H., Chacon, M., Mariano, M., & Cano, N. (2014). Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados

con metales pesados. *Revista Peruana de Biología*, 21(2), 145-154.  
<http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i2.9817>

- Juncafresa, B. (1980). *Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo*. Barcelona, España: AEDOS.
- Kabata, A. (1992). *Trace Elements in Soils and Plants*. Chicago, Estados Unidos: Press.
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. Florida, Estados Unidos: CRC Press Boca Ratón.
- Kuiper, D. (1984). Genetic differentiation and phenotypic plasticity in populations. *Ecological Science*, 10, 251-269.
- Llugany, M., Tolrá, R., Poschenrieder, C., & Barceló, J. (2007). Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre? *Ecosistemas*, 16(2), 4-9.  
 Recupero de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/124>
- Lopez, P. (2011). *Fitorremediación en los suelos de Mayoc, San Mateo Huarochiri-Lima*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Marques, M. (2005). Waste to energy, bioremediation and leachate treatment, Kalmar. *Kalmar Ecotech*, 16, 19-25.
- Masek, T., Francova, K., Sura, M., & Mackova, M. (2006). Genetically modified plants with improved properties for phytoremediation purposes. *Phytoremediation of metal-contaminated soils*, 2(68), 85-108.
- McLean, J., & Bledsoe, B. (1992). Behavior of metals in soils. *Environmental*, 18, 1-35.
- McCrill, C., Boyer, L., Flood, T., & Ortega, L. (2013). Mercury toxicity due to the use of a cosmetic cream. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. *Journal of occupational and Environment Mmedicine*, 3(3), 4-7.
- Medina, K., & Montano, Y. (2013). *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el Juncus arcticus Willd. y Cortaderia rudiusscula Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Huaraz, Perú.

- Mendieta Webster , C., & Taisigue Lopez, K. (2014). Acumulacion y traslocacion de metales, metaloides y non metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fitorremediacion. Recuperado de [https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants\\_Extended-abstract.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/methods/Accumulation-and-Translocation-metals-in-native-plants_Extended-abstract.pdf)
- Menguel, K., & Kyrky, E. (2001). *Mecanismos y suelos*. Switseralnd: DICTA.
- Merkel, N., Schultze-Kraft, R., & Arias, M. (2006). Effect of the tropical grass *Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Staf on microbial population an activity in petroleum-contaminated soil. *Microbiol*, *161*(1), 80-91. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2005.06.005>
- Msaky, J., & Calvet, R. (1990). Adsorption behavior of copper and zinc in soils: influence of pH on adsorption characteristics. *Soil Science*, *150*, 513-522.
- Newman, M., & Jagoe, C. (1994). Inorganic toxicants-ligands and the bioavailability of metals in aquatic environments. *Bioavailability- Physical and Chemical*, *39*, 39-61.
- Orchard, C. (2008). *Valor agregado en la rehabilitación de depósitos de relaves mineros de la zona centro-norte de chile con recursos fitogénéticos nativos* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Catolica de Chile, Santiago, Chile.
- Osteras, A., & Greger, M. (2006). Interactions between calcium and copper or cadmium in Norway spruce. *Biology Plantarum*, *50*, 647-652.
- Patricia, B. (2016). *Fitorremediacion*. Buenos Aires, Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Petrisor, I., Dobrota , S., Komnitsas, I., Lazar, J., Kuperberg, M., & Serban, M. (2004). Artificial Inoculation-Perspectives in Tailings Phytostabilization. *International Journal of Phytoremediation*, *6*, 1-15. <https://doi.org/10.1080/16226510490439918>
- Rabago, J. (2011). *Capacidad de amortiguacion por Plomo y cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. Madrid, España: Ecologic.

- Ross, S. (1994). *Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems*. Florida, Estados Unidos: S.M Ross.
- Sepulveda, B., Pavez, O., & Tapia, M. (2012). Fitoextracción de metales pesados desde relaves utilizando plantas de *Salicornia* sp. *Revista de la facultad de Ingeniería*, 28, 20-26. Recuperado de <http://www.revistaingenieria.uda.cl/Publicaciones/280003.pdf>
- Servellon, D. (2011). *Metalófitas/pseudometalófitas en zonas mineras de El Salvador* (Tesis de pregrado). Universidad de El Salvador, El Salvador.
- Sun, Y., Zhou, Q., & Diao, C. (2008). Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology*, 99(5), 1103-1110. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.02.035>
- Tiller, K. (1989). Heavy metals in soils and their environmental. *Advances in soil Science*, 9, 113-142.
- Tlustos, P., Pavliková, D., Szaková, J., & Balik, J. (2006). Plant accumulation capacity for potentially toxic elements. *Springer*, 68, 53-84.
- Vullo, L. (2003). Microorganismos y metales: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química Viva*, 2(3), 93-104.
- Wahsha, M., Bini, C., Fontana, S., Wahsha, A., & Zilioli, D. (2012). Evaluación de toxicidad de suelos contaminados de un área minera en el noreste de Italia mediante el uso de un ensayo de peroxidación de lípidos. *Diario de exploración geoquímica*, 113, 112-117.
- Whitfield, M., & Zeeb, A. (2010). A review of recent developments into the potential for phytoextraction of persistent organic pollutants from weathered, contaminated soils. In P. Kulakow & V. Pidlisnyuk (Eds). *Application of phytotechnologies for cleanup of industrial agricultural and wastewater contamination*. Environmental Science. Springer.
- Widman, F., Herrera, F., & Cabañas, D. (2005). El uso de composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos de Yucatán. *Biotechnology*, 9, 35-46.

Williamson, N., Johnson, M., & Bradshaw, A. (1982). *Mine wastes reclamation*. London, Reino Unido: Mine wastes reclamation.

Zhao, F., Hamon, R., Lombi, E., McLaughlin, M., & McGrath, S. (2002). Characteristics of cadmium uptake in two contrasting ecotypes of hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Journal of Experimental Botany*, 53(368), 535-543. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.368.535>

## **ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia

Tabla 24.

Matriz de consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DEFINICION	INDICADORES	PARAMETROS	METODOLOGIA
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿El <i>Plantago major</i> y el <i>Trifolium repens</i> tendrán la capacidad fitoestabilizadora de Zn y Pb, a partir de mezclas de tierra agrícola y relave?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Evaluar la capacidad fitoestabilizadora de <i>Plantago major</i> y el <i>Trifolium repens</i> en de mezcla de tierra agrícola y relave minero para extracción de Zn y Pb</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>El <i>Plantago major</i> y el <i>Trifolium repens</i> tienen capacidad fitoestabilizadora de Zn y Pb a partir de mezclas de tierra agrícola y relave.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Fitoestabilizador a de Zn y Pb</p>	<p>Fitoestabilizadora es el uso de plantas tolerantes a metales y capaces de restringir el transporte interno de metales a los tejidos aéreos (Dietz &amp; Schnoor, 2001)</p>	<p><b>Factor de bioconcentración (BCF)</b></p> <p>Menor a 1</p>	<p><b>BCF= [PA]/[S]</b> Donde: [PA]: Concentración de metales pesados en la parte aérea. [R]: Concentración de metales pesados en el suelo</p>	<p><b>O1 – X – O2</b> O1= pre-test X= Tratamiento O2=post-tesis</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>-¿Cuál es la concentración de Zn y Pb en el relave minero “Santa Rosa de Jangas”? -¿Cuál es la concentración de zinc y plomo en las mezclas de relave-tierra agrícola? -¿Cuál es la altura, biomasa seca y área foliar que alcanzan las especies en estudio, en cada tratamiento? -¿Cuánto es la concentración de Zn y Pb en la raíz y parte aérea de cada especie? -¿Cuál la será la mezcla más eficiente para la fitoestabilización? -¿Cuál es el factor de traslocación y bioconcentración en cada tratamiento de cada especie?</p>	<p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>-Determinar la concentración de Zn y Pb en el relave minero “Santa Rosa de Jangas” -Determinar la concentración de Zn y Pb en las mezclas de relave-tierra agrícola. -Evaluar la altura, biomasa seca y área foliar que alcanzan las especies en estudio, en cada tratamiento. -Determinar la concentración de Zn y Pb en la raíz y parte aérea de cada especie. -Evaluar la mezcla más eficiente para la fitoestabilización del relave minero. -Determinar el factor de traslocación y bioconcentración en cada tratamiento de cada especie.</p>	<p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>-La concentración de metales pesados esta sobre los Estándares de calidad ambiental para suelo (ECA’s) -La concentración de Zn y Pb total en las mezclas de relave-tierra agrícola, es directamente proporcional al contenido de relave. -La altura, biomasa seca y área foliar que alcanzan las especies en estudio, en cada tratamiento, es directamente proporcional al contenido de tierra agrícola. -La concentración de Zn y Pb en la raíz y parte aérea de cada especie, es directamente proporcional a la biodisponibilidad del releve minero. -La mezcla más eficiente será en tratamiento 50% en una proporción 50%R Y 50% TA -El factor de traslocación y bioconcentración en cada tratamiento, es menor a uno, lo que indica alta capacidad fitoestabilizadora.</p>	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p><i>Plantago major</i> y <i>Trifolium repens</i></p>	<p>Plantas que crecen en el relave minero de la planta concentrador a de minerales “Santa Rosa de Jangas”</p>	<p><b>Factor de traslocación (TF)</b></p> <p>Menor a 1</p>	<p><b>TF= [PA]/[R]</b> Donde: [PA]: Concentración de metales pesados en la parte aérea. [R]: Concentración de metales pesados en la raíz.</p>	
				<p>Medidas biométricas</p>	<p>-Altura -Biomasa seca - Área foliar</p>		

## Anexo 2. . Análisis de metales totales en relave y tierra agrícola



### ANALISIS DE METALES TOTALES EN SUELOS

APPELLIDOS Y NOMBRES: KATHERYN VANESSA MEZA FERRER

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	LIMITE DE DETECCION	MUESTRA	
				RELAVE	T.A
Aluminio total	mg/Kg As	Cromoazurof S	4.00	273.00	80.00
Arsénico total	mg/Kg Al	Plata - DDTC	2.00	2.14	< 2
Cadmio total	mg/Kg Cd	Derive de cadion	0.50	13.55	1.11
Calcio	mg/Kg Ca	APHA 3500-Ca D	90.00	431.00	189.00
Cobre total	mg/Kg Cu	Cuprizona	4.00	407.00	7.00
Cromo total	mg/Kg Cr	Diferilcarbazida	0.10	125.00	17.50
Hierro total	mg/Kg Fe	Triazina	1.00	22.60	78.00
Magnesio total	mg/Kg Mg	APHA 3500-Mg E	50.00	512.00	69.00
Manganeso total	mg/Kg Mn	Formaloxina	2.50	27.80	16.20
Níquel total	mg/Kg Ni	Dimetilglioxina	4.00	44.00	22.00
Plomo total	mg/Kg Pb	PAR	0.10	730.00	89.00
Zinc total	mg/Kg Zn	Cl-PAN	10.00	2400.00	35.00
Cromo VI	mg/Kg Cr +6	Diferilcarbazida	10.00	276.00	<10.00

FECHA DE MUESTREO:	
RELAVE	01/01/2017
T.A	02/01/2017

Huaraz, 20 de Marzo de 2018



*MSc. Quím. Mario Leyva Collas*  
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental  
 FCAM - UNASAM  
 CQP N° 604

## Anexo 3. Análisis de zinc y plomo total por tratamiento.



## METALES TOTALES EN SUELOS

APELLIDOS Y NOMBRES: KATHERY Y YANESSA MEZA FERRER

Parámetro	Unidad de medida	Límite de detección	Código de muestra	100% TA	25% R	50% R	75% R	100% R
			Fecha de muestreo	05/02/2017	05/02/2017	05/02/2017	05/02/2017	05/02/2017
METALES TOTALES EN SUELOS								
Plomo total	mg/kg Pb	0.100	89.19	266.40	412.31	551.35	710.61	
Zinc total	mg/kg Zn	10.00	35.20	612.34	1218.21	1320.65	1430.52	



MSc. Dora María Cayula Cajas  
Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental  
FCU - URASAM  
LQA N°004

Huaraz, 23 de Marzo de 2018

Esta permite la reproducción de este informe en su totalidad por el Laboratorio de Calidad Ambiental.  
Los resultados son válidos siempre las muestras sean analizadas en el mismo. Los datos en cualquier momento se conservarán de acuerdo a lo técnico de procedimientos.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL  
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL SAN BAGO ANTONIO DE MAYOLO  
Av. Condesa N° 200 - Huaraz - Ancash. Telef 421 01 - Cel 043-943037961 043-9-3202787 RPN 4 70122 RPN #101013  
E-mail: labam@unsa.edu.pe

**Anexo 4. Análisis de zinc y plomo biodisponible por tratamiento.**



**INFORME DE ENSAYO CS186023**

**CLIENTE:** Red de Suelo: MEDIA FERRETERIA VENEZOLA  
 Dirección: Huaca  
 Almacén: Almacén 046, Arequipa

**MUESTRA:** Producto descrito: Muestra de suelo  
 Matriz: Suelo  
 Proveniencia: De la Red de Suelos  
 Ref. Condición: Orden de Compra CO180118

**MUESTREO:** Responsable: Muestra proporcionada por el cliente  
 Referencia: Ninguna

**LABORATORIO:** Fecha de recepción: 31/05/2018  
 Fecha de análisis: 31 de Mayo - 02 de Junio 2018  
 Contrato N°: 02180187

COD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODOS	LÍMITE DE DETECCIÓN	RESULTADO					
					Calorimetría	0% R	75% R	85% R	200 R	100% TA
					2600007	0900007	1600007	2600007	0900007	
					30.0	0.31	0.20	0.25	0.31	
					0000004	0000004	0000004	0000004	0000004	
<b>METALOS PESADOS DE OBRAS EN OBRA</b>										
MS01	Pb (ppm)	mg/kg	FAA*	0.50	0.800	11.000	33.000	125.000	75.000	
MS02	Cd (ppm)	mg/kg	FAA**	0.20	0.100	1.100	4.400	10.000	25.000	

\* Los valores máximos no se refieren al suelo sino al agua de lixiviación.

\*\* Los valores máximos no se refieren al suelo sino al agua de lixiviación.

Huaca, 02 de Junio de 2018

  
 Ing. QUIM. ANDRÉS JAVIER GÓMEZ  
 Responsable Laboratorio de Calidad Ambiental  
 C.A.P. - 046336  
 C.O.P. 046336

Este informe es una reproducción de datos obtenidos en el Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para los muestreos realizados en el mismo. Los datos presentados son correctos en el momento de su emisión y no representan una garantía de exactitud o precisión de los resultados.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL  
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE VALVERDE"  
 Facultad N° 200 - Huaca Arequipa. Telef. 421 451 - Cel. 945-84039708, (421-94382007) FAX: 42101221 / FAX: 42101222  
 E-mail: labam@unival.edu.pe

Página 1 de 1

### Anexo 5. Análisis de caracterización fisicoquímica de cada tratamiento.



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"Santiago Antúnez de Mayolo"**  
**"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**CIUDAD UNIVERSITARIA - SILANCAYAN**  
 Telefax. 043-425388 - 106  
**HUARAZ - REGIÓN ANCASH**



### RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

SOLICITA : KATHERYN VANESSA MIZA FERRER  
 UBICACIÓN : Huaraz-Ancash

Muestra	Textura			Clase Textural	pH	MO%	NL %	P ppm	K ppm	C.E. cS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
T.A. 100 %	59	32	09	Franco arcillosa	4.91	4.899	0.245	10	96	0.89
R 25 %	67	26	07	Franco arenosa	4.73	3.415	0.171	08	67	2.46
R 50 %	77	18	05	Areno franco	4.65	2.100	0.105	06	54	3.36
R 75 %	81	14	05	Areno franco	4.61	1.634	0.082	04	45	3.74
R 100%	83	14	03	Areno franco	5.23	0.412	0.021	03	40	3.83

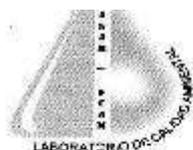
#### CATIONES CAMBIABLES

Muestra N°	Ca <sup>++</sup> me/100gr.	Mg <sup>++</sup> me/100gr.	K <sup>+</sup> me/100gr.	Na <sup>+</sup> me/100gr.	H+Al me/100gr.	CIC me/100gr.
T.A. 100 %	6.31	1.70	0.16	0.01	1.14	9.52
R 25 %	6.18	1.43	0.14	0.24	1.02	8.98
R 50 %	4.33	1.09	0.13	0.31	1.18	7.04
R 75 %	3.29	0.99	0.12	0.37	1.20	5.97
R 100 %	3.45	0.90	0.09	0.83	0.88	5.85

Huaraz, 22 de agosto del 2017



## Anexo 6. Análisis de zinc y plomo extraído por la parte aérea y raíz de Plantago



### ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN PLANTAS

APELLIDOS Y NOMBRES: VEGA PICON ELVA OLINDA

FECHA DE MUESTREO: 30 JUNIO DEL 2017

TRATAMIENTOS	AEREO (mg/kg)		RAIZ (mg/kg)	
	Zn	Pb	Zn	Pb
PM(R <sub>1</sub> )T <sub>1</sub>	254	197	110	221
PM(R <sub>1</sub> )T <sub>2</sub>	164	48	87	196
PM(R <sub>1</sub> )T <sub>3</sub>	80	113	408	179
PM(R <sub>1</sub> )T <sub>4</sub>	57	55	120	155
PM(R <sub>1</sub> )T <sub>5</sub>	32	46	107	141
PM(R <sub>2</sub> )T <sub>1</sub>	316	215	300	225
PM(R <sub>2</sub> )T <sub>2</sub>	170	116	341	194
PM(R <sub>2</sub> )T <sub>3</sub>	180	98	397	173
PM(R <sub>2</sub> )T <sub>4</sub>	68	90	388	133
PM(R <sub>2</sub> )T <sub>5</sub>	38	64	304	76
PM(R <sub>3</sub> )T <sub>1</sub>	172	200	371	219
PM(R <sub>3</sub> )T <sub>2</sub>	55	92	391	209
PM(R <sub>3</sub> )T <sub>3</sub>	161	75	287	139
PM(R <sub>3</sub> )T <sub>4</sub>	76	56	123	123
PM(R <sub>3</sub> )T <sub>5</sub>	56	32	119	117



*MSc. Quím. Mario Leyva Collas*  
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental  
 FCAM - UNASAM  
 CCP N° 604

Anexo 7. Análisis de zinc y plomo extraído por la parte aérea y raíz de *Trifolium repens*.



ANÁLISIS DE METALES TOTALES EN PLANTAS

APELLIDOS Y NOMBRES: BENIGNO VEGA ROSMERI

FECHA DE MUESTREO: 18 de diciembre de 2017

MUESTRA	PARTE AEREA		RAIZ	
	Plomo total	Zinc total	Plomo total	Zinc total
	mg/Kg Pb	mg/Kg Zn	mg/Kg Pb	mg/Kg Zn
Tr - 100%ta-1	229.80	88.39	257.81	66.59
Tr - 100%ta-2	209.30	34.38	264.72	90.56
Tr - 100%ta-3	209.07	85.24	291.90	83.12
Tr - 25%ta-1	792.14	244.19	358.76	80.20
Tr - 25%ta-2	500.71	265.95	372.96	68.29
Tr - 25%ta-3	604.50	250.04	424.02	133.67
Tr - 50%ta-1	657.43	343.42	680.15	92.43
Tr - 50%ta-2	734.00	400.00	882.35	111.76
Tr - 50%ta-3	742.22	353.33	905.66	100.00
Tr - 75%ta-1	602.35	646.57	260.46	491.86
Tr - 75%ta-2	635.27	793.47	328.31	715.87
Tr - 75%ta-3	850.27	668.85	560.35	569.03
Tr - 100%r-1	792.50	195.98	410.81	278.78
Tr - 100%r-2	615.74	145.18	589.05	325.06
Tr - 100%r-3	712.36	315.02	976.13	782.04

Huaraz, 20 de Marzo de 2018



MSc. Quím. Mario Leyva Collas  
 Jefe del Laboratorio de Calidad Ambiental  
 FCAM - UNASAM  
 CQP N° 604

**Anexo 8. Análisis de agua potable empleado para el riego de los tratamientos.**



**INFORME DE ENSAYO AG180030**

**CLIENTE:** Fecha fiscal: BESA HERMILLY WASSGA  
 Dirección: Funes  
 Ubicación: Miza Funes Calle Venezuela

**MUESTRA:** Producto declarado: Agua de Píndola  
 Uso: Agua para riego y consumo humano - Agua de bebida  
 Procedencia: José Goyo - Funes  
 Pz. Condición: Caudal de Urdinola CC 180022

**MUESTREO:** Responsable: Mónica Pacheco  
 Referencia: No 1423

**LABORATORIO:** Fecha de recepción: 31/01/2018  
 Fecha de análisis: 01 de Febrero de 2018  
 Cotización N°: LCA180030

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODOS	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA	
					Código de lote	Valor
					AG180030	21/01/2018
					Valor	1100
					Código de lote	AG180030
<b>PG</b> <b>GRUPO DE RESULTADOS</b>						
PG25	pH (en laboratorio)	Unid. pH	AP 43 833101 B. Método 2112 (*)			6.8
PG26	PM (en laboratorio)	Unid. g/l	AP 99 650101 B. Método 2114 (*)			7.21
<b>MT</b> <b>METALES TOTALES</b>						
MT21	Hierro total	mg/l	PA 4 (*)	0.010		< 0.010
MT32	Cinco total	mg/l	CAFAN (*)	0.25		< 0.05

(\*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - EA.  
 De los parámetros que se indican:  
 Leyenda: A=No se analizó / B=No se pudo analizar / C=No se pudo analizar / D=No se pudo analizar



Mónica Pacheco  
 Mónica Pacheco  
 Mónica Pacheco  
 Mónica Pacheco

Funes, 07 de Febrero de 2018



Está prohibida la reproducción de este informe salvo autorización del Laboratorio de Calidad Ambiental. Los resultados son válidos sólo para las muestras analizadas en el mismo. Las contramuestras o muestras diferentes se conservarán de acuerdo a su tiempo de preservación.