

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DE FITOEXTRACCIÓN POR
Chenopodium ambrosioides y *Trifolium repens*
DE ZINC Y PLOMO DEL RELAVE DE LA PLANTA
CONCENTRADORA DE MINERALES “SANTA
ROSA DE JANGAS”, AÑO 2017.**

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

AUTOR:

Bach. ROSMERI EUGENIA BENIGNO VEGA

ASESOR:

MSc. ALFREDO WALTER REYES NOLASCO

Huaraz, Ancash, Perú

Julio 2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EVALUACIÓN DE FITOEXTRACCIÓN POR
Chenopodium ambrosioides y *Trifolium repens*
DE ZINC Y PLOMO DEL RELAVE DE LA PLANTA
CONCENTRADORA DE MINERALES “SANTA
ROSA DE JANGAS”, AÑO 2017.**

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

AUTOR:

Bach. ROSMERI EUGENIA BENIGNO VEGA

ASESOR:

MSc. ALFREDO WALTER REYES NOLASCO

Huaraz, Ancash, Perú

Julio 2018



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **EVALUACION DE FITOEXTRACCION POR *Chenopodium Ambrosioides* y *Trifolium repens* DE ZINC Y PLOMO DEL RELAVE DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE MINERALES "SANTA ROSA DE JANGAS", AÑO 2017**, que presenta **ROSMERI EUGENIA BENIGNO VEGA** para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

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

APROBADA

Con el calificativo de: DIECISEIS (16)

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

Huaraz, 20 de Julio de 2018

Dr. Maximiliano Loarte Rubina
Presidente
Jurado de sustentación

Ing. Francisco Claudio León Huerta
Secretario
Jurado de sustentación

Ing. Kiko Félix Depaz Celi
Vocal
Jurado de sustentación

MSc. Alfredo Walter Reyes Nolasco
Asesor de tesista

DEDICATORIA

*A Dios por guiar mis pasos día a día,
y mantenerme bajo su amor y
protección infinita, a mis padres
Lorenzo Benigno López y Eugenia
Vega Oyola; por su apoyo
incondicional y por la confianza
brindada.*

Rosmeri Eugenia Benigno Vega

AGRADECIMIENTO

A mis padres, quienes me inculcaron valores para afrontar la vida, por su amor incommensurable y apoyo incondicional.

Al MSc. Alfredo Walter Reyes Nolasco por la asesoría infinita, en esta investigación.

Al laboratorio de Calidad Ambiental de la Facultad Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, a cargo del MSc. Mario Leyva Collas, por las facilidades brindadas para los análisis requeridos.

A mi querida Facultad de Ciencias del Ambiente, por los conocimientos adquiridos durante el periodo de estudios.

RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo evaluar la capacidad fitoextractora de Zinc (Zn) y Plomo (Pb) por *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*; del relave minero de la planta concentradora de minerales "Santa Rosa de Jangas", a partir de mezclas con tierra agrícola en las siguientes proporciones: 100% de relave, 25% de relave, 50% de relave, 75% de relave y 100% de tierra agrícola.

En el sustrato obtenido se sembró las semillas de cada especie, en condiciones de invernadero; tomando los datos de crecimiento de cada una de ellas. Luego de cinco meses aproximadamente se realizó la cosecha, obteniendo los datos de biomasa, área foliar y profundidad de las raíces. Finalmente, las concentraciones en materia seca de Zn y Pb tanto en la parte aérea y en la raíz se analizó por espectrofotometría de absorción atómica

Se utilizó el diseño estadístico completamente randomizado con cinco tratamientos y tres repeticiones en cada especie. Para determinar las diferencias entre especies, se aplicó la prueba t. Para el contraste de la capacidad fitoextractora por los factores de bioconcentración y traslocación se utilizó lo señalado por Audet & Charest, (2007). Para determinar la diferencia estadística entre tratamiento se utilizó un Anova (Prueba de Fisher) y para determinar la diferencia estadística entre las medias de los tratamientos se usó la prueba de Tukey.

Los resultados obtenidos indicaron que el *Trifolium repens* tiene alta capacidad fitoextractora teniendo factores de bioconcentración y traslocación mayores a uno en los tratamientos con 25% de relave y 75% de relave, presentando valores de biomasa baja. En el caso de *Chenopodium ambrosioides* los valores de bioconcentración y traslocación clasificaron a esta especie como excluyente, pudiendo usarse en procesos de fitoestabilización.

Palabras clave: Fitoextracción, *Trifolium repens*, *Chenopodium ambrosioides*.

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to evaluate the phytoextracting capacity of Zinc (Zn) and Lead (Pb) by *Trifolium repens* and *Chenopodium ambrosioides*; of the mine tailings of the "Santa Rosa de Jangas" mineral concentrator plant, from mixtures with agricultural land. in the following proportions: 100% of tailings, 25% of tailings, 50% of tailings, 75% of tailings and 100% of agricultural land.

In the obtained substrate the seeds of each species were seeded, under greenhouse conditions; taking the growth data of each of them. After about five months the harvest was carried out, obtaining the biomass, leaf area and root depth data. Finally, the dry matter concentrations of Zn and Pb both in the aerial part and in the root were analyzed by atomic absorption spectrophotometry.

The completely randomized statistical design was used with five treatments and three repetitions, in each species. To determine the differences between species, the t test was applied. For the contrast of the phytoextractant capacity by the factors of bioconcentration and translocation, what was indicated by Audet & Charest, (2007) was used. To determine the statistical difference between treatments an ANOVA was used (Fisher's test) and to determine the statistical difference between the means of the treatments the Tukey test was used.

The obtained results indicated that the *Trifolium repens* has high phytoextracting capacity having bioconcentration and translocation factors higher than one in the treatments with 25% of tailings and 75% of tailings, presenting values of low biomass. In the case of *Chenopodium ambrosioides*, the values of bioconcentration and translocation classified this species as exclusive, being able to be used in phytostabilization processes.

Key words: Phytoextraction, *Trifolium repens*, *Chenopodium ambrosioides*

INDICE

CONTENIDO	Pág.
ACTA DE SUSTENTACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vi
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE GRÁFICOS	x
LISTA DE ILUSTRACIONES	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS	xiii
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1.Planteamiento del problema	2
1.2.Formulación del problema	3
1.3.Hipótesis	3
1.4.Objetivos	3
1.4.1.Objetivo general	3
1.4.2.Objetivos específicos	3
CAPÍTULO II	
MARCO REFERENCIAL	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Base teórica	6
2.2.1.Relaves mineros	6
2.2.2.Fitoextracción	6
2.2.3.Forma de ingreso de los metales en las plantas	8
2.2.4.Cuantificación de la eficiencia de fitoextracción	10
2.2.5.Biodisponibilidad	12
2.2.6.Estándares de calidad ambiental para el suelo	15
2.2.7.Características del zinc y plomo	16
2.2.8.Especies vegetales utilizadas	18

2.3. Definición de términos	19
CAPÍTULO III	
METODOLOGIA	21
3.1. Descripción del relave de la planta concentradora “Santa Rosa de Jangas”.	21
3.2. Investigación	22
3.2.1. Tipo de investigación	22
3.2.2. Diseño y caracterización de la muestra	23
3.2.3. Diseño de investigación	24
3.2.4. Procedimientos	26
a) Obtención de materiales	26
b) Preparación de las unidades experimentales	26
c) Siembra	28
d) Cultivo y registro de evolución del experimento	29
e) Registro de altura de la planta, cálculo de biomasa y área foliar	36
f) Determinación de las concentraciones de zinc y plomo.	38
3.2.5. Técnica de procesamiento y análisis de datos (cálculos)	42
3.3. Materiales y equipos	42
CAPÍTULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
4.1. Concentración de metales pesados en relave minero y tierra agrícola	44
4.2. Concentración de zinc y plomo, total y disponible; propiedades fisicoquímicas en las mezclas.	46
4.3. Desarrollo físico de las especies.	52
4.4. Concentración de zinc y plomo, en la parte aérea y raíz de las especies; y comparación de mezclas más eficientes.	59
4.5. Comparación de las concentraciones extraídas de zinc y plomo por ambas especies.	69
4.5.1. Zinc	69
4.5.2. Plomo	71
4.6. Factor de bioconcentración y traslocación.	72
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
6.1. Conclusiones	78
6.2. Recomendaciones	80

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	81
ANEXOS	86
Anexo 1: Reporte de análisis de laboratorio	87
Anexo 7: Panel fotográfico de la ejecución de la tesis	94

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
Tabla 1: Movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función de las condiciones de pH y Eh.	13
Tabla 2: Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo.	16
Tabla 3: Pautas de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y Salud humana de las Directrices Canadienses de Calidad Ambiental Canadiense	16
Tabla 4: Código de maceteros con <i>Trifolium repens</i> : 5 tratamientos, 3 repeticiones y 15 unidades experimentales	27
Tabla 5: Código de maceteros con <i>Chenopodium ambrosioides</i> : 5 tratamientos, 3 repeticiones y 15 unidades experimentales .	27
Tabla 6: Concentración de metales pesados en relave y tierra agrícola, previo a la preparación de las mezclas	44
Tabla 7: Concentración de zinc y plomo totales en cada tratamiento.	46
Tabla 8: Concentración de zinc y plomo disponibles.	47
Tabla 9: Textura, pH y M.O%, de los tratamientos.	48
Tabla 10: N, P, K y C.E, de todos los tratamientos.	50
Tabla 11: Capacidad de intercambio catiónico en cada tratamiento.	52
Tabla 12: Altura de planta y longitud de raíces (cm), de <i>Chenopodium ambrosioides</i>	53
Tabla 13: Altura de la planta y longitud de las raíces (cm) por tratamiento de <i>Trifolium repens</i> .	54
Tabla 14: Biomasa, <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	56
Tabla 15: Biomasa, <i>Trifolium repens</i> .	57
Tabla 16: Área foliar (cm ²). <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	58
Tabla 17: Área foliar (cm ²). <i>Trifolium repens</i> .	59
Tabla 18: Concentraciones de Zinc y Plomo, en la parte aérea y raíz. <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	60
Tabla 19: ANOVA, <i>Chenopodium ambrosioides</i> , plomo parte aérea.	61

Tabla 20: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la parte aérea de <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	61
Tabla 21: ANOVA, <i>Chenopodium ambrosioides</i> , plomo raíz.	62
Tabla 22: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la raíz de <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	62
Tabla 23: ANOVA, <i>Chenopodium ambrosioides</i> , zinc parte aérea.	63
Tabla 24: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la parte aérea de <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	63
Tabla 25: ANOVA, <i>Chenopodium ambrosioides</i> , zinc raíz.	64
Tabla 26: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la raíz de <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	64
Tabla 27: Concentraciones de Zinc y Plomo, en la parte aérea y raíz. <i>Trifolium repens</i> .	65
Tabla 28: ANOVA, <i>Trifolium repens</i> , plomo parte aérea.	66
Tabla 29: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la parte aérea de <i>Trifolium repens</i> .	66
Tabla 30: ANOVA, <i>Trifolium repens</i> , plomo raíz.	66
Tabla 31: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la raíz de <i>Trifolium repens</i> .	67
Tabla 32: ANOVA, <i>Trifolium repens</i> , zinc parte aérea..	67
Tabla 33: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la parte aérea de <i>Trifolium repens</i> .	68
Tabla 34: ANOVA, <i>Trifolium repens</i> , zinc parte aérea.	68
Tabla 35: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la raíz de <i>Trifolium repens</i> .	68
Tabla 36: Promedio concentración de zinc en <i>Trifolium repens</i> y <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	70
Tabla 37: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, parte aérea y raíz. De zinc. <i>Trifolium repens</i> y <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	70
Tabla 38: Promedio concentración de plomo en <i>Trifolium repens</i> y <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	71
Tabla 39: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, parte aérea y raíz., de Plomo. <i>Trifolium repens</i> y <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	71
Tabla 40: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF), plomo, <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	74
Tabla 41: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF), zinc, <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	75
Tabla 42: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF) de plomo, <i>Trifolium repens</i> .	76
Tabla 43: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF) de zinc, <i>Trifolium repens</i> .	76

LISTA DE GRÁFICOS

CONTENIDO	Pág.
Gráfico 1: Corrida general de metales pesados.	45
Gráfico 2: Concentración de zinc y plomo totales en cada tratamiento.	46
Gráfico 3: Concentración de zinc y plomo disponibles.	47
Gráfico 4: Zinc disponible vs zinc total.	48
Gráfico 5: Plomo disponible vs zinc total.	48
Gráfico 6: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs pH.	49
Gráfico 7: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs M.O%.	49
Gráfico 8: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs Nitrógeno total (Nt.)	50
Gráfico 9: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs Fosforo (P)	51
Gráfico 10: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs Potasio (K),	51
Gráfico 11: Metales totales de Pb y Zn vs conductividad eléctrica.	51
Gráfico 12: Biodisponibilidad vs CIC.	52
Gráfico 13: Crecimiento por tratamiento (cm) de <i>Chenopodium ambrosioides</i>	53
Gráfico 14: Tamaño final (cm) alcanzado por los tratamientos, <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	54
Gráfico 15: Crecimiento (cm) por tratamiento de <i>Trifolium repens</i> .	55
Gráfico 16: Tamaño final (cm) alcanzado por los tratamientos. <i>Trifolium repens</i> .	55
Gráfico 17: Biomasa seca <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	56
Gráfico 18: Biomasa seca. <i>Trifolium repens</i>	57
Gráfico 19: Área foliar (cm ²). <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	58
Gráfico 20: Área foliar (cm ²). <i>Trifolium repens</i> .	59
Gráfico 21: Concentraciones de Plomo, en la parte aérea y raíz. <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	60
Gráfico 22: Concentraciones de Zinc, en la parte aérea y raíz. <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	63
Gráfico 23: Concentraciones de Plomo, en la parte aérea y raíz. <i>Trifolium repens</i> .	65
Gráfico 24: Concentraciones de zinc, en la parte aérea y raíz. <i>Trifolium repens</i> .	67
Gráfico 25: Concentración de zinc para <i>Trifolium repens</i> y <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	70
Gráfico 26: Concentración de plomo para <i>Trifolium repens</i> y <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	72

LISTA DE ILUSTRACIONES

CONTENIDO	Pág.
Ilustración 1: Siembra de <i>Chenopodium ambrosioides</i>	28
Ilustración 2: Vista panorámica de la siembra de Ca.	28
Ilustración 3: Siembra de <i>Trifolium repens</i> .	28
Ilustración 4: Vista panorámica de Tr.	29
Ilustración 5: Germinación de <i>Chenopodium ambrosioides</i> .	29
Ilustración 6: Crecimiento de Ca, día 50.	30
Ilustración 7: Crecimiento de Ca, día 130.	30
Ilustración 8: Cosecha de Ca de 25%r y 100%r .	31
Ilustración 9: Crecimiento Ca-100%ta	31
Ilustración 10: Cosecha Ca-100%ta	31
Ilustración 11: <i>Chenopodium ambrosioides</i> seco, tratamiento 1.	32
Ilustración 12: <i>Chenopodium ambrosioides</i> seco, tratamiento 2	32
Ilustración 13: <i>Chenopodium ambrosioides</i> seco, tratamiento 3.	32
Ilustración 14: Germinación <i>Trifolium repens</i> .	33
Ilustración 15: Crecimiento <i>Trifolium repens</i> , día 55.	33
Ilustración 16: Crecimiento de <i>Trifolium repens</i> , día 100.	34
Ilustración 17: Cosecha Tr. 100%r.	34
Ilustración 18: Crecimiento Tr. 100%ta.	34
Ilustración 19: Cosecha Tr-100%ta	35
Ilustración 20: <i>Trifolium repens</i> seco, tratamiento 1.	35
Ilustración 21: <i>Trifolium repens</i> seco, tratamiento 2.	36
Ilustración 22: <i>Trifolium repens</i> seco, tratamiento 3.	36
Ilustración 23: Mediciones de altura, Ca.	36
Ilustración 24: Mediciones de altura Tr.	37
Ilustración 25: Peso fresco y seco de las muestras.	37
Ilustración 26: Área foliar Ca.	38
Ilustración 27: Área foliar Tr.	38
Ilustración 28: Homogenización de la muestra.	38
Ilustración 29: Peso, de la muestra seca en la balanza analítica.	39
Ilustración 30: Calcinación de la muestra.	39
Ilustración 31: Digestión de la muestra.	39
Ilustración 32: Ajuste del pH.	40
Ilustración 33: Filtración y enraizado	40

Ilustración 34: Preparación de kits.	40
Ilustración 35: Lectura de plomo.	41
Ilustración 36: Lectura de zinc	41
Ilustración 37: Espectrofotómetro.	41

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO	Pág.
Figura 1. Procesos de fitorremediación	7
Figura 2. Presentación esquemática de las interacciones suelo-planta en la rizósfera.	9
Figura 3. Sección transversal de la vía a través de apoplasto y simplasto.	10
Figura 4: Tipos de plantas según su comportamiento al incremento de concentración en el suelo de metales pesados.	11

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

ANOVA	Análisis de varianza
C.E	Conductividad Eléctrica
Ca	<i>Chenopodium ambrosioides</i>
CIC	Capacidad de intercambio catiónico
K	Potasio
N	Nitrógeno
P	Fósforo
pH	Potencial de hidrógeno
Tr	<i>Trifolium Repens</i>

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La industria minera es la principal generadora de divisas e ingresos fiscales para el Perú, por lo que constituye un sector productivo sumamente importante para la economía del país. En muchos casos, implica la extracción física de grandes cantidades de materiales de la misma, para recuperar sólo pequeños volúmenes del producto; tales actividades comprenden una serie de procesos o etapas, siendo una de ellas la que da origen a los relaves.

En nuestro país existen 8794 pasivos ambientales, la mayoría de ellos ubicados en Ancash, Cajamarca y Puno. (Ministerio de Energía y Minas, 2018); uno de ellos, se encuentra en la Planta concentradora de minerales “Santa Rosa de Jangas”; los relaves que allí se encuentran ocasionan diversos impactos ambientales, sociales y económicos. Siendo el principal problema la alta concentración de metales pesados tales como Al, As, Cd, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Ni, Pb, Zn, Cr.; los metales de más alta concentración y toxicidad registrados fueron Zn y Pb estos metales son sumamente tóxicos pudiendo producir úlceras cutáneas, irritación del aparato respiratorio; y retraso del desarrollo mental, hipertensión, enfermedades cardiovasculares, entre otros, respectivamente. (McCrill, Boyer, Flood , & Ortega, 2013), en las plantas reduce la producción de biomasa y disminución de la capacidad fotosintética, Por lo tanto, son capaces de romper los equilibrios de los ecosistemas, afectar la salud pública, degradar cuerpos de agua y modificar paisajes naturales.

Surge, entonces, la necesidad de buscar alternativas amigables con el entorno, para minimizar estos impactos, una alternativa es la fitorremediación que es el uso de plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el agua, suelo y/o aire. Uno de sus procesos es la fitoextracción, que, es el uso de plantas

que absorben y concentran metales pesados en sus tejidos. (Cunningham, Berti, & Huang, 1995).

Una planta ideal para la fitoextracción debería tener cualquiera de las siguientes características a) una planta baja de biomasa con una alta capacidad de acumulación de metal, o b) una planta de biomasa alta con potencial de absorción de metal (Environmental Protection Agency US, 2000).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad fitoextractora de *Chenopodium ambrosioides* y *Trifolium repens*, que fueron especies encontradas en zonas contaminadas con metales pesados.

1.1. Planteamiento del problema

En Ancash existen 1378 pasivos ambientales, dentro de los cuales se encuentran los relaves mineros; esta cantidad representa el 15.7% del total de pasivos ambientales mineros de nuestro país, ubicándonos en el primer lugar a nivel nacional en tener este tipo de desechos. (Ministerio de Energía y Minas, 2018)

La planta de tratamiento “Santa Rosa de Jangas” está diseñada para procesar 50 TM de minerales por día, generando sólidos marginales en el orden de 40 TM por día. (Tarazona, 2005). En esta planta se procesan minerales sulfurados de plomo, zinc y cobre empleando el método de flotación, obteniendo concentrados de Pb, Zn y algunas veces Cu. Al concentrar minerales por flotación, se genera un relave conformado entre otros elementos por partículas finamente trituradas de silicatos, arcillas, carbonatos, óxidos y eventualmente sulfuros conjuntamente, sin valor comercial, que se almacenan en depósitos denominados relaveras. (Hidalgo, Espinoza , & Figueroa , 2010).

Es imprescindible, buscar soluciones para este problema que generan daños dejando secuelas en los factores ambientales, incluidos los seres humanos, cuyo pago del perjuicio ocasionado no ha sido asumido por quien lo ha generado y en muchas ocasiones los costos recaen en la sociedad. De modo que, frente a la existencia de pasivos ambientales es necesario recurrir a la búsqueda de una remediación o mitigación de los impactos ocasionados (Sotomayor , 2015).

1.2. Formulación del problema

¿*Chenopodium ambrosioides* y *Trifolium repens*, tendrán capacidad fitoextractora de zinc y plomo del relave de la Planta Concentradora de Minerales “Santa Rosa de Jangas”?

1.3. Hipótesis

El *Chenopodium ambrosioides* y *Trifolium repens*, tienen alta capacidad fitoextractora de zinc y plomo del relave de la planta concentradora de minerales “Santa Rosa de Jangas”.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad fitoextractora de las especies *Chenopodium ambrosioides* y el *Trifolium repens*, para extraer Zinc y Plomo del relave de la Planta Concentradora de Minerales “Santa Rosa de Jangas”, a partir de mezclas con tierra agrícola

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración de metales pesados en muestras de relave minero y tierra agrícola.
- Determinar la concentración de zinc y plomo, total y disponible, y propiedades fisicoquímicas en las mezclas de relave - tierra agrícola.
- Determinar el desarrollo físico del *Chenopodium ambrosioides* y el *Trifolium repens*.
- Determinar la concentración de zinc y plomo en la parte aérea y raíz de las especies de *Chenopodium ambrosioides* y el *Trifolium repens*, comparando el porcentaje de mezcla más eficiente.
- Comparar las concentraciones de zinc y plomo extraídos por ambas especies.
- Determinar el factor de bioconcentración y translocación en las especies estudiadas.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes

La minería es una de las actividades más importantes del Perú por la generación de empleos, la participación activa en el incremento del Producto Bruto Interno; sin embargo, tiene un efecto negativo; tal es el caso de los relaves que ocasionan diversos impactos ambientales, sociales y económicos. En el Perú no existe un inventario específico referido a la producción de relaves mineros. La contaminación por metales pesados, por parte de la minería, es un problema que está presente en todas las partes del mundo. Debido a ello surge la idea de utilizar la fitorremediación en suelos, la cual fue introducida en el año 1983 (Chaney, 1983) y ganó aceptación en 1990 al tratarse de una alternativa “verde”. Se han desarrollado múltiples trabajos concerniente a este tema.

En la investigación de Maureen (2007), de extracción de plomo por *Panicum virgatum*, en Canadá, los resultados proporcionaron información importante sobre la viabilidad de utilizar el pasto varilla en la fitorremediación obteniendo un buen crecimiento y alta producción de biomasa, se encontró que transloca con éxito el plomo en los tejidos cosechables. Así mismo, Moreno, (2010) estudió del comportamiento de plantas autóctonas mediterráneas frente al arsénico (As), la transferencia de este elemento desde los suelos mineros a las plantas y evaluó su utilidad para la fitorrecuperación de suelos contaminados con As. Encontró que la *Retama sphaerocarpa* y *Tamarix gallica* mostraron la mayor resistencia al arsénico. En campo, *R. sphaerocarpa* mostró la mayor supervivencia. El trabajo combinado a distintas escalas permitió seleccionar *Retama sphaerocarpa* como la especie más interesante para la fitoestabilización de suelos contaminados por As.

López, (2011) propuso la fitorremediación como procedimiento de limpieza o mecanismo de control de la dispersión de arsénico (As) en los suelos de Mayoc y alrededores. Obteniéndose como resultados que el llantén y diente de león absorben sobre los 60 mg/ kg de arsénico, catalogándose estas plantas como fitoacumuladoras. No obstante, (Durán, 2010) desarrolló la búsqueda, identificación, análisis y descripción de plantas crecidas naturalmente en zonas mineras. Según los resultados del estudio correspondiente a la mina Carolina, ubicada en el Distrito de Hualgayoc, Provincia de Cajamarca (Perú) se puede concluir que las plantas *Bidens triplinervia*, *Senecio sp*, *Sonchus oleraceus*, *Baccharis latifolia*, *Plantago orbignyana* y *Lepidium bipinnatifidum* son capaces de crecer en suelos con un alto contenido de metales pesados y tienen la habilidad de acumularlos en sus tejidos.

En el estudio de (Argota, Encinas , Argota, & Iannacone, 2014), evaluaron el potencial de fitorremediación, para esto se determinaron tres coeficientes biológicos: coeficientes de absorción biológico- BAC, factor de translocación - BT y factor de remediación -RC de *Alopecurus magellanicus bracteatus* y *Muhlenbergia angustata*. Se observaron 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.

Por otro lado, (Jara-Peña, y otros, 2014) en un trabajo en condiciones de invernadero evaluaron cinco tratamientos con cuatro substratos 30%, 60%,100% de relave de mina (RM) y suelo sin RM con un diseño factorial completo 5 x 4: 5 especies alto andinas, y 4 sustratos c. La mayor eficiencia de acumulación de plomo y zinc fue obtenida en las raíces de *Fuertesimalva echinata* con el tratamiento de 100% de relave de mina, obteniendo 2015.1 mg de plomo kg MS y 1024.2 mg de zinc kg-1 MS. En las raíces de *Lupinus 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, *Solanum nitidum* y *L. ballianus* presentaron el mayor IT al tratamiento de 60% de relave de mina con IT de 68.5% y 67.9.

En el contexto local (Medina & Montano, 2014) en una investigación sobre el factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus*

Willd, Cortaderia rudiusscula Stapf, en el pasivo minero Alianza, encontraron que ambas especies mostraron concentración de metales pesados superiores a los fitotóxicos; estos resultados indican que el *Juncus arcticus Willd* y la *Cortaderia rudiusscula Stapf* que son plantas tolerantes a metales pesados.

2.2.Base teórica

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, por lo general contienen residuos químicos y elevados niveles de metales pesados, (Mokopanele, 2001)

Los metales pesados se refieren a aquellos metales de la tabla periódica cuyo peso específico es superior a 5 g/cm³ 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.

La inadecuada disposición de relaves y desmontes, así como los métodos inapropiados para su tratamiento; han causado casos graves de filtraciones, drenaje de ácidos y contaminación de cuerpos acuíferos, así como otros efectos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas.

2.2.2.Fitoextracción

La Fitoextracción contempla uno de los seis procesos básicos de la fitorremediación (Bernal, 2007), siendo la captación o absorción de metales contaminantes por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas.

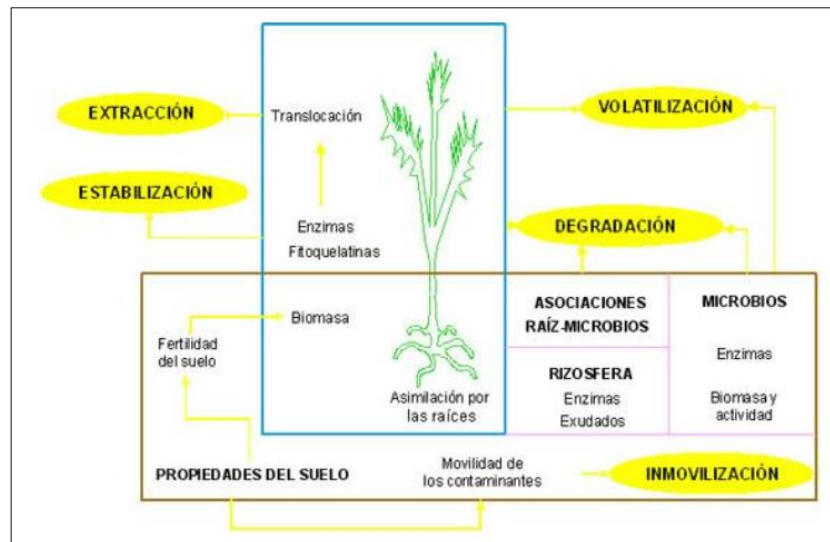


Figura 1. Procesos de fitorremediación.

Fuente: Bernal, 2007

La Fitoextracción, también llamada fitoacumulación, emplea la capacidad de las plantas para absorber y extraer el contaminante del suelo, principalmente metales, y acumularlo en sus tallos y hojas. Las partes de las plantas donde se acumula el contaminante pueden ser extraídas y destruidas o recicladas, retirando el metal del suelo (Cunningham, Berti, & Huang, 1995).

En zonas contaminadas con relave se pueden usar plantas que absorben y concentran metales pesados en sus tejidos (fitoextracción). Fuente especificada no válida.. Las plantas se usan para concentrar metales en las partes cosechables (principalmente, la parte aérea). (Patricia, 2016)

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran, pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno unas basan su resistencia a los metales con la estrategia de una eficiente exclusión del metal, restringiendo su transporte a la parte aérea. Otras prefieren acumular el metal en la parte aérea en una forma no tóxica para la planta. La exclusión es más característica de especies sensibles y tolerantes a los metales, mientras que la acumulación es más común de especies que aparecen siempre en suelos contaminados o metalíferos. (Baker, 1981); las especies de plantas ideales para la fitoextracción deberían tener cualquiera de las siguientes combinaciones a) una planta baja de biomasa con un alta capacidad de acumulación de metal, o b) una planta de biomasa alta con potencial de absorción de metal (Environmental Protection Agency US, 2000)

2.2.3. Forma de ingreso de los metales en las plantas

En raíces, todos los aniones son fuertemente adsorbidos a la superficie de la membrana, posteriormente sigue una conducción metabólica, una transferencia selectiva al simplasto y por último son transportados a la parte superior de la planta.

a. Interacción suelo raíz

La absorción de metales por raíces de plantas involucra varios procesos como: a) intercepción de raíces de iones metálicos, b) entrada del ion metálico en las raíces a través del flujo y la difusión de masa, y c) translocación de los iones metálicos desde la raíz hasta el brote (Marschner, 1995).

El proceso de absorción de raíz se logra mediante la movilización de metal unido a las partículas en la solución suelo. La movilización se alcanza de varias maneras (a) moléculas quelantes de metales (fitosideróforos) secretadas en el rizósfera, (b) reductasas metálicas unidas a la membrana plasmática específica y (c) extrusión de protones desde las raíces. (Salt, y otros, 1995)

Es probable que la entrada de iones de metal dentro de las plantas, ya sea a través del simplasto (intercelular) o el apoplasto (extracelular), depende del tipo de planta y de las especies de plantas investigación. (Tereza, 2001)

El secuestro de los iones metálicos o los complejos de quelato de metal en las células de la raíz dependen en gran medida del ion de metal en cuestión. Por ejemplo, generalmente se encuentra que Pb está asociado con paredes celulares fuera del plasma, en forma de precipitados de Pb y Pb cristales (Malone, Koeppe, & Miler, 1974), mientras que Zn era principalmente secuestrado en la vacuola (Brooks, 1998)

Los compuestos orgánicos liberados de las raíces (rizodepósitos o exudados) influyen en el crecimiento de la comunidad microbiana de la rizósfera que pueden ser responsables de las diferencias en la estructura de las comunidades microbianas comúnmente observadas entre la rizósfera y el suelo. (Lagier, Feuillade, & Mateika, 2000)

Los microbios del suelo en la rizosfera, incluidas las rizobacterias son las promotoras del crecimiento de las plantas, las bacterias que ayudan a micorrizas y hongos micorrízicos arbusculares, juegan un papel importante en la dinámica

de nutrientes, incluidos los oligoelementos. Por ejemplo, los hongos micorrízicos producen una glucoproteína insoluble, glomalina, que secuestra el metal (Noelle, 2009).

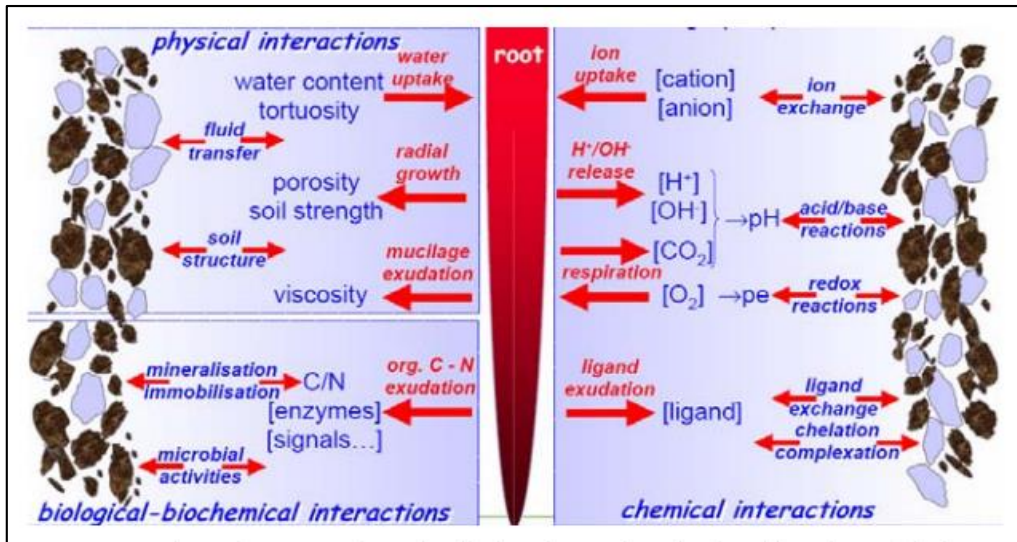


Figura 2. Presentación esquemática de las interacciones suelo-planta en la rizósfera.

Fuente: Hinsinger, Plassard, Tang, & Jaillard, 2003.

b. Interacción raíz parte aérea

Los mecanismos de traslocación de metal parecen ser muy similares a los de nutrientes esenciales como Fe o Ca, en tanto que el transporte desde la raíz a el rodaje se lleva a cabo principalmente a través del xilema. (Hardiman , Jacoby, & Banin, 1984). El Cd ingresa a la estela a través de una fuga y su velocidad de traslocación al lanzamiento depende de la concentración de la raíz. Por lo tanto, es razonable esperar que una gran parte de los metales se retendrían en el tallo durante la traslocación a través del fluido de xilema. (Tereza, 2001).

Otros factores como la tasa de transpiración, la absorción de raíz, el transporte radial. y xilema cargando (Salt, y otros, 1995), influyen en la traslocación del metal. Una vez absorbidos por las células de la raíz, los iones metálicos encuentran su camino hacia el brote y luego a su final destino intracelular, como las vacuolas, mediante un proceso llamado translocación. Se cree que la mayor tolerancia de los hiperacumuladores se asocia con la presencia de moléculas de quelación de alta humedad en el citoplasma. Por ejemplo, las fitoquelatinas (cisteína y compuestos ricos en glutathione) ayudan a secuestrar metales como Ag, Cd, Cu y Ni, y así proteger a las células de sus

efectos dañinos sobre las proteínas circundantes. En *Thlaspi caerulescens*, se cree que Zn está complejoado con histidina en células de la raíz y ácidos orgánicos en el brote y finalmente los metales complejos son transportados y secuestrados en las vacuolas, lo que explica la hipertolerancia de la planta a los metales. Después de la quelación con glutatión (GSH) o fitoquelatinas (PC), un transportador (generalmente de tipo ABC) transporta activamente el complejo de quelato de metal a las vacuolas (Mellem, 2010).

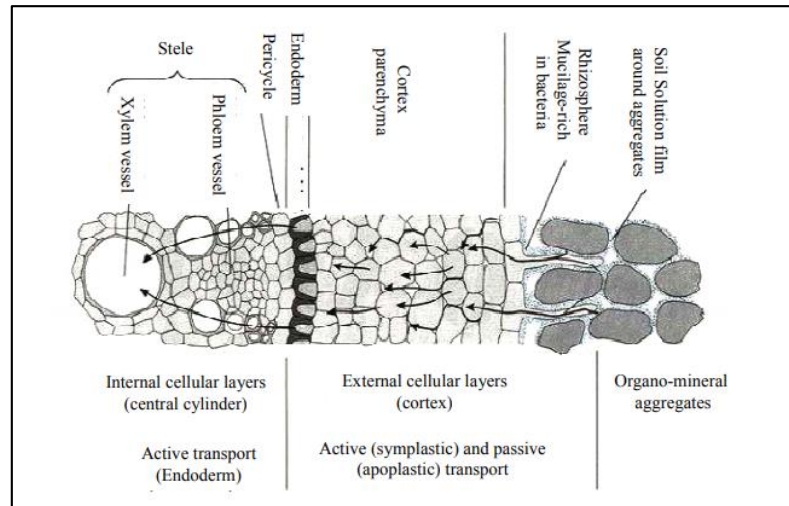


Figura 3. Sección transversal de la vía a través de apoplasto y simplasto.

Fuente: Glopal & Rizvi, 2008

2.2.4. Cuantificación de la eficiencia de fitoextracción

La capacidad fitoextractora de una planta depende de su capacidad de absorber, traslocar y secuestrar el metal de interés en su parte aérea cosechable. (Baker, 1981)

Patricia, 2016, sugiere que la planta con alta capacidad fitoextractora (hiperacumuladora) cuando contiene una:

- Concentración igual o superior al 0,1% de su peso seco para elementos como Ni, Co o Pb, de forma independiente de la concentración encontrada en el suelo, sin presentar efectos tóxicos.
- Para el Zn el límite es mayor del 1%.

• **Factor de bioconcentración (BCF):** 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 & Taisigue, 2014)

$$BCF = \frac{[\text{Concentración de metales en tejido cosechable}]}{[\text{Concentración de metales en el suelo}]}$$

Según Audet & Charest, 2007, indican:

BCF aérea < 1	EXCLUYENTE
1 < BCF aérea < 10	ACUMULADORA
BCF aérea > 10	HIPERACUMULADORA

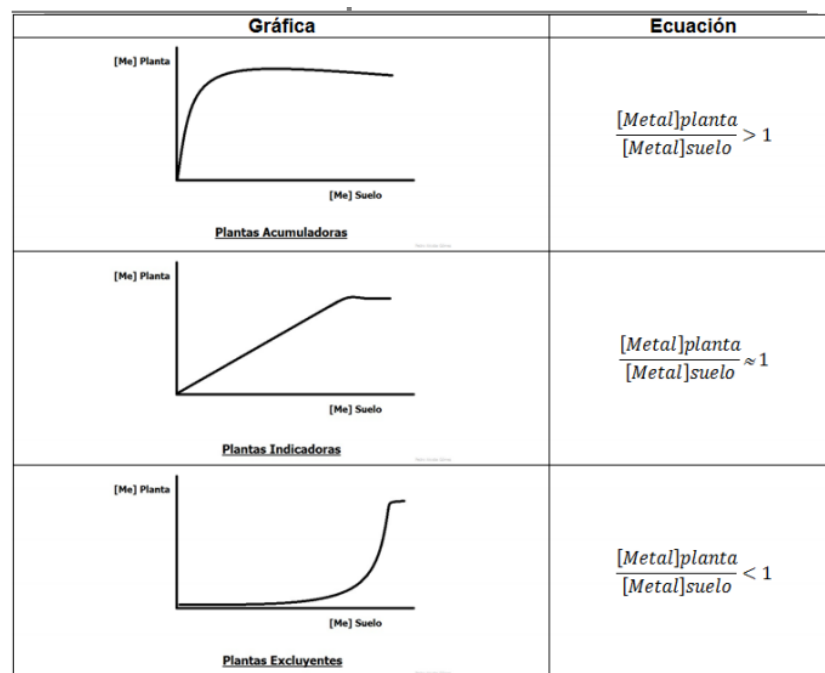


Figura 4: Tipos de plantas según su comportamiento al incremento de concentración en el suelo de metales pesados.

Fuente: Gonzáles, 1997

- **Factor de traslocación (TF):** indica la eficiencia de la planta en traslocar el metal acumulado desde las raíces a la parte aérea. Fuente especificada no válida. (Audet & Charest, 2007)

$$TF = \frac{[\text{Concentración de parte aérea}]}{[\text{Concentración de raíz}]}$$

Audet & Charest, (2007); señalan:

TF > 1	HIPERACUMULADORA
TF < 1	FITOESTABILIZADORA

Las plantas con ambos factores mayores que uno son aptas para la fitoextracción; y por otro lado las que posean un factor de bioconcentración mayor que uno, pero un factor de transferencia menor posee potencial para la fitoestabilización. (González, 1997)

2.2.5. Biodisponibilidad

La biodisponibilidad de un elemento se refiere a las formas biológicamente disponibles que pueden llegar a ser absorbidas por un organismo e integrarse en su metabolismo (Campbell, 1995). La biodisponibilidad de los metales a las plantas es afectada por los siguientes factores:

a) Características del suelo

- Materia Orgánica

En adición, algunos metales pesados, como Co, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn exhiben afinidades bastante altas con la materia orgánica, formándose complejos solubles e insolubles. La materia orgánica tiene tanto la propiedad de intercambio de cationes como la capacidad de complejación. La atracción selectiva de cationes es menos reversible que en el caso de las arcillas debido a la formación de enlaces pH-dependientes sobre las superficies de carga variable y a la complejación con los grupos funcionales existentes. Los procesos de complejación ocurren como una reacción de intercambio con las moléculas de agua coordinadas, que son intercambiadas por algunos ligandos, y que puede ser descrita mediante el principio de los ácidos y bases fuertes y débiles de Lewis (Stumm & Morgan, 1981)

Actúa como ligandos en los complejos de intercambio, mediante la cesión de electrones de ciertas moléculas a cationes metálicos, que aceptan estos electrones, formando los quelatos que pueden migrar con facilidad a lo largo del perfil. (Pilon-Smits, 2005)

La toxicidad de los metales pesados se potencia, en gran medida, por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos, lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión (Adriano, 1986)

- Potencial de hidrógeno (pH)

El pH, afecta a la carga de superficie de las arcillas, la materia orgánica y los óxidos de Fe y Al e influye en la complejación de los metales con la materia orgánica, en las reacciones de precipitación disolución, reacciones redox y dispersión de coloides. Un incremento de pH provoca un incremento de la adsorción y retención de cationes, con un máximo en torno a la neutralidad (Evans, 1995)

Con un aumento del pH del suelo, la solubilidad de muchos metales pesados disminuye y la concentración de elementos traza es menor en la solución de suelos neutros y básicos que aquellos ligeramente ácidos. (Kabata & Pendias H, 2000)

- Potencial redox

El potencial de oxidación-reducción es responsable de que el metal se encuentre en estado oxidado o reducido y del cambio directo en la valencia de ciertos metales; por ejemplo, en condiciones reductoras el Fe³⁺ se transforma en Fe²⁺. Generalmente, las condiciones redox afectan indirectamente la movilidad de los metales, siendo más solubles en medios reducidos. (Garcia & Dorronsoro, 2005)

Tabla 1: Movilidad de los metales pesados y elementos asociados en función de las condiciones de pH y Eh.

Movilidad relativa de los metales pesados según Eh y pH del suelo				
Movilidad	Oxidante	Acido	Neutro y alcalino	Reductor
Alta	Zn	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au		
Media	Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd	Cd	Cd	
Baja	Pb	Pb	Pb	
Muy baja	Fe, Mn, Al, Sn, Pt, Cr, Zr	Al, Sn, Pt, Cr	Al, Sn, Cr, Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au	Zn, Cu, Co, Ni, Hg, Ag, Au, Cd, Pb

Fuente: Plant & Raiswell, 1983

- Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La CIC se define como la cantidad de cationes reversiblemente adsorbidos (expresados como moles de carga positiva) por unidad de peso del mineral (McBride, 1994) y está muy condicionada por la cantidad y tipo de arcilla y la materia orgánica (Prabhakaran & Cottenie, 1971)

En general, cuanto mayor es el contenido en arcilla, mayor es la CIC y por tanto mayor es la cantidad de metales que pueden ser retenidos sin peligro potencial, ya que se limita la solubilidad y movilidad de los metales intercambiados. (Diez, 2008)

En general, cuanto mayor sea la capacidad de intercambio catiónico, mayor será la capacidad del suelo de fijar metales. El poder de adsorción de los distintos metales pesados depende de su valencia y del radio iónico hidratado; a mayor tamaño y menor valencia, menos fuertemente quedan retenidos (Brady & Weil, 2008)

- **Humedad**

El contenido de humedad de los suelos es otro factor importante que gobierna la especiación de metales y su movilidad a través de reacciones de oxidación-reducción. Bajo condiciones reductoras se pueden formar sulfuros de metales, que son bastante insolubles, por lo que la movilidad y biodisponibilidad son considerablemente menores que las esperadas bajo condiciones oxidante (Bingham, Mitchell, Mahler, & Page, 1976)

- **Óxidos e hidróxidos de Fe y Mn**

Tienen una alta capacidad de fijar los metales pesados e inmovilizarlos. Además, estos compuestos se presentan finamente diseminados en la masa del suelo por lo que son muy activos. Los suelos con altos contenidos de Fe y Mn tienen una gran capacidad de adsorber metales divalentes, especialmente Cu, Pb y en menor grado Zn, Co, Cr, Mo y Ni. (Domenech, 1995)

b) Características de la planta

Se sabe que, para mejorar solubilidad del metal, las plantas excretan ligandos orgánicos o disminuyen el pH del suelo en la rizosfera. El desarrollo genético de la planta influye mucho en su potencial de absorción de metales (Chen, Caspar, & Cunningham, Arabidopsis thaliana as a Model System for Studying lead Accumulation and Tolerance in Plants In: Phytoremediation of Soil and Water Contaminants,, 1997)

El grado en que las raíces de las plantas pueden modificar las condiciones del sustrato es extremadamente importante (Marschner, 1995). El pH de la rizosfera puede, en algunos casos, diferir desde el pH suelo hasta dos unidades.

Cualquier modificación al pH de la rizosfera tienen un impacto en la relación de captación catión / anión, la liberación de gas carbónico y la excreción de ácidos orgánicos. Acidificación de la rizosfera a través de la exudación de protones de las raíces también se ha demostrado que puede mejorar la absorción y la acumulación de metales (Marschner, 1995)

Los microorganismos rizosféricos también juegan un papel importante en la disponibilidad de metales. Por ejemplo, varias cepas de *Pseudomonas* y *Bacillus* fueron capaces de aumentar la cantidad de Cd acumulada por plántulas de *Brassica juncea* (Salt, y otros, 1995). Una mejora similar en la absorción de cadmio y plomo fue observado cuando las plantas se infectaron con micorrizas vesiculares arbusculares (Killham & Firestone, 1983)

c)Factores ambientales

Las condiciones climáticas, el riego y las prácticas de fertilización del suelo son ejemplos de factores ambientales.

Para mejorar la solubilidad del metal en la solución del suelo, los quelatos sintéticos como ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), ácido nitrilotriacético (NTA), piridina-2-6 ácido dicarboxílico (PDA), ácido cítrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico y ácido fluorosilícico puede usarse en estudios de fitorremediación (Romkens, Bouwman, Japenga, & Draaisma, 2002). La adición de exceso los agentes quelantes pueden aumentar las posibilidades de lixiviar los metales del suelo a agua subterránea. Si la concentración de metal en el suelo está cerca del niveles fitotóxicos, luego la adición de cal o materia orgánica reduce la solubilidad del metal (Pilon-Smits, 2005)

2.2.6. Estándares de calidad ambiental para el suelo

Se debe destacar que los valores de ECA para suelo se sustentan en un análisis de los factores que inciden en la salud pública y la calidad ambiental, y se basan en los últimos estudios e investigaciones científicas, así como en los estándares que establecen organizaciones internacionales que son un referente para los países a nivel mundial.

A continuación se muestran los estándares de calidad ambiental para suelo.

Tabla 2: Estándares de calidad ambiental (ECA) para suelo.

Parámetro	Suelo agrícola (mg/kg)	Suelo residencial (mg/kg)	Suelo comercial (mg/kg)
Arsénico	50	50	140
Bario total	750	500	2000
Cadmio	1.4	10	22
Cromo total	..	400	1000
Cromo VI	0.4	0.4	1.4
Mercurio	6.6	6.6	24
Plomo	70	140	800
Cianuro Libre	0.9	0.9	8

Fuente: MINAM, 2017

Tabla 3: Pautas de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y Salud humana de las Directrices Canadienses de Calidad Ambiental Canadiense

Parámetro	Límite para suelo agrícola (mg/kg)
Antimonio	20
Arsénico	12
Cadmio	1.4
Cromo	64
Cobalto	40
Cobre	63
Plomo	70
Mercurio	6.6
Molibdeno	5
Níquel	50
Plata	20
Talio	1
Estaño	5
Zinc	200

Fuente: Canadian Council of Ministers of the Environment – CCME. (2006)

2.2.7. Características del zinc y plomo

a. Zinc

El zinc (Zn) se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza y constituye aproximadamente un 0,02 % de la corteza terrestre. Adopta la forma de sulfuro (esfalerita), carbonato, óxido o silicato (calamina) de zinc, combinado con muchos minerales. La esfalerita, el principal mineral de zinc y fuente de al menos el 90 % del zinc metálico, contiene hierro y cadmio como impurezas. Casi siempre aparece acompañado de galena, el sulfuro de plomo, y ocasionalmente se encuentra asociado con minerales que contienen cobre u otros sulfuros metálicos básicos. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995)

Sus principales usos: la protección del acero mediante galvanización. La capacidad del zinc para proteger los metales ferrosos de la corrosión puede potenciarse mediante electrólisis; se utiliza como pigmento para la fabricación de pinturas, lacas y barnices, y como carga en plásticos y caucho. También tiene aplicación en la fabricación de cosméticos, como reactivo químico y pesticida. Aliado con el cloro (Cloruro de zinc), es un componente del cemento para metales, los dentífricos y las pastas de soldadura. Se utiliza sólo o con fenol y otros antisépticos para conservar las traviesas de los ferrocarriles. Es útil para el grabado del metal y la fabricación de asfalto. Sirve como agente vulcanizante para el caucho, retarda la combustión de la madera e inhibe la corrosión en el tratamiento del agua. (Gunnar, 2010).

El zinc es un nutriente esencial. Es un componente de las metalenzimas que participan en el metabolismo de los ácidos nucleicos y en la síntesis de las proteínas. (Londoño, 2016)

Varias sales de zinc pueden entrar al organismo por inhalación, a través de la piel o por ingestión y producir intoxicación. El cloruro de zinc produce úlceras cutáneas, pueden irritar el aparato respiratorio y digestivo y producir erosión dental. (Gunnar, 2010)

b. Plomo

Los minerales de plomo se encuentran en muchos lugares del mundo. El mineral más rico es la galena (sulfuro de plomo) y constituye la fuente principal de producción comercial de este metal. Otros minerales de plomo son: la cerusita (carbonato), la anglesita (sulfato), la corcoita (cromato), la wulfenita (molibdato), la piromorfita (fosfato), la mutlockita (cloruro) y la vanadinita (vanadato). En muchos casos, los minerales de plomo pueden contener otros metales tóxicos. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 1995)

Se usa como aditivo antidetonante en la gasolina, baterías, en monitores de computadores y pantallas de televisión, joyería, latas de conserva, tintes para el pelo, grifería, pigmentos, aceites, cosmetología, aleaciones, cerámicas, municiones, soldaduras, plumadas, armamento, radiación atómica, insecticidas, etc. (Lanphear, Dietrich, & Auinger, 2012)

La absorción de plomo es un grave riesgo de salud pública; provoca retraso del desarrollo mental e intelectual de los niños, causa hipertensión y

enfermedades cardiovasculares en adultos. La intoxicación se debe a la ingestión accidental de compuestos de plomo o la ingestión por parte de los animales de forrajes o alimentos con plomo, procedentes de áreas ambientalmente contaminadas. (Agency for toxic substances and disease control, 2011)

El plomo absorbido se distribuye en riñón, hígado, encéfalo y huesos por semejanza con el calcio. El mayor depósito de plomo son los huesos hasta por 20 años; interfiere en la función del calcio, inhibe la síntesis de hemoglobina y causa daño neurológico. (International programme on chemical safety, 1998)

Los efectos agudos en sistema nervioso central consisten en parestesia, dolor y debilidad muscular, Crisis hemolítica-anemia grave y hemoglobinuria. También afecta riñones con oliguria y albuminuria. Aunque la intoxicación aguda puede causar la muerte, es más frecuente que el paciente se recupere y presente intoxicación crónica con daño gastrointestinal, neuromuscular, nervioso, hematológico, renal y reproductivo. (McCrill, Boyer, Flood , & Ortega, 2013)

El plomo induce una variedad de respuestas al estrés en plantas, incluyendo la producción de biomasa reducido, disminución de la capacidad fotosintética y las variaciones anatómicas (Chen, Berti, Cunningham, & Huang, 1997)

2.2.8. Especies vegetales utilizadas

a) *Chenopodium ambrosioides*

- **Datos taxonómicos**

Nombres comunes: Paico, Cashua.

Familia: Chenopodiaceae

Género: *Chenopodium*.

Especie: *ambrosioides*.

- **Requerimientos ambientales**

Clima: Zonas tropicales, con alta radiación solar y de moderada a alta humedad relativa, altitudes de hasta 3000 msnm.

Suelo: Se cultiva en suelos areno-arcillosos, soportando escasa materia orgánica.

Reacción edáfica: pH entre 5,2 y 8,3

- **Cultivo**

Espaciamiento: En maceteros la profundidad de siembra de las semillas siempre es de, aproximadamente, el doble de su diámetro

Propagación: Mediante semilla sexual y por división de matas o esquejes. Las semillas demoran 10 días para germinar. Se puede sembrar directamente o por trasplante en terreno definitivo, cuando las plántulas tienen 20 días y hayan alcanzado de 10 cm a 12 cm.

Cosecha: Se realiza el primer corte a los 80 días de la siembra y posteriormente cada 30 días a 10 o 12 cm del suelo para facilitar el rebrote.

b) *Trifolium repens*

Según (Juncafresa, 1980)

- **Datos taxonómicos**

Nombre común: Trébol blanco

Familia: Fabaceae

Género: *Trifolium*

Especie: *Repens*

- **Requerimientos ambientales**

Clima: Resistente al frío, al calor y a la sequía.

Suelo: Soporta todo tipo de suelos desde los más fértiles a los más ingratos, prefiriendo los francoarcillosos.

- Reacción edáfica: reacción alcalina

- **Cultivo**

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.

Propagación: Las semillas tardan alrededor de 10 días.

Cosecha: A partir del tercer mes

2.3. Definición de términos

2.3.1. 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)

2.3.2. Planta fitoestabilizadora

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

2.3.3. Planta Indicadora

Las especies indicadoras pueden reflejar un conjunto único de cualidades o características ambientales del entorno en el cual se encuentran, por lo tanto pueden ser utilizadas como un puente para diagnosticar la salud de un ecosistema. (Biopedia, 2015). Estas especies acumulan los metales en sus tejidos aéreos y generalmente reflejan el nivel de metal en el suelo (Mendieta & Taisigue, 2014)

2.3.4.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)

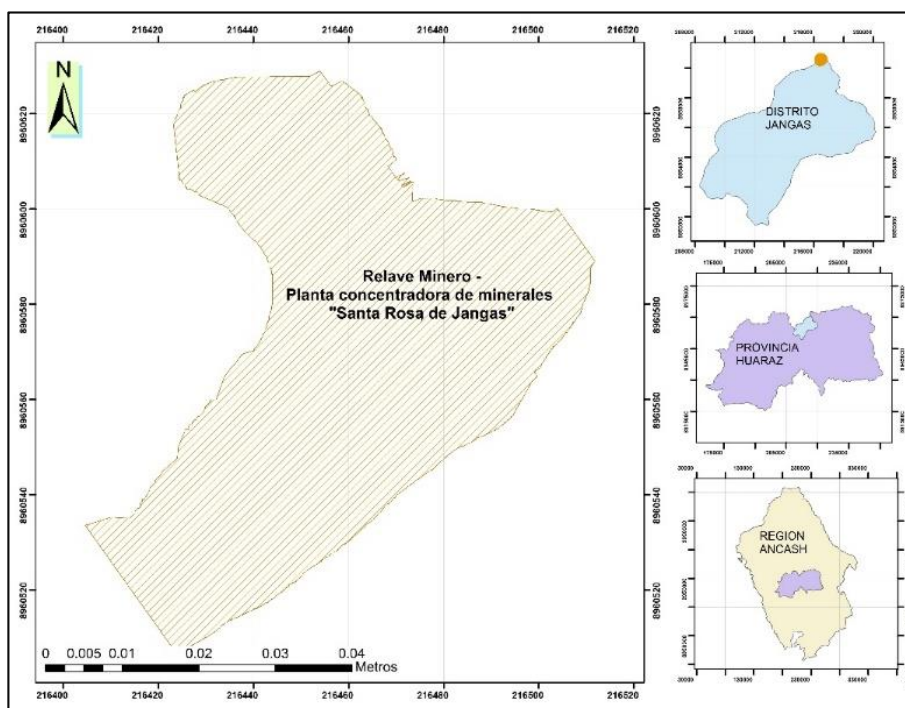
CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Descripción del relave de la planta concentradora “Santa Rosa de Jangas”.

a. Ubicación

Se ubica en el kilómetro 218 de la carretera Pativilca – Caraz, en la margen izquierda y 100 metros de la confluencia de los ríos Santa y Llancash, en el distrito de Jangas de la provincia de Huaraz. emplazada en las coordenadas 216 650E y 8960967N, a una altitud de 2 830 msnm. (Tarazona, 2005)



b. Descripción

La planta de tratamiento Santa Rosa de Jangas está diseñada para procesar 50 TM de minerales por día, generando sólidos marginales en el orden de 40 TM por día. La “cancha” o presa de relaves que ocupa 1 500 m aproximadamente y que consta de siete “cochas” flanqueadas por diques conformados por los gruesos del relave, se emplaza en la parte baja de las instalaciones y opera desde el año 1980 con interrupciones (Tarazona, 2005).

En esta planta se procesan minerales sulfurados de plomo, zinc y cobre empleando el método de flotación, obteniendo concentrados de Pb, Zn y algunas veces Cu. Cuenta con las siguientes secciones:

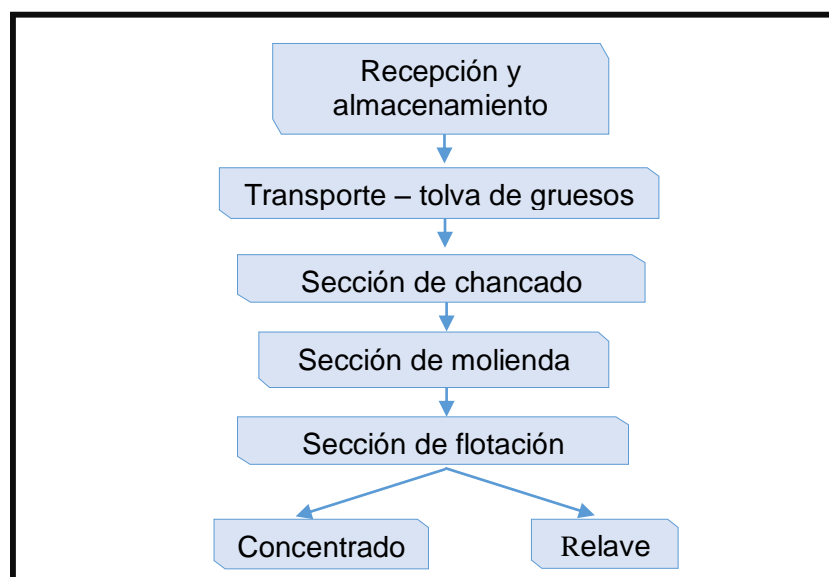


Diagrama. 1. Procesos, Planta concentradora de minerales, “Santa Rosa de Jangas”.

3.2. Investigación

3.2.1. Tipo de investigación

EXPERIMENTAL

Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula. Se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué lo hacen. (Hernandez, 2015)

3.2.2. Diseño y caracterización de la muestra

a) Población

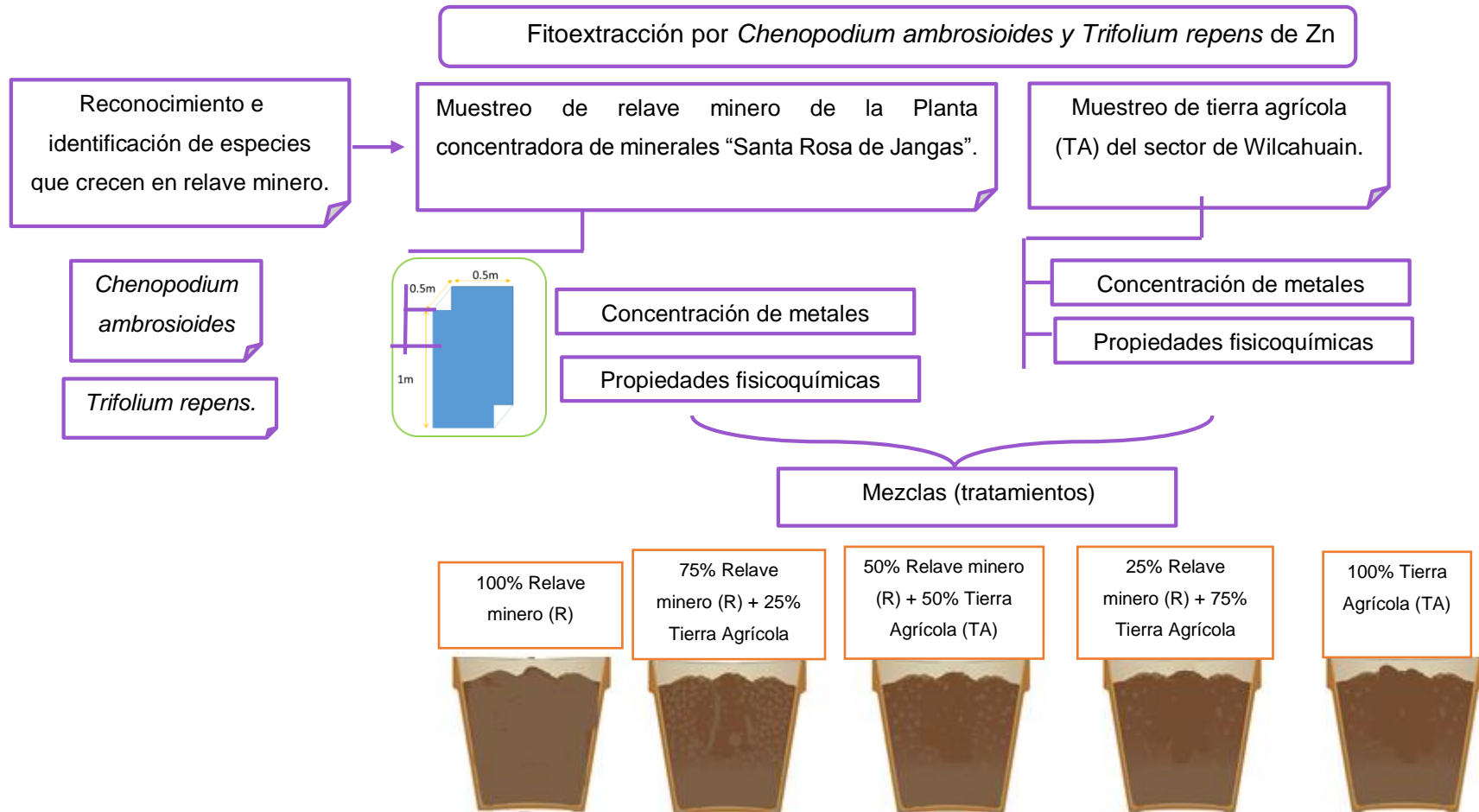
- Relaves mineros de la Planta Concentradora de Minerales “Santa Rosa de Jangas”.
- Especies con potencial fitoextractor, que crecen en relaves mineros.

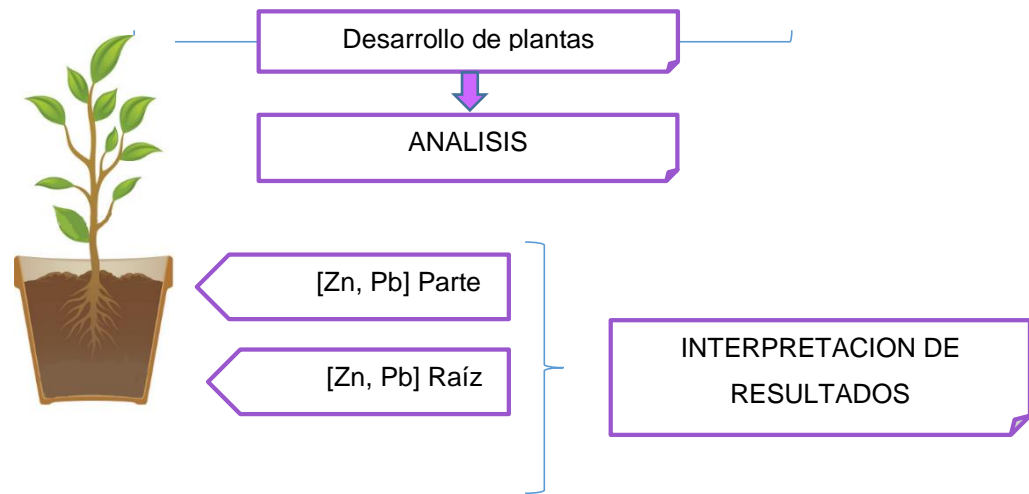
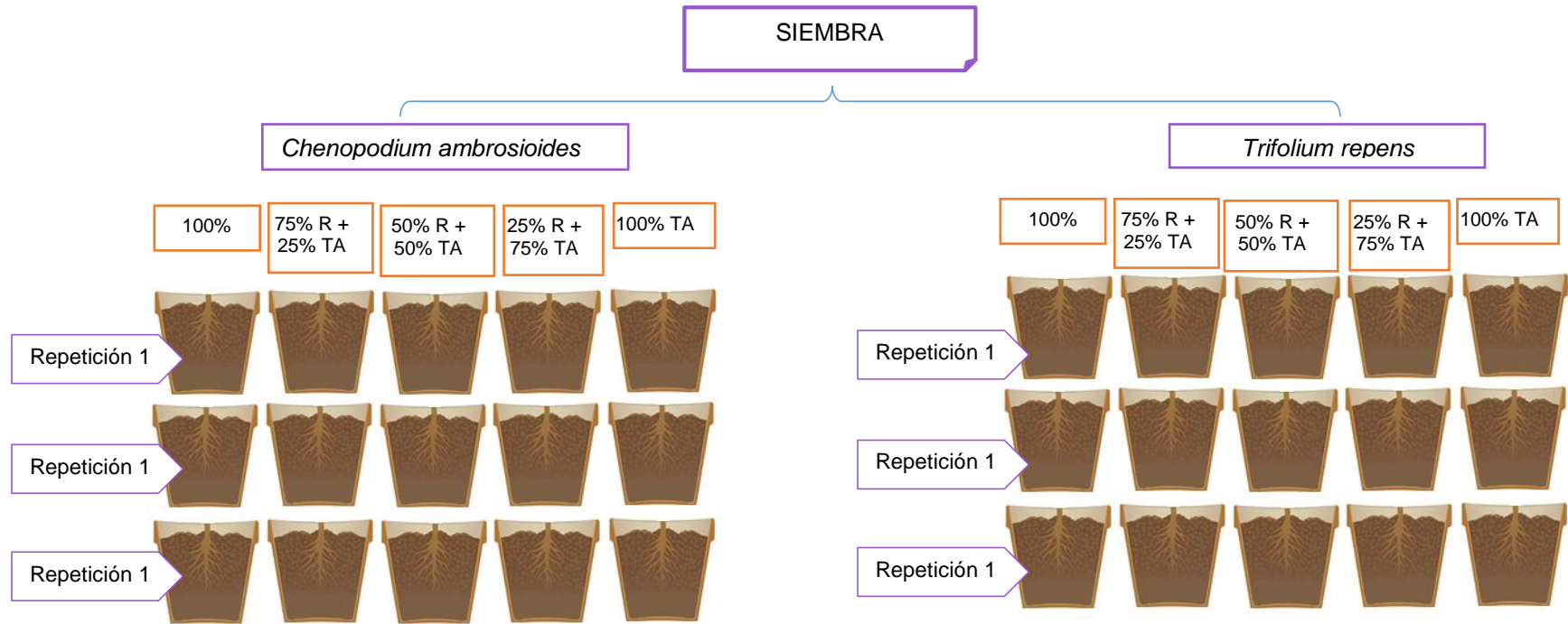
b) Muestra

- Relave minero extraído de 15 calicatas de la Planta Concentradora de Minerales “Santa Rosa de Jangas”.
- *Chenopodium ambrosioides* y *Trifolium repens*

3.2.3. Diseño de investigación

a) Esquema de investigación



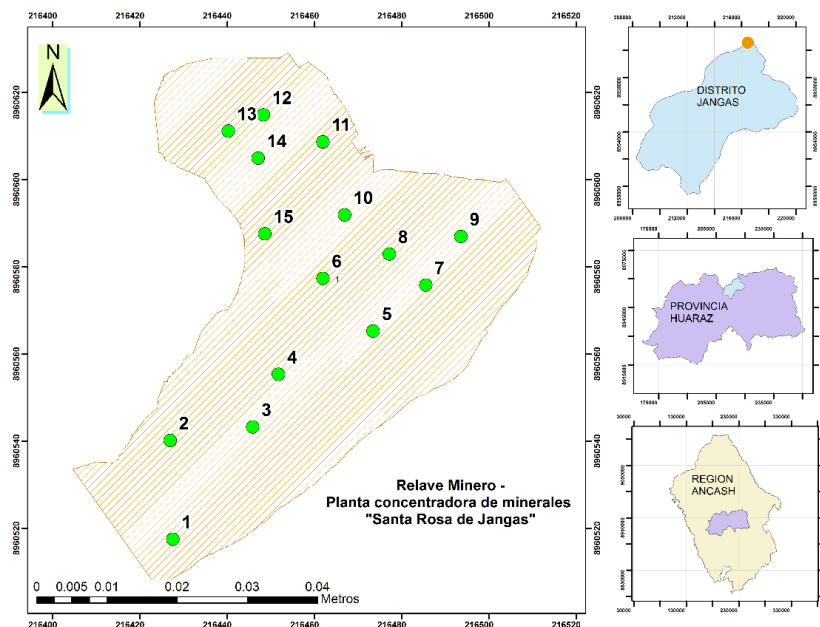


3.2.4. Procedimientos

a) Obtención de materiales

Para la fitoextracción se tuvo en cuenta el análisis de relave minero y tierra agrícola, para posteriormente realizar las mezclas.

-Relave: El muestreo de relave minero se realizó en la planta concentradora de Santa Rosa de Jangas. Para ello se excavó 15 calicatas de 0.5x0.5x1m (Anexo 7)



Mapa 2: Ubicación de puntos de muestreo del relave.

-Tierra Agrícola: El muestreo de la tierra agrícola se realizó en el sector de Wilcahuain, de un terreno de cultivo en forma de zigzag. (Anexo 7)

b) Preparación de las unidades experimentales

Después de realizar el muestreo del relave y tierra agrícola se procedió a realizar las mezclas y uniformizarla por macetero. (Anexo 7). Cada mezcla constituye un tratamiento experimental (capacidad de 3 kg)

- 100%ta, contiene 3kg de tierra agrícola
- 25%r contiene 0.75kg de relave y 2.25kg de tierra agrícola.
- 50%r, contiene 1.5kg de relave y 1.5kg de tierra agrícola.
- 75%r, contiene 2.25kg de relave y 0.75kg de tierra agrícola.
- 100%r, contiene 3kg de relave.

La codificación de cada macetero se indica en la Tabla 4 y 5:

Tabla 4: Código de maceteros con *Trifolium repens*: 5 tratamientos, 3 repeticiones y 15 unidades experimentales

Código general	Código de Análisis de metales totales en plantas	Descripción
Tr- 100%ta-1	Tr- 100%ta-1	Tierra agrícola 100%, repetición 1
Tr- 100%ta-2	Tr- 100%ta-2	Tierra agrícola 100%, repetición 2
Tr- 100%ta-3	Tr- 100%ta-3	Tierra agrícola 100%, repetición 3
Tr-25%r-1	Tr-25%ta-1	Relave es de 25% + 75% de tierra agrícola, repetición 1
Tr-25%r-2	Tr-25%ta-2	Relave es de 25% + 75% de tierra agrícola, repetición 2
Tr-25%r-3	Tr-25%ta-3	Relave es de 25% + 75% de tierra agrícola, repetición 3
Tr-50%r-1	Tr-50%ta-1	Relave 50% + 50% de tierra agrícola, repetición 1
Tr-50%r-2	Tr-50%ta-2	Relave 50% + 50% de tierra agrícola, repetición 2
Tr-50%r-3	Tr-50%ta-3	Relave 50% + 50% de tierra agrícola, repetición 3
Tr- 75%r-1	Tr- 75%ta-1	Relave es de 75% + 25% de tierra agrícola, repetición 1
Tr- 75%r-2	Tr- 75%ta-2	Relave es de 75% + 25% de tierra agrícola, repetición 2
Tr- 75%r-3	Tr- 75%ta-3	Relave es de 75% + 25% de tierra agrícola, repetición 3
Tr-100%r-1	Tr-100%r-1	Relave 100%, repetición 1
Tr-100%r-2	Tr-100%r-2	Relave 100%, repetición 2
Tr-100%r-3	Tr-100%r-3	Relave 100%, repetición 3

Tabla 5: Código de maceteros con *Chenopodium ambrosioides*: 5 tratamientos, 3 repeticiones y 15 unidades experimentales .

Código general	Código de Análisis de metales totales en plantas	Descripción
Ca-100%ta-1	Ca-100%ta-1	Tierra agrícola 100%, repetición 1
Ca-100%ta-2	Ca-100%ta-2	Tierra agrícola 100%, repetición 2
Ca-100%ta-3	Ca-100%ta-3	Tierra agrícola 100%, repetición 3
Ca-25%r-1	Ca-25%ta-1	Relave es de 25% + 75% de tierra agrícola, repetición 1
Ca-25%r-2	Ca-25%ta-2	Relave es de 25% + 75% de tierra agrícola, repetición 2
Ca-25%r-3	Ca-25%ta-3	Relave es de 25% + 75% de tierra agrícola, repetición 3
Ca-50%r-1	Ca-50%ta-1	Relave 50% + 50% de tierra agrícola, repetición 1
Ca-50%r-2	Ca-50%ta-2	Relave 50% + 50% de tierra agrícola, repetición 2
Ca-50%r-3	Ca-50%ta-3	Relave 50% + 50% de tierra agrícola, repetición 3
Ca-75%r-1	Ca-75%ta-1	Relave es de 75% + 25% de tierra agrícola, repetición 1
Ca-75%r-2	Ca-75%ta-2	Relave es de 75% + 25% de tierra agrícola, repetición 2
Ca-75%r-3	Ca-75%ta-3	Relave es de 75% + 25% de tierra agrícola, repetición 3
Ca-100%r-1	Ca-100%r-1	Relave 100%, repetición 1
Ca-100%r-2	Ca-100%r-2	Relave 100%, repetición 2
Ca-100%r-3	Ca-100%r-3	Relave 100%, repetición 3

c) Siembra

Chenopodium ambrosioides

- Se realizó a de 3 cm de profundidad y 5 cm de diámetro, colocando 5 semillas en cada maceta, tal como se muestra en la ilustración 1 y 2.

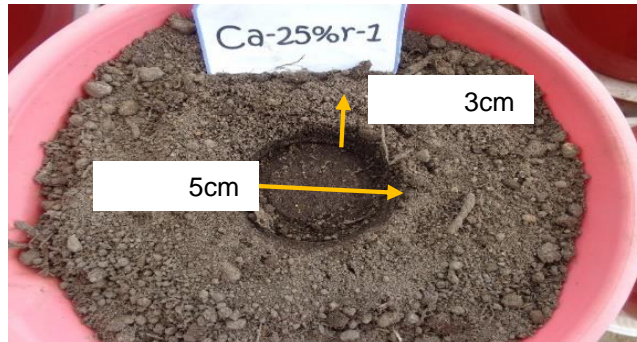


Ilustración 1: Siembra de *Chenopodium ambrosioides*

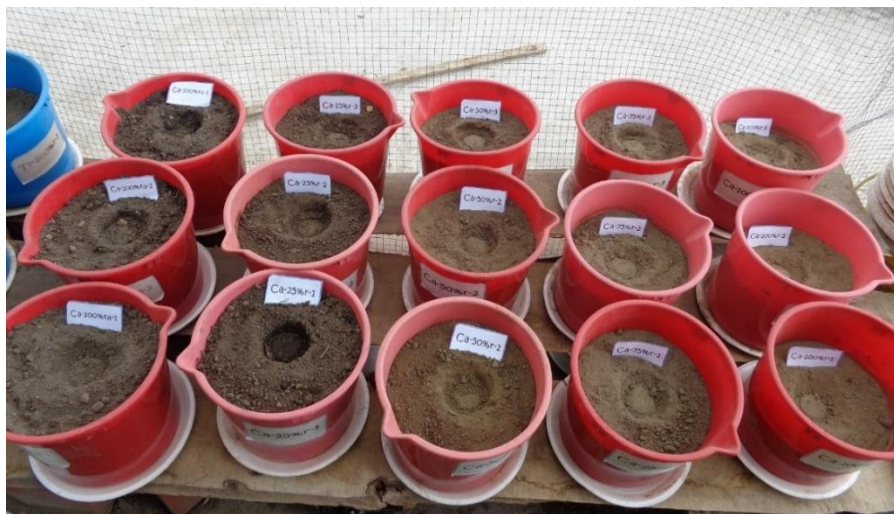


Ilustración 2: Vista panorámica de la siembra de Ca.

Trifolium repens

- Se realizó un agujero de 2 cm de profundidad por 5 cm de diámetro, colocando 10 semillas en casa maceta, tal como se muestra en la ilustración 3 y 4.



Ilustración 3: Siembra de *Trifolium Repens*.



Ilustración 4: Vista panorámica de Tr.

d) Cultivo y registro de evolución del experimento

Chenopodium ambrosioides

- La germinación se dio a partir del día 15 para el 100% ta; 18, 20, 23, 25 días para 25%r, 50%r, 75%r y 100%r respectivamente.
- El riego se realizó cada 2 días; a cada maceta se echó 200 ml de agua potable, en caso de existir precipitaciones el riego se realizaba cada 3 días. En la ilustración 5 se puede observar la germinación del *Chenopodium ambrosioides*



Ilustración 5: Germinación de *Chenopodium Ambrosioides*.

- Después de 50 días podemos observar en la ilustración 6, el crecimiento del *Chenopodium ambrosioides*.



Ilustración 6: Crecimiento de Ca, día 50.

- En el día 125, aproximadamente cuatro meses, podemos observar en crecimiento del *Chenopodium ambrosioides*, tal como se muestra en la ilustración 7.



Ilustración 7: Crecimiento de Ca, día 130.

- En el día 125, se cosechó las plantas de los tratamientos 25%r, 50%r, 75%r, 100%r, esto debido a que alcanzaron su ciclo de vida, en el caso del 100%ta, se dejó por 20 días más hasta alcanzar su ciclo completo. En la ilustración 8 y 9, podemos observar algunos ejemplos de cosecha.



Ilustración 8: Cosecha de Ca 25% y 100%r.

- En el día 145, el tratamiento Ca-100%ta alcanzó su ciclo de vida. Como se muestra en la ilustración 10, luego de ello se procedió a cosecharlo.



Ilustración 9: Crecimiento Ca-100%ta



Ilustración 10: Cosecha Ca-100%ta

- Luego de cosechar cada uno de los tratamientos, se lavó con el agua de riego y agua destilada, luego se secó en una estufa a 120°C por una hora. En las ilustraciones 12, 13 y 14 puede observarse la diferencia entre tratamientos con materia seca.



Ilustración 11: *Chenopodium ambrosioides* seco, tratamiento 1.



Ilustración 12: *Chenopodium ambrosioides* seco, tratamiento 2



Ilustración 13: *Chenopodium ambrosioides* seco, tratamiento 3.

Trifolium repens

- La germinación se dio a partir del día 8 para el 100%ta, en el día 10 germinó el 100%, en el día 12 germinaron los tratamientos 25%r y 75%r, finalmente en el día 14 germinó el tratamiento 50%r.



Ilustración 14: Germinación *Trifolium repens*.

- En la ilustración 16 y 17 podemos observar el crecimiento del *Trifolium repens*, en el día 55 y 100 respectivamente

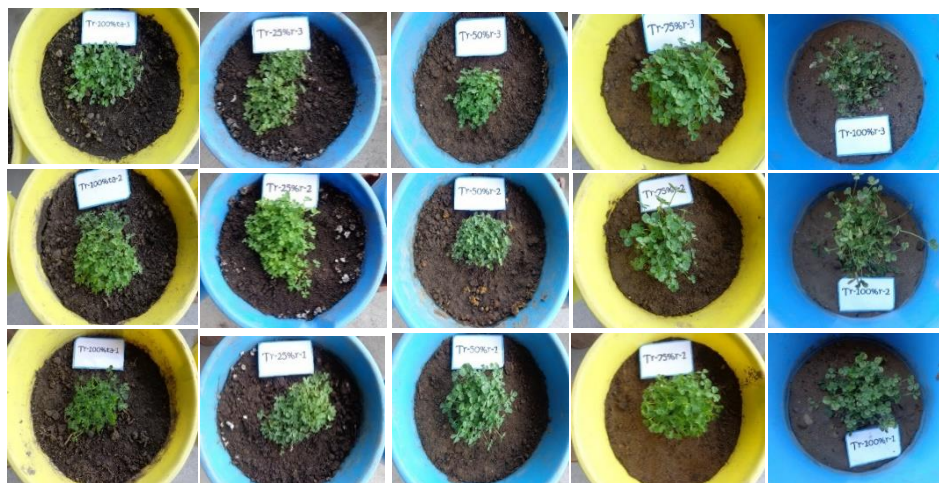


Ilustración 15: Crecimiento *Trifolium Repens*, día 55.

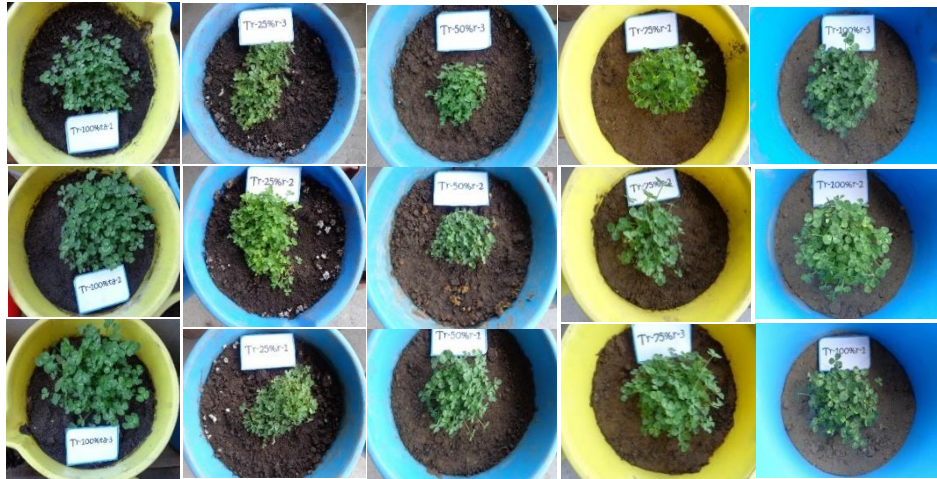


Ilustración 16: Crecimiento de *Trifolium Repens*, día 100.

- En el día 100 aproximadamente tres meses y medio, se cosechó los tratamientos 25%r, 50%r, 75%r, 100%r, debido a que se estaban marchitando, y no se quería perder biomasa. En la ilustración 19 se puede observar un ejemplo de la cosecha. No obstante, el tratamiento 100%ta se dejó por 30 días más hasta que alcance su máximo crecimiento, tal como se muestra en la ilustración 20.



Ilustración 17: Cosecha Tr. 100%r.



Ilustración 18: Crecimiento Tr. 100%ta.

- Una vez alcanzado del máximo crecimiento del tratamiento 100%ta, se cosechó tal como se muestra en la ilustración 20.



Ilustración 19: Cosecha Tr-100%ta

- Después de realizar la cosecha de cada uno de los tratamientos, se lavó con agua de riego y agua destilada; luego se puso las muestras en una estufa a 120°C por aproximadamente una hora. En las ilustraciones 21, 22 y 23 se puede observar la diferencia entre tratamientos, en materia seca.



Ilustración 20: *Trifolium repens* seco, tratamiento 1.



Ilustración 21: *Trifolium repens* seco, tratamiento 2.



Ilustración 22: *Trifolium repens* seco, tratamiento 3.

e) Registro de altura de la planta, cálculo de biomasa y área foliar

- **Altura:** Para el cálculo de la altura, se realizaron mediciones cada 15 días, con la ayuda de una regla; tal como se muestra en las ilustraciones 24 y 25.



Ilustración 23: Mediciones de altura, Ca.



Ilustración 24: Mediciones de altura Tr.

- **Biomasa:** Se realizó con la ayuda de una balanza analítica, del laboratorio de suelos, se encontró el peso fresco y seco, para la parte aérea y raíz por separado, ejemplo de ello podemos observarlo en la ilustración 26.



Ilustración 25: Peso fresco y seco de las muestras.

- **Área foliar:** Para hallar el área foliar del *Chenopodium ambrosioides*, se utilizó un sacabocado con radio de 0.3cm, y para el *Trifolium repens* de 0.2 cm, tal como se muestra en las ilustraciones 27 y 28. El cálculo del área foliar se realizó de la siguiente manera.

$$Area\ foliar(cm^2) = \frac{Wt \times (\pi r^2 m)}{Wm}$$

Donde:

Wt: peso total de las hojas en cada planta.

r: radio del sacabocado en cm

m: número de muestras obtenidas por el sacabocado

Wm: Peso de las muestras obtenidas por el sacabocado



Ilustración 26: Área foliar Ca.



Ilustración 27: Área foliar Tr.

f) Determinación de las concentraciones de zinc y plomo.

El análisis químico de suelo, agua, plantas, se realizó en el Laboratorio De Calidad Ambiental, Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, por el método de espectrofotometría de absorción atómica, equipo Spectroquant NOVA 60, de la siguiente manera:

- Paso 1: Homogenización de la muestra, previamente secada a estufa a 120°C por aproximadamente una hora, con la ayuda de un mortero.



Ilustración 28: Homogenización de la muestra.

- Paso 2: Peso de la muestra seca, 0.5 gr aproximadamente, en la balanza analítica.



Ilustración 29: Peso, de la muestra seca.

- Paso 3: Calcinación la muestra, en un horno mufla a 570°C, por aproximadamente 1 hora, hasta obtener una muestra completamente blanquecina.



Ilustración 30: Calcinación de la muestra.

- Paso 4: Digestión, utilizando 3 ml ácido nítrico HNO_3 , para cada muestra.



Ilustración 31: Digestión de la muestra.

- Paso 5: Corrección del pH, con ayuda de NaOH y HNO_3 , para el plomo el pH debe estar entre 3-6, y para el zinc entre 4-11.



Ilustración 32: Ajuste del pH.

- Paso 6: Filtrado, en una fiola de 100 ml, luego enrazar.



Ilustración 33: Filtración y enraizado

- Paso 7: Preparación de kits, con la ayuda del manual de Test de Zinc y Plomo, en tubos de ensayo, para el caso del plomo se utilizó 8 ml y para el zinc 5ml; luego se debe añadir los reactivos en estricto orden como se indica en dicho manual.



Ilustración 34: Preparación de kits.

- Paso 8: Lectura en el espectrofotómetro, para esto se colocó la muestra en celdas, como se observa en la ilustración 36 y 37.



Ilustración 35: Lectura de plomo. **Ilustración 36:** Lectura de zinc

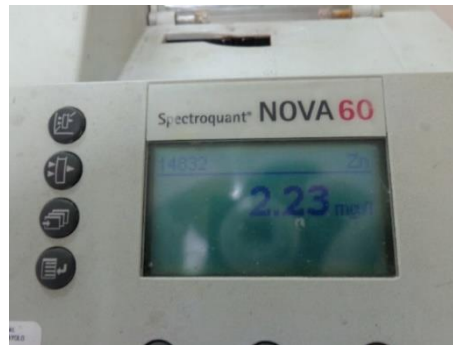


Ilustración 37: Espectrofotómetro.

- Paso 9: 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

$$CM = \frac{W}{V} \times 10000$$

$$\%Metal = \frac{CE}{CM} \times 100$$

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

$$mg/Kg = \frac{CE}{W} \times 100$$

3.2.5. Técnica de procesamiento y análisis de datos (cálculos)

a) Prueba de t student:

Aplicación: Esta prueba se utilizó para la comparación entre las dos especies, *Chenopodium ambrosioides* y *Trifolium repens*.

b) Análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Fisher:

Aplicación: Para conocer si existe diferencia estadísticamente significativa entre los cinco tratamientos (100%ta, 25%r, 50%r, 75%r, y 100%r).

Si $F_{calculada} > F_{crítico}$ la hipótesis de rechaza, asumiéndose que existe por lo menos una diferencia estadísticamente significativa entre medias de los tratamientos.

c) Prueba de comparación múltiple de medias (Tukey):

Aplicación: Para saber entre qué tratamientos existe diferencia estadística de sus medias y jerarquizar los tratamientos de acuerdo a esta diferencia.

Se clasifican en diferencia significativa (*) y no significativa (n.s)

3.3. Materiales y equipos

Materiales para la siembra.

- Semillas de *Chenopodium ambrosioides* y *Trifolium repens*.
- Tierra agrícola extraída del centro poblado de Wilcahuain.
- Relave minero extraído de la planta concentradora Santa Rosa de Jangas
- 30 maceteros de polietileno de 4 litros de capacidad

Material para la implementación del invernadero.

- Mallas mosquiteras de color verde 30 metros.
- Malla metálica 8 metros.
- 6 unidades de eternit transparente.
- 9 maderas de 2 metros de altura y 5 cm de diámetro.
- 6 tablas para el soporte de las macetas.

Instrumentos de laboratorio

- 2 morteros
- 1 balanza analítica

- 1 estufa
- 1 horno mufla
- 1 campana extractora
- 5 pipetas
- 5 fioles
- 15 de vasos precipitado
- 1 potenciómetro.

Material de gabinete

- Materiales de escritorio (Lápiz, lapicero, hojas bond).
- Computadora portátil (Laptop).
- Programas de SIG (AutoCAD, Arc Map)
- Excel, Word, Power point.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Concentración de metales pesados en relave minero y tierra agrícola

El análisis de metales pesados en relave y tierra agrícola se muestra en el Anexo 1; dio como resultado que las concentraciones más altas presentes en el relave son zinc con 2400 mg/kg y plomo con 730 mg/kg; razón por la cual se optó trabajar con estos metales, debido a su abundancia; el arsénico es uno de los metales que se encuentran en menor cantidad con 2,14 mg/kg. En la tierra agrícola los valores de metales pesados fueron mínimos, teniéndose como máximo la presencia de calcio 189mg/kg y un mínimo de 2mg/kg de arsénico total. En la Tabla 6 y Gráfico 1 se pueden observar estos resultados.

Tabla 6: Concentración de metales pesados en relave y tierra agrícola, previo a la preparación de las mezclas

Parámetro	Unidad de medida	Relave	Tierra agrícola
Aluminio total	mg/Kg Al	273	80
Arsénico total	mg/Kg As	2.14	2
Cadmio total	mg/Kg Cd	13.56	1.11
Calcio	mg/Kg Ca	431	189
Cobre total	mg/Kg Cu	407	7
Cromo total	mg/Kg Cr	125	17.5
Hierro total	mg/Kg Fe	22.6	78
Magnesio total	mg/Kg Mg	512	69
Manganeso total	mg/Kg Mn	27.8	16.2
Níquel total	mg/Kg Ni	44	22
Plomo total	mg/Kg Pb	730	89
Zinc total	mg/Kg Zn	2400	35
Cromo VI	mg/Kg Cr +6	276	10

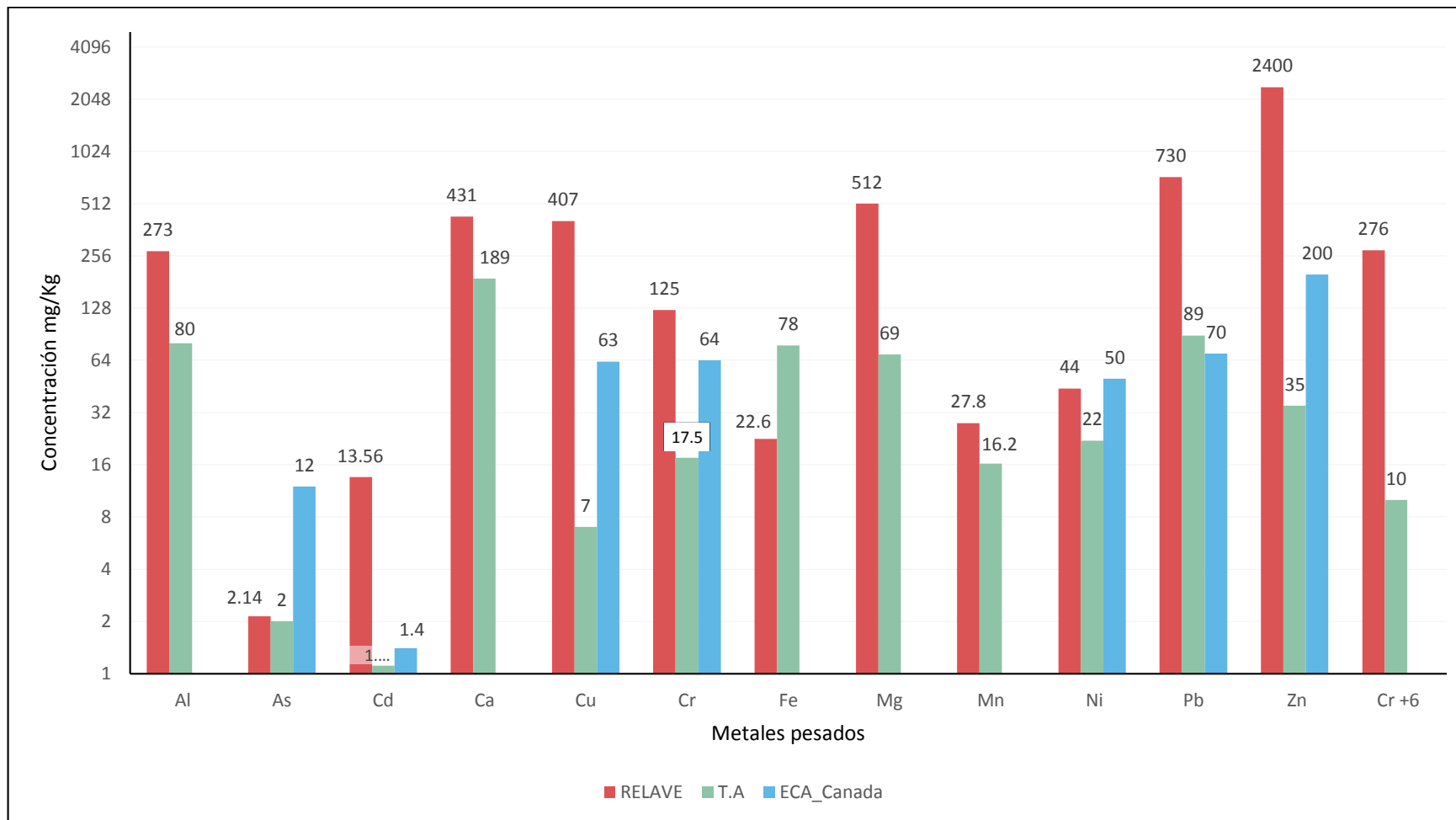


Gráfico 1: Concentración de metales pesados en relave minero y tierra agrícola

4.2. Concentración de zinc y plomo, total y disponible; propiedades fisicoquímicas en las mezclas.

a) Concentración de zinc y plomo totales.

Los resultados del análisis de zinc y plomo en los cinco tratamientos revelaron concentraciones ascendentes, empezando por el 100%TA (tierra agrícola), cuyo valor fue el menor, con 35.2 mg/kg y 89.19mg/kg para zinc y plomo respectivamente; el valor más alto fue obtenido por el 100%R (relave), con valores de 2400.52 mg/kg y 730.61mg/kg para zinc y plomo respectivamente. Los detalles de los resultados se muestran en la Tabla 7 y Gráfico 2. (Anexo 2)

Tabla 7: Concentración de zinc y plomo totales en cada tratamiento.

		100% TA	25% R	50%R	75%R	100%R
Plomo	mg/kg	89.19	255.4	412.31	551.35	730.61
Zinc	mg/kg	35.2	612.34	1218.21	1820.65	2400.52

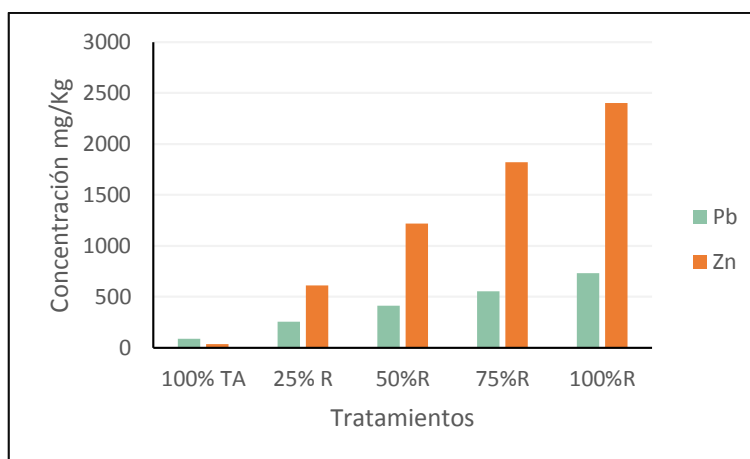


Gráfico 2: Concentración de zinc y plomo totales en cada tratamiento.

b) Concentraciones de zinc y plomo disponibles.

La biodisponibilidad se refiere a la concentración de metal pesado, en nuestro caso zinc y plomo, que puede ser absorbido por las plantas, esta biodisponibilidad es afectada por múltiples factores presentes en el suelo, en la planta y por factores ambientales; por lo tanto, su análisis es imprescindible. En la tabla 8, se puede observar que el valor mínimo de biodisponibilidad para el zinc es en el 100%R, cuyo valor es de 10mg/kg, y la máxima biodisponibilidad es el 50%r. En el caso del plomo la máxima biodisponibilidad es en el tratamiento50%R con 313.4 mg/kg y el mínimo es el en 100%TA, con 75.8 mg/kg. A diferencia de los metales totales la biodisponibilidad no es ascendente, los valores más altos se encuentran en el tratamiento 50%R, esto puede deberse a la presencia de materia orgánica,

combinada con el pH, CIC, entre otros factores, los cuales analizaremos más adelante. Estos resultados se encuentran a detalle en el anexo 3.

Tabla 8: Concentración de zinc y plomo disponibles.

		100% TA	25% R	50%R	75%R	100%R
Plomo	mg/kg	75.8	120.8	313.4	110	188.2
Zinc	mg/kg	22.64	33.39	44.1	11.58	10

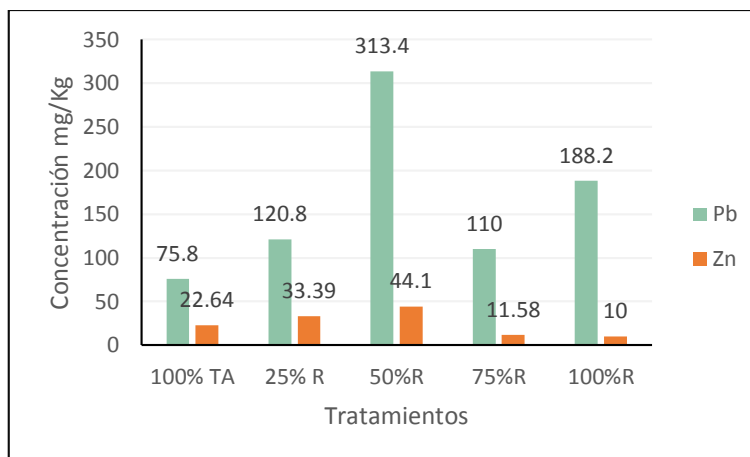


Gráfico 3: Concentración de zinc y plomo disponibles.

c) Comparación entre totales y disponibles

Al realizar una comparación entre el zinc disponible y el zinc total, observamos que el 100%R tiene la mayor concentración de metales totales, sin embargo, tiene la menor biodisponibilidad de metales. Esto nos indica que en el tratamiento de 100%R gran parte de la concentración de zinc, no se encuentra en forma disponible y que para la planta será complicado absorber este metal. No obstante, en el tratamiento 50%R la biodisponibilidad es la más alta y la planta podrá absorberlo en mayor proporción. Los detalles se pueden observar en el gráfico 4.

En el caso del plomo disponible y total, el comportamiento es similar a la del zinc, presentando mayor disponibilidad en el tratamiento 50%R.

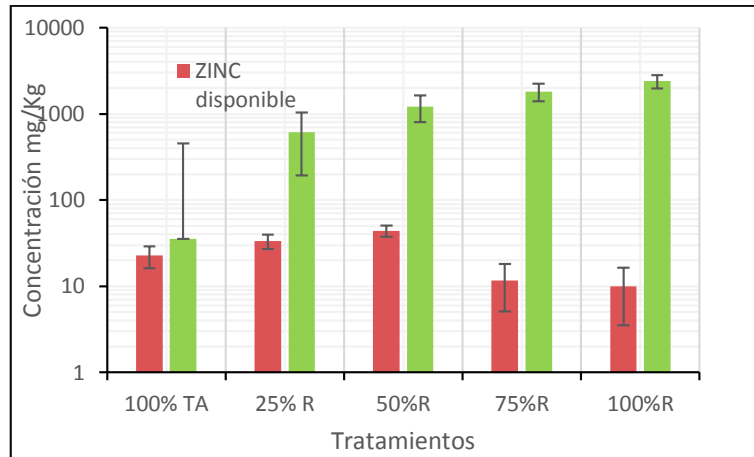


Gráfico 4: Zinc disponible vs zinc total.

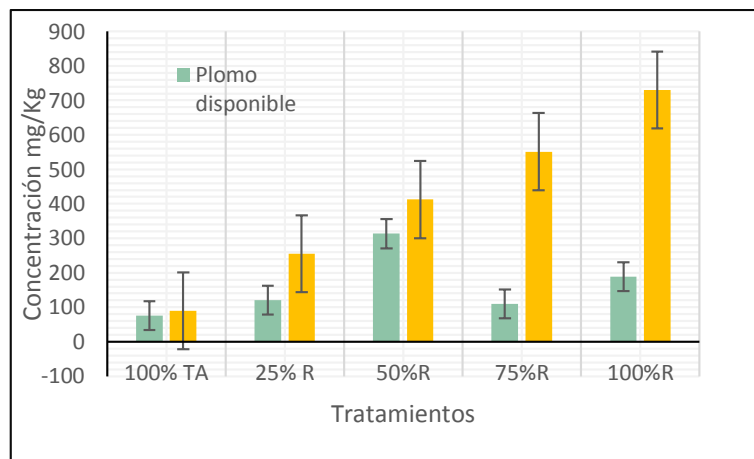


Gráfico 5: Plomo disponible vs zinc total.

d) Propiedades fisicoquímicas de los tratamientos

Se analizaron: clase textural, potencial de hidrógeno (pH), porcentaje de materia orgánica (M. O%), nitrógeno(N), fósforo (P) y potasio (K) total, Conductividad eléctrica (C.E) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC), estos resultados se muestran en las tablas 9, 10 y 11. (Anexo 4)

Tabla 9: Textura, pH y M.O%, de los tratamientos.

Muestra	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural	pH	M.O%
100% TA	59	32	9	Franco arenoso	4.91	4.899
25% R	67	26	7	Franco arenoso	4.73	3.415
50%R	77	18	5	Areno franco	4.65	2.100
75%R	81	14	5	Areno franco	4.61	1.634
100%R	83	14	3	Areno franco	5.23	0.412

En el gráfico 6 se presenta de biodisponibilidad versus pH; se puede observar que a valores más bajos de pH la biodisponibilidad es mayor y los valores más altos presentan menor biodisponibilidad. Entonces se puede afirmar que existe una ligera tendencia de que a menor pH mayor biodisponibilidad y a mayor pH menor biodisponibilidad. El valor más alto de pH se presenta en el 100%r, este tratamiento es 100% relave.

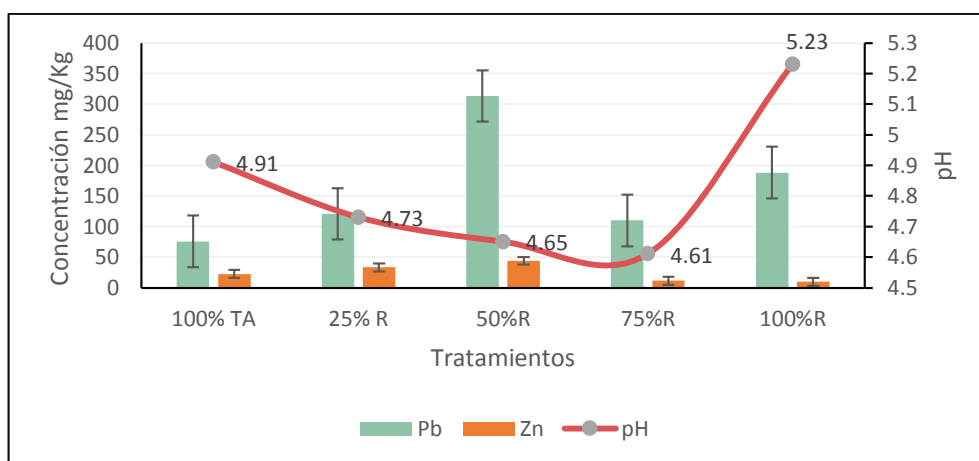


Gráfico 6: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs pH.

En el gráfico 7, se observa la biodisponibilidad versus el porcentaje de materia orgánica, se aprecia que con un 2.1% de materia orgánica se logra la mayor biodisponibilidad para el tratamiento de 50%R. Así mismo, el porcentaje más bajo de materia orgánica se presenta en el tratamiento 100%R, con un valor de 0.412% de materia orgánica.

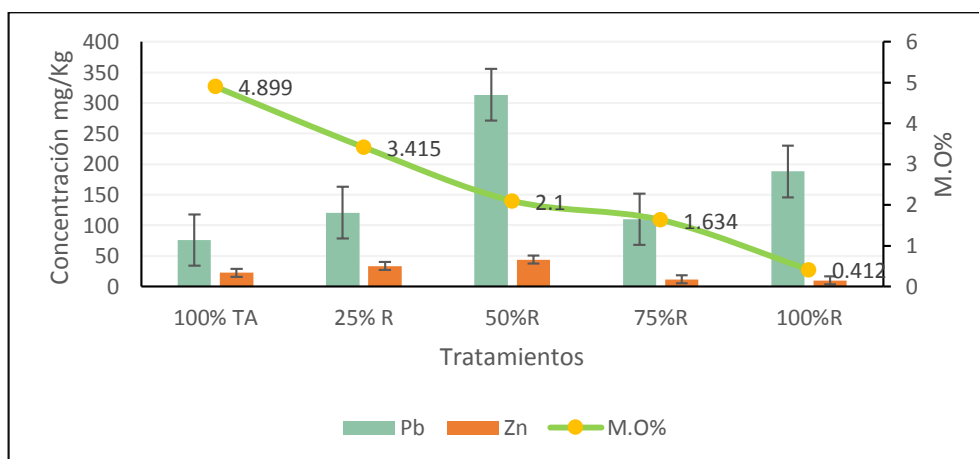


Gráfico 7: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs M.O%.

El nitrógeno (N), fósforo(P) y potasio (K) son macronutrientes esenciales del suelo, he ahí la importancia de su análisis; en la Tabla 10 se puede apreciar los valores de dichos macronutrientes, los valores más altos se presentan en el 100%

de tierra agrícola, estos valores van descendiendo hasta llegar al 100% de relave, donde las concentraciones son mínimas.

Tabla 10: N, P, K y C.E, de todos los tratamientos.

Muestra	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m
100% TA	0.245	10	96	0.89
25% R	0.171	8	67	2.46
50%R	0.105	6	54	3.36
75%R	0.082	4	45	3.74
100%R	0.021	3	40	3.83

En los gráficos 8, 9 y 10 se pueden observar la relación entre biodisponibilidad y N, P, K; respectivamente, los valores más altos le corresponden al 100% de tierra agrícola, y los valores mínimos al 100% de relave, esto se debe a la presencia alta de materia orgánica en este tratamiento.

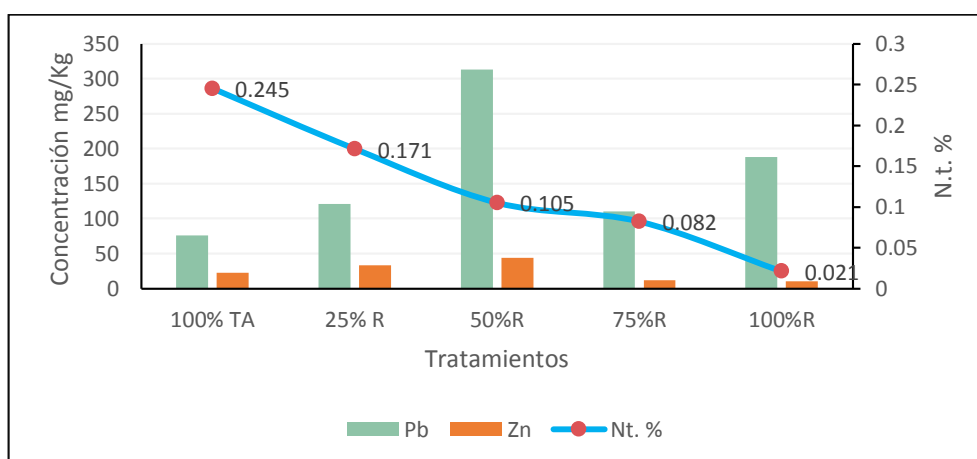


Gráfico 8: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs Nitrógeno total (Nt.)

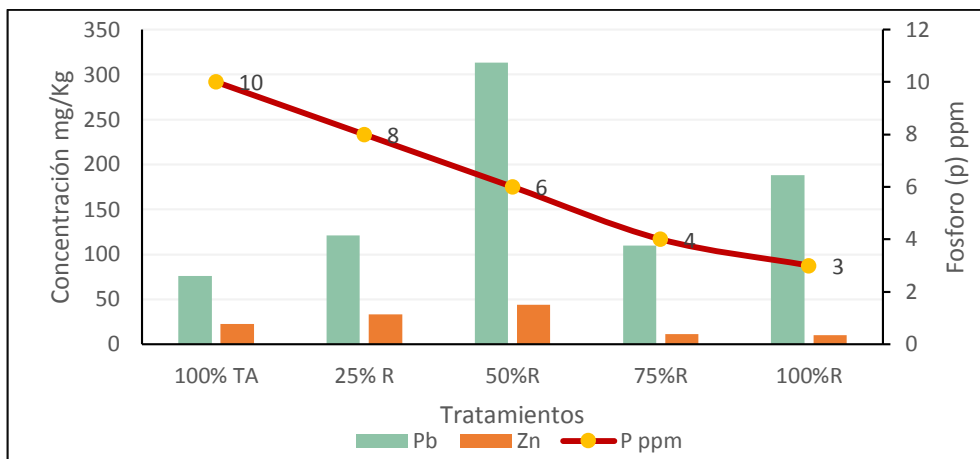


Gráfico 9: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs Fosforo (P)

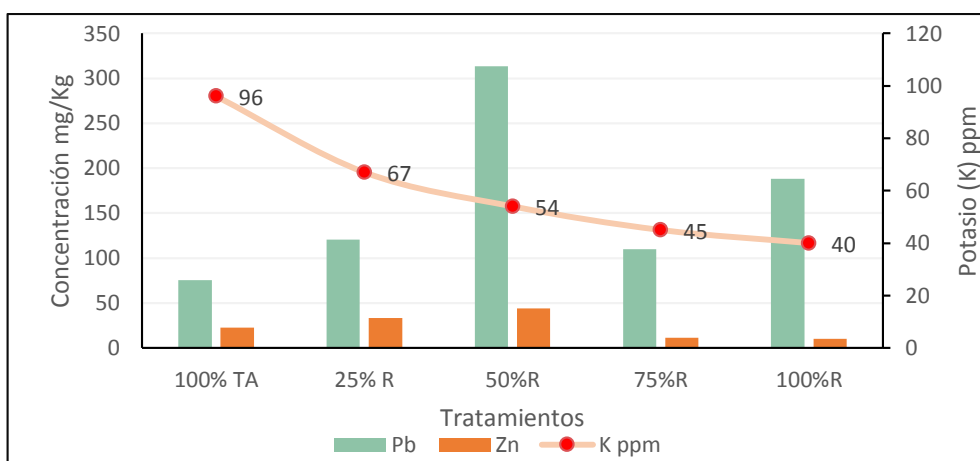


Gráfico 10: Biodisponibilidad de Pb y Zn vs Potasio (K),

La conductividad eléctrica (dS/m-decisiemens por metro) mide la capacidad de una sustancia para dejar fluir corriente eléctrica; los metales son buenos conductores, es así que en el gráfico 11 se aprecia estos valores que están directamente relacionados con la concentración de metales totales en las mezclas.

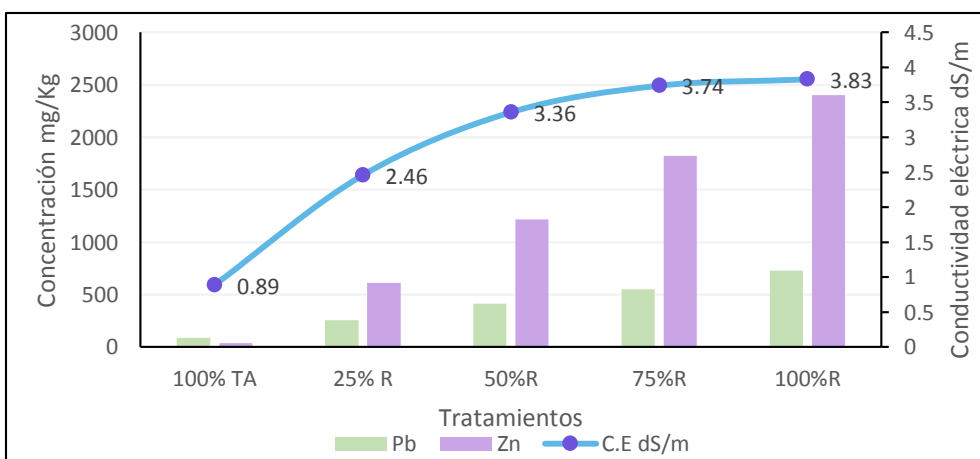


Gráfico 11: Metales totales de Pb y Zn vs conductividad eléctrica.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), es un indicador del potencial del suelo para retener e intercambiar nutrientes, los suelos con alta CIC suelen tener alto contenido de arcilla y/o materia orgánica, por lo que son considerados más fértiles. En la Tabla 11 se puede observar los niveles de cationes intercambiables; los cuales pueden ser reemplazados por otros cationes presentes en la solución suelo, estos están en unidades de mili equivalentes por 100 gramos (me/100gr); en la Tabla 11 y grafico 12 se observon que los valores más altos son para el 100% de tierra agrícola(100%TA), estos valores van disminuyendo en cada tratamiento; es así que el valor mínimo es del tratamiento de 100% de relave (100%R).

Tabla 11: Capacidad de intercambio catiónico en cada tratamiento.

Muestra	Ca +2 me/100gr	Mg +2 me/100gr	K+ me/100gr	Na + me/100gr	H + Al me/100gr	CIC me/100gr
100% TA	6.31	1.7	0.16	0.01	1.14	9.32
25% R	6.18	1.43	0.14	0.24	1.02	8.98
50%R	4.33	1.09	0.13	0.31	1.18	7.04
75%R	3.29	0.99	0.12	0.37	1.2	5.97
100%R	3.45	0.9	0.09	0.83	0.88	5.85

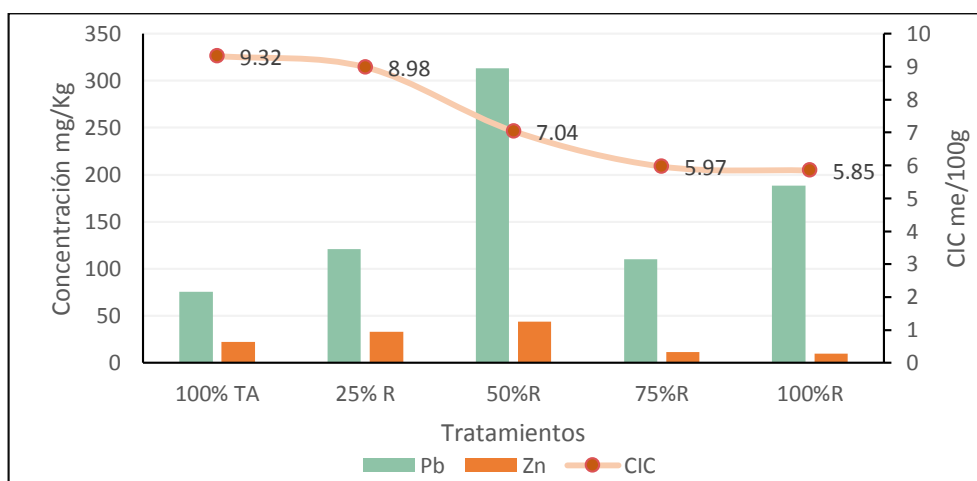


Gráfico 12: Biodisponibilidad vs CIC.

4.3.Desarrollo físico de las especies.

a) Altura.

El crecimiento para el *Chenopodium ambrosioides*, se empezó a medir a partir del día 35, en la Tabla 12 se puede apreciar los valores medidos cada 15 días, en ella podemos observar que las alturas más altas fueron del tratamiento de 100% tierra agrícola; y las alturas mínimas fueron del tratamiento 50%R.

Tabla 12: Altura de planta y longitud de raíces (cm), de *Chenopodium ambrosioides*

Tratamiento	Día 35	Día 50	Día 65	Día 80	Día 95	Día 110	Día 125	Día 145	Raíz	Total
Ca-100%ta-1	3	6	10	15.3	22.5	25.6	27	29.1	22	51.1
Ca-100%ta-2	3.1	5	9.5	16	26.5	28.1	29.3	30.5	16	46.5
Ca-100%ta-3	3.9	6	11	14	16	17.3	19.2	22.1	22.5	44.6
Promedio	3.3	5.7	10.2	15.1	21.7	23.7	25.2	27.2	20.2	47.4
Ca-25%r-1	0.7	3.1	6.4	8.7	10	12.9	16.3		15.1	31.4
Ca-25%r-2	0.5	3.3	6.9	8.8	11.1	13.9	17.7		17.2	34.9
Ca-25%r-3	1	3.5	7.5	9.9	12.1	14.9	18.3		18.1	36.4
Promedio	0.7	3.3	6.9	9.1	11.1	13.9	17.4		16.8	34.2
Ca-50%r-1	0.5	2.7	5.1	5.9	7	7.5	8.5		11	19.5
Ca-50%r-2	0.8	2.5	5	6.3	6.9	7.6	8.5		12.3	20.8
Ca-50%r-3	1	2.2	4.8	6.1	7.1	8.1	9.5		8	17.5
Promedio	0.8	2.5	5.0	6.1	7.0	7.7	8.8		10.4	19.3
Ca-75%r-1	0.6	3	5.1	6.7	8.8	9.1	11.8		12	23.8
Ca-75%r-2	1	2.5	4.7	7.7	8.3	10	10.5		12.5	23.0
Ca-75%r-3	0.8	2.8	4.5	5	5.2	5.8	6		10.5	16.5
Promedio	0.8	2.8	4.8	6.5	7.4	8.3	9.4		11.7	21.1
Ca-100%r-1	0.5	2.3	5.9	6.9	7.8	8.9	10.6		13.8	24.4
Ca-100%r-2	0.5	3	5.7	6.6	7.6	8.8	10.1		13.5	23.6
Ca-100%r-3	0.6	2	5.3	7.1	7.9	8.8	10.5		13.3	23.8
Promedio	0.5	2.4	5.6	6.9	7.8	8.8	10.4		13.5	23.9

En el gráfico 13, se presenta el comportamiento de los tratamientos, a través del tiempo, en centímetros, se puede observar que el tratamiento de 100%ta, es el que logra mayor crecimiento (27.2 cm la parte aérea); seguida por el tratamiento de 25%R, con el valor de 17.4 cm. El tratamiento de 100%R, 75%R y 50%R, tienen un comportamiento similar; siendo el menor de ellos el tratamiento de 50%R con 8.8 cm; podría explicarse a que en este tratamiento existe mayor biodisponibilidad.

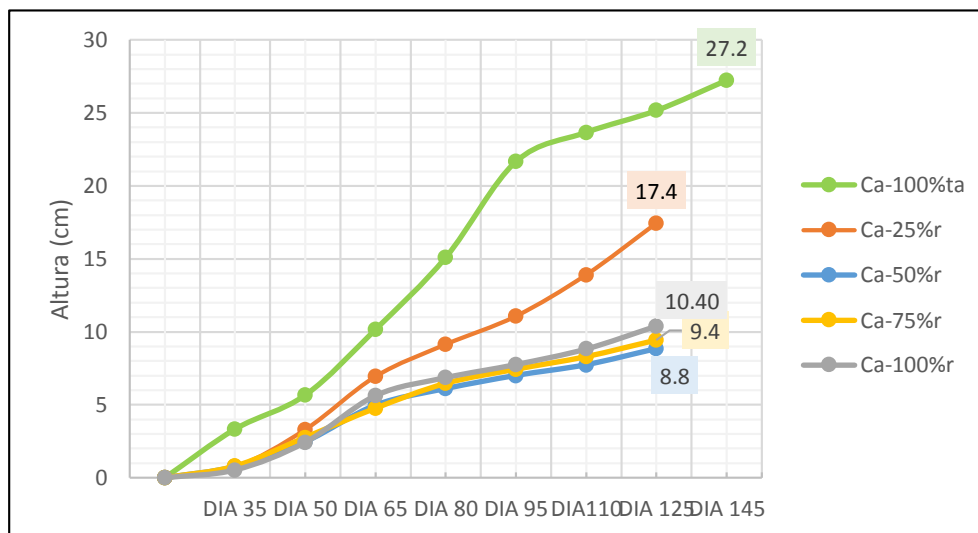


Gráfico 13: Crecimiento por tratamiento (cm) de *Chenopodium ambrosioides*

El promedio del tamaño total (parte aérea + raíz) para cada planta se muestra en el Gráfico 14. Se puede apreciar que el tamaño más pequeño le corresponde al tratamiento del 50%R, y el más grande al 100%TA.

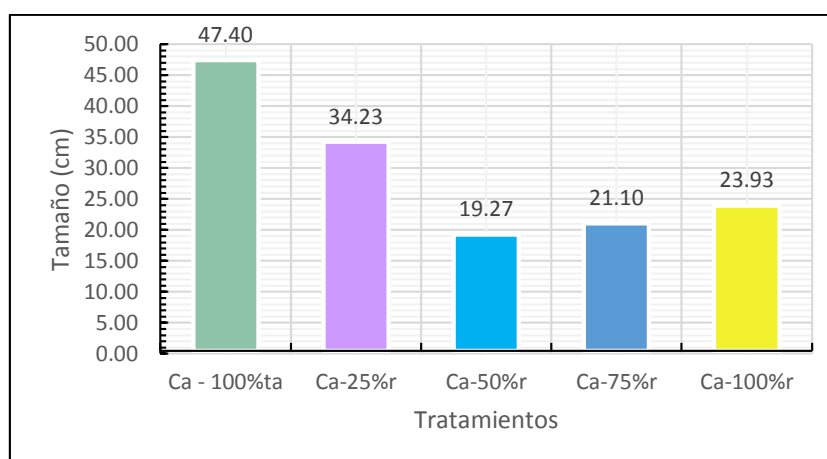


Gráfico 14: Tamaño final (cm) alcanzado por los tratamientos, *Chenopodium ambrosioides*.

El *Trifolium repens*, fue medido cada 15 días, obteniéndose los valores que se muestran en la Tabla 13.

Tabla 13: Altura de la planta y longitud de las raíces (cm) por tratamiento de *Trifolium repens*.

Tratamiento	Día 25	Día 40	Día 55	Día 70	Día 85	Día 100	Día 115	Día 130	Raíz
Tr - 100%ta-1	1.2	2.6	5	7	12	12.8	16.5	18.9	25
Tr - 100%ta-2	1.1	2.4	6	7	9	11.4	14	17.5	23
Tr - 100%ta-3	1.3	3.1	6	9.5	11.5	12.9	15.4	18.1	14
Promedio	1.2	2.7	5.7	7.8	10.8	12.4	15.3	18.2	20.7
Tr-25%r-1	0.7	1.5	3.3	4.9	5.8	6.5			9.8
Tr-25%r-2	0.8	1.6	3.5	4.7	5.1	5.5			9.9
Tr-25%r-3	0.7	1.4	3.2	5.3	5.7	6.5			10
Promedio	0.7	1.5	3.3	5.0	5.5	6.2			9.9
Tr-50%r-1	1	1.8	2.8	3.7	4.2	4.2			10
Tr-50%r-2	0.8	1.4	2.5	3.3	3.6	4.5			9.5
Tr-50%r-3	0.8	1.3	2.3	3.1	3.8	4.8			9
Promedio	0.9	1.5	2.5	3.4	3.9	4.5			9.5
Tr-75%r-1	0.9	1.6	2.9	3.6	4.9	5.5			9.5
Tr-75%r-2	1.1	2	3.1	4.1	5	5.5			9.5
Tr-75%r-3	1	1.7	3	3.8	4.1	4.6			9.2
Promedio	1.0	1.8	3.0	3.8	4.7	5.2			9.4
Tr-100%r-1	1.1	2.2	4.7	6.1	6.6	8			13.2
Tr-100%r-2	1.3	2.5	5.1	6.5	9.3	9.8			14.2
Tr-100%r-3	1.1	2.3	4.2	6.1	6.8	7.2			10.5
Promedio	1.2	2.3	4.7	6.2	7.6	8.3			12.6

En el Gráfico 15, se presenta el comportamiento de cada uno de los tratamientos en cuanto a su crecimiento; se observa que el 100%ta obtuvo los mayores valores con un promedio de 18.2 cm; en seguida el tratamiento 100%r, con 8.3 cm; el tratamiento 25%r con 6.2 cm; en penúltimo lugar se encuentra el tratamiento 75% con 5.2 cm. Finalmente, se encuentra el tratamiento de 50%r con un valor de 4.5.

Los tratamientos 25%r, 50%r y 75%r presentan un comportamiento similar en cuanto a su crecimiento; debe tenerse en cuenta que uno de los efectos en las plantas por la acumulación de metales pesados es la disminución del crecimiento, tal como ocurre en estos tratamientos.

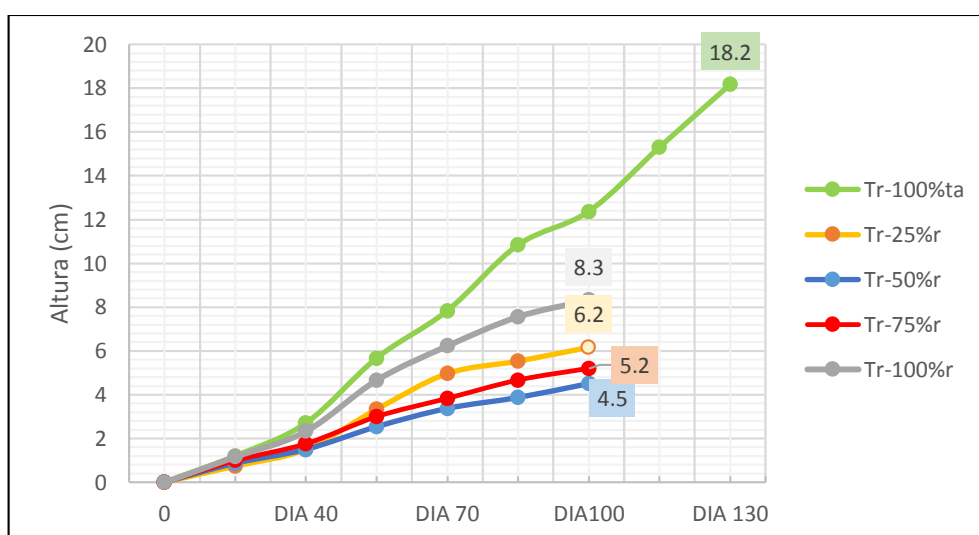


Gráfico 15: Crecimiento (cm) por tratamiento de *Trifolium repens*.

El tamaño final para el *Trifolium repens* (parte aérea + raíz), se muestra en el Gráfico 16; con un valor mínimo en el tratamiento de 50%r, y el máximo al 100%ta.

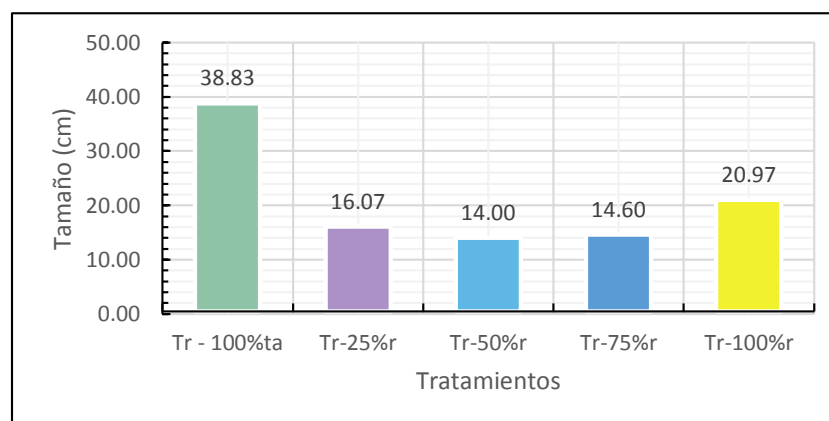


Gráfico 16: Tamaño final (cm) alcanzado por los tratamientos. *Trifolium repens*.

b) Biomasa

Los valores de biomasa fresca y seca para *Chenopodium ambrosioides*, se presenta en la Tabla 14, tanto para la parte aérea y raíz.

Tabla 14: Biomasa, *Chenopodium ambrosioides*.

Tratamiento	Peso fresco (gr)			Peso seco (gr)		
	Parte aérea	Raíz	Total	Parte aérea	Raíz	Total
Ca-100%ta-1	22.638	13.392	36.030	5.390	3.720	9.110
Ca-100%ta-2	12.348	8.532	20.880	2.940	2.370	5.310
Ca-100%ta-3	16.380	9.972	26.352	3.900	2.770	6.670
Promedio	17.122	10.632	27.754	4.077	2.953	7.030
Ca-25%r-1	4.704	4.191	8.895	3.096	1.292	4.388
Ca-25%r-2	5.833	4.956	10.789	1.264	1.392	2.655
Ca-25%r-3	5.382	4.771	10.153	0.951	1.051	2.002
Promedio	5.306	4.639	9.946	1.770	1.245	3.015
Ca-50%r-1	1.204	0.312	1.516	0.185	0.170	0.355
Ca-50%r-2	1.161	0.369	1.531	0.369	0.213	0.582
Ca-50%r-3	1.310	0.352	1.662	0.454	0.199	0.653
Promedio	1.225	0.345	1.570	0.336	0.194	0.530
Ca-75%r-1	0.795	0.667	1.463	0.920	0.440	1.360
Ca-75%r-2	1.510	0.980	2.490	1.033	0.483	1.516
Ca-75%r-3	1.620	0.937	2.557	1.085	0.511	1.596
Promedio	1.308	0.861	2.170	1.013	0.478	1.491
Ca-100%r-1	1.879	0.996	2.875	1.065	0.412	1.477
Ca-100%r-2	1.889	1.221	3.110	1.108	0.454	1.562
Ca-100%r-3	1.934	1.335	3.268	1.122	0.497	1.619
Promedio	1.900	1.184	3.084	1.098	0.454	1.553

En el Gráfico 17 se presenta los promedios, por tratamiento, de biomasa seca en gramos para el *Chenopodium ambrosioides*, se puede observar que el tratamiento 50%r tiene el menor valor (0.53 gr), en comparación con los otros tratamientos.

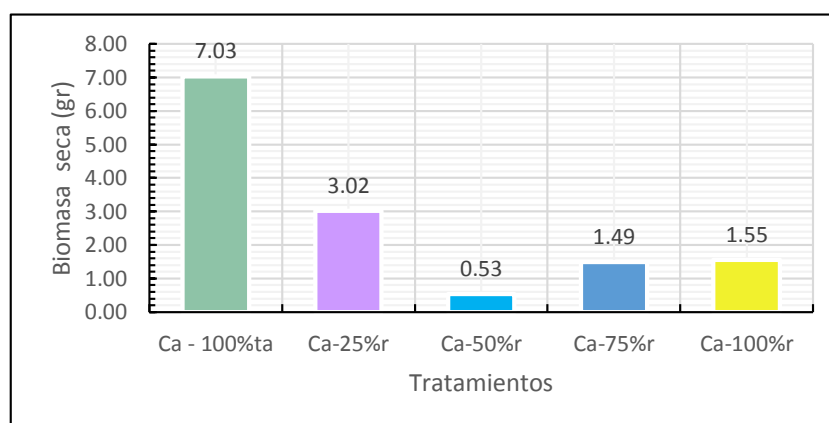


Gráfico 17: Biomasa seca *Chenopodium Ambrosioides*.

La biomasa en gramos, para el *Trifolium repens* se presentan en la Tabla 15, se tienen los valores para la parte aérea y raíz; tanto fresco como seco.

Tabla 15: Biomasa, *Trifolium Repens*.

Tratamiento	Peso fresco (gr)			Peso seco (gr)		Total
	Parte aérea	Raíz	Total	Parte aérea	Raíz	
Tr- 100%ta-1	31.136	9.168	40.304	11.120	5.730	16.850
Tr- 100%ta-2	28.812	6.512	35.324	10.290	4.070	14.360
Tr- 100%ta-3	24.640	6.560	31.200	8.800	4.100	12.900
Promedio	28.196	7.413	35.609	10.070	4.633	14.703
Tr-25%r-1	4.592	5.244	9.836	2.040	0.804	2.844
Tr-25%r-2	3.540	4.848	8.388	1.500	0.924	2.424
Tr-25%r-3	7.366	6.712	14.078	2.028	0.720	2.748
Promedio	5.166	5.601	10.767	1.856	0.816	2.672
Tr-50%r-1	1.332	0.156	1.488	0.240	0.156	0.396
Tr-50%r-2	2.316	1.980	4.296	0.528	0.492	1.020
Tr-50%r-3	3.012	3.264	6.276	0.600	0.192	0.792
Promedio	2.220	1.800	4.020	0.456	0.280	0.736
Tr-75%r-1	3.468	6.312	9.780	0.828	0.720	1.548
Tr-75%r-2	3.492	5.136	8.628	0.924	0.516	1.440
Tr-75%r-3	2.124	4.020	6.144	0.600	0.192	0.792
Promedio	3.028	5.156	8.184	0.784	0.476	1.260
Tr-100%r-1	7.116	5.496	12.612	2.280	0.768	3.048
Tr-100%r-2	8.472	5.508	13.980	2.148	1.068	3.216
Tr-100%r-3	6.420	4.272	10.692	2.496	0.600	3.096
Promedio	7.336	5.092	12.428	2.308	0.812	3.120

Los promedios de biomasa seca en gramos por tratamiento, de *Trifolium repens*, se pueden apreciar en el gráfico 18. El tratamiento de 100%r, tiene una biomasa de 3.12 gr, y es el que más se aproxima al tratamiento control de 100%ta.

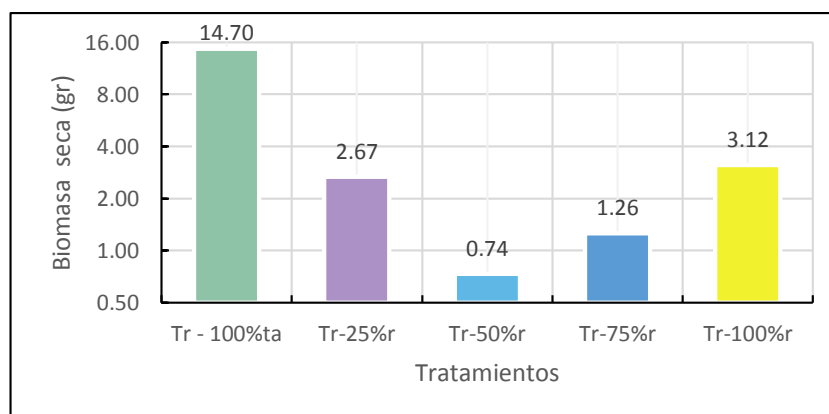


Gráfico 18: Biomasa seca. *Trifolium repens*

La biomasa seca más baja en ambas especies, se da en el tratamiento de 50%r, de acuerdo a los análisis de biodisponibilidad realizados, se encontró que existe mayor biodisponibilidad de zinc con 44.1 mg/kg y para plomo 313.4 mg/kg para este tratamiento, Huanget, Chen, Berti, & Cunningham, (1997), el alto contenido en plomo induce a una variedad de respuestas al estrés en plantas, incluyendo la producción de biomasa reducido, disminución de la capacidad fotosintética y las variaciones anatómicas.

c) Área foliar

El área foliar fue medido en centímetros cuadrados (cm²); para el *Chenopodium ambrosioides* los datos se muestran en la Tabla 16. Estos datos fueron representados en un gráfico circular (Gráfico 19), en el que se puede observar que el tratamiento de 25%r, tiene un valor de 183.92 cm², siendo así el máximo valor alcanzado por las muestras con alto contenido de metales pesados; el tratamiento con valores mínimos le corresponde al 100%r con 37.76 cm².

Tabla 16: Área foliar (cm²). *Chenopodium ambrosioides*.

	Ca - 100%ta	Ca-25%r	Ca-50%r	Ca-75%r	Ca-100%r
1	697.66	206.12	37.11	24.51	57.91
2	380.54	179.77	35.79	46.54	58.20
3	504.80	165.86	40.37	49.93	59.59
Promedio	527.67	183.92	37.76	40.32	58.57

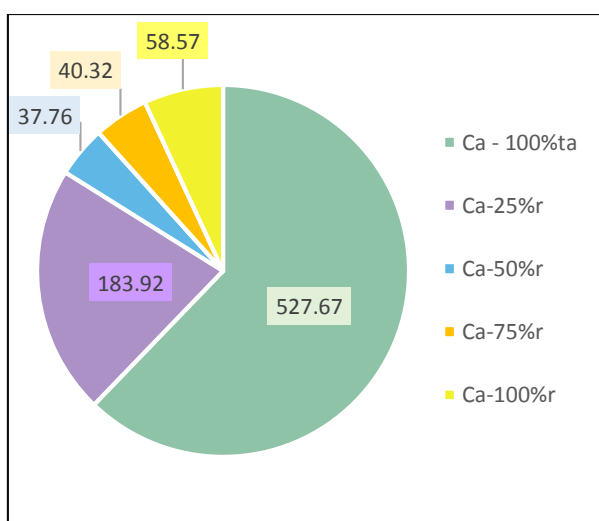


Gráfico 19: Área foliar (cm²). *Chenopodium ambrosioides*.

El área foliar en centímetros cuadrados, del *Trifolium repens*, para cada tratamiento se adjuntan en la Tabla 17; los promedios de estos datos se representan en un gráfico circular (Gráfico 20), el valor más bajo es para el

tratamiento de 50%r; el más alto, con contenido de metales pesados, es el tratamiento 100%r con 353.13 cm².

Tabla 17: Área foliar (cm²). *Trifolium repens*.

	Tr - 100%ta	Tr-25%r	Tr-50%r	Tr-75%r	Tr-100%r
1	1409.73	265.72	64.12	166.94	342.54
2	1237.81	170.40	111.49	168.09	407.82
3	1186.10	281.31	144.99	102.24	309.04
Promedio	1277.88	239.14	106.86	145.76	353.13

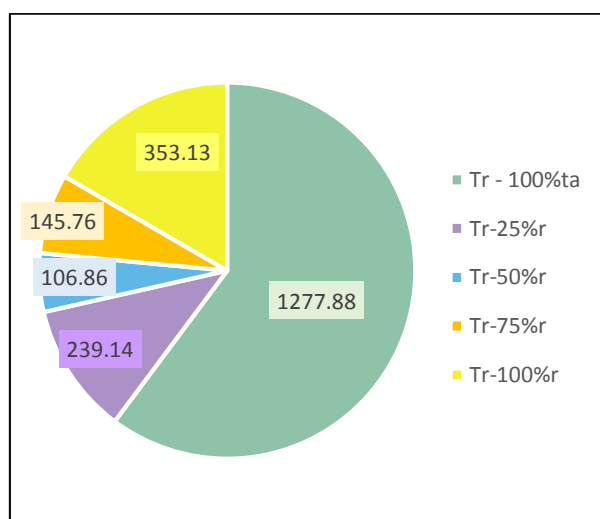


Gráfico 20: Área foliar (cm²). *Trifolium repens*.

4.4. Concentración de zinc y plomo, en la parte aérea y raíz de las especies; y comparación de mezclas más eficientes.

a) *Chenopodium ambrosioides*.

Las concentraciones de zinc y plomo para el *Chenopodium ambrosioides*, se presentan en la Tabla 18, en este se puede observar todos los tratamientos con sus repeticiones; estos resultados fueron sometidos a la prueba estadística de ANOVA y posteriormente Tukey (Anexo 5).

Tabla 18:Concentraciones de Zinc y Plomo, en la parte aérea y raíz. *Chenopodium ambrosioides*.

MUESTRA	PARTE AEREA		RAIZ	
	Plomo total mg/Kg Pb	Zinc total mg/Kg Zn	Plomo total mg/Kg Pb	Zinc total mg/Kg Zn
Ca - 100%ta-1	88.65	70.19	95.91	69.35
Ca - 100%ta-2	106.35	58.73	108.56	75.52
Ca - 100%ta-3	86.44	57.96	118.97	88.01
Promedio	93.81	62.29	107.81	77.63
Ca-25%r-1	166.82	337.88	126.03	320.63
Ca-25%r-2	274.39	318.51	126.27	392.83
Ca-25%r-3	65.15	313.93	133.53	400.59
Promedio	168.79	323.44	128.61	371.35
Ca-50%r-1	105.07	145.22	107.32	131.35
Ca-50%r-2	112.07	144.83	143.14	125.49
Ca-50%r-3	120.69	146.55	128.30	226.42
Promedio	112.61	145.53	126.25	161.09
Ca-75%r-1	98.98	124.48	296.26	204.58
Ca-75%r-2	112.50	146.67	309.43	226.42
Ca-75%r-3	86.67	102.78	330.00	180.00
Promedio	99.38	124.64	311.90	203.67
Ca-100%r-1	273.56	65.35	478.41	120.81
Ca-100%r-2	474.36	125.64	634.78	295.65
Ca-100%r-3	508.71	66.03	828.94	196.08
Promedio	418.88	85.67	647.38	204.18

Plomo

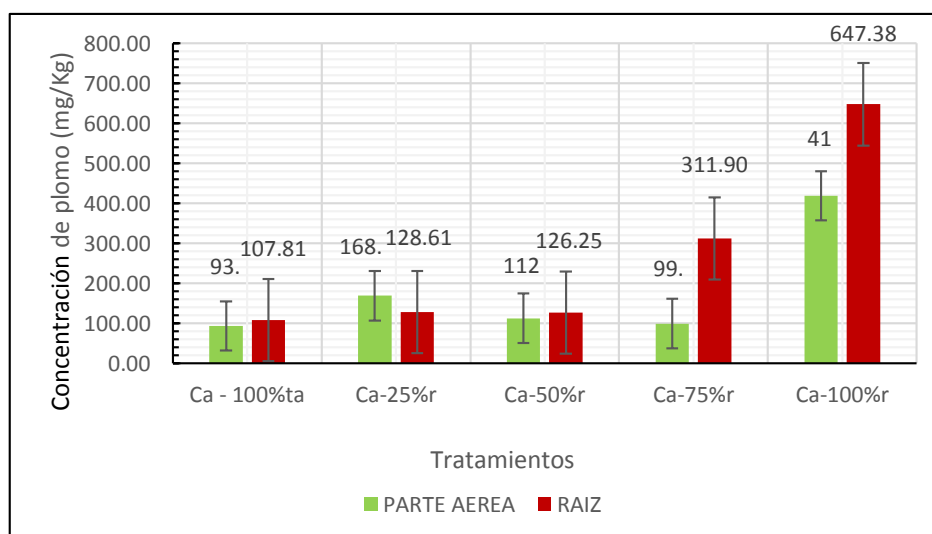


Gráfico 21:Concentraciones de Plomo, en la parte aérea y raíz. *Chenopodium ambrosioides*.

En el Gráfico 21 se representa los promedios de las concentraciones de plomo, en la parte aérea y raíz, del *Chenopodium ambrosioides*, se les aplicó la prueba estadística ANOVA con un 95% de confianza, para la parte aérea y raíz por separado.

La parte aérea tiene un F de 10.34 y el valor crítico para F de 3.47 (Tabla 19); siendo el primero mayor que el segundo se afirma que existe diferencia entre las medias de los tratamientos; para hallar las diferencias honestamente significante entre los tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey, resultando un valor de 198.84, tal como se muestra en la Tabla 19; con estos resultados podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre los tratamientos de 100%r con 100%ta, 25%r, 50%r, 75%r. Por lo tanto, los tratamientos 100%ta, 25%r, 50%r y 75%r son iguales estadísticamente.

Tabla 19: ANOVA, *Chenopodium ambrosioides*, plomo parte aérea.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	226943.62	4	56735.90			
Dentro de los grupos	54856.31	10	5485.63	10.34	0.0014	3.48

Tabla 20: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la parte aérea de *Chenopodium ambrosioides*.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 100%R	3 y 3	198.84	325.06	*
75%R - 100%R	3 y 3	198.84	319.49	*
50%R - 100%R	3 y 3	198.84	306.27	*
25%R - 100%R	3 y 3	198.84	250.09	*
100% TA - 25%R	3 y 3	198.84	74.97	n.s
25%R - 75%R	3 y 3	198.84	69.4	n.s
25%R - 50%R	3 y 3	198.84	56.18	n.s
100% TA - 50%R	3 y 3	198.84	18.8	n.s
50%R - 75%R	3 y 3	198.84	13.23	n.s
100% TA - 75%R	3 y 3	198.84	5.57	n.s

En la raíz la extracción de plomo para el *Chenopodium ambrosioides*, fueron sometidas a la prueba estadística de ANOVA, donde el F es mayor al valor crítico para F (Tabla 21), por ello se aplicó la prueba de Tukey; cuya diferencia honestamente significante es de 213.43. Existe diferencia entre los tratamientos de 100%r con 100%ta, 25%r, 50%r y 75%r; por lo tanto, los tratamientos de 100%ta, 25%r, 50%r, 75%r son estadísticamente iguales, esto quiere decir, que estos tratamientos, estadísticamente, extraen las mismas concentraciones de plomo.

Tabla 21: ANOVA, *Chenopodium ambrosioides*, plomo raíz.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	632909.61	4	158227.40	25.03	0.000034	3.48
Dentro de los grupos	63202.85	10	6320.29			

Tabla 22: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la raíz de *Chenopodium Ambrosioides*.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 100%R	3 y 3	213.43	539.56	*
50%R - 100%R	3 y 3	213.43	521.12	*
25%R - 100%R	3 y 3	213.43	518.77	*
75%R - 100%R	3 y 3	213.43	335.48	*
100% TA - 75%R	3 y 3	213.43	204.08	n.s
50%R - 75%R	3 y 3	213.43	185.64	n.s
25%R - 75%R	3 y 3	213.43	183.29	n.s
100% TA - 25%R	3 y 3	213.43	20.8	n.s
100% TA - 50%R	3 y 3	213.43	18.44	n.s
25%R - 50%R	3 y 3	213.43	2.36	n.s

Zinc

El promedio de las concentraciones de zinc de *Chenopodium ambrosioides*, en la parte aérea y raíz se representan en el Gráfico 22. Estos datos fueron analizados por la prueba estadística ANOVA al 95% y Tukey por separado, como se presenta más adelante.

La parte aérea tiene un F de 79.24 y un valor crítico para F de 3.48 (Tabla 23), por lo que se afirma que existe diferencia entre las medias, para hallar esta diferencia honestamente significativa aplicamos Tukey (Tabla 24) y resulta un valor de 54.70. Se halló que, el tratamiento de 25%r con 100%ta, 50%r, 75%r, 100%r tienen una diferencia significativa, así mismo el tratamiento 100%ta son diferentes con el tratamiento 50%r.

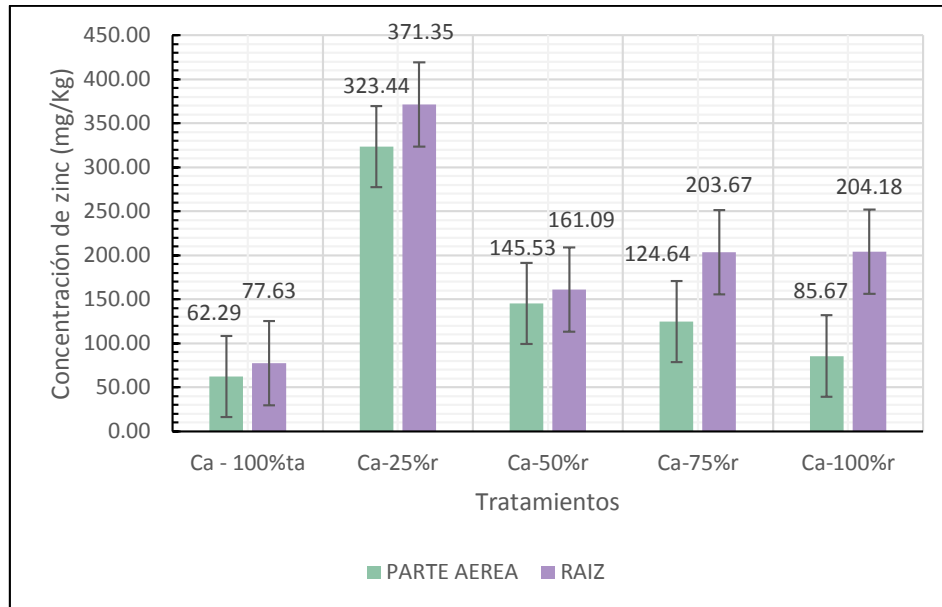


Gráfico 22: Concentraciones de Zinc, en la parte aérea y raíz. *Chenopodium ambrosioides*.

Tabla 23: ANOVA, *Chenopodium ambrosioides*, zinc parte aérea.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	131586.09	4	32896.52			
Dentro de los grupos	4151.74	10	415.17	79.24	0.00000016	3.48

Tabla 24: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la parte aérea de *Chenopodium ambrosioides*.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 25%R	3 y 3	54.7	261.15	*
25%R - 100%R	3 y 3	54.7	237.77	*
25%R - 75%R	3 y 3	54.7	215.56	*
25%R - 50%R	3 y 3	54.7	197.45	*
100% TA - 50%R	3 y 3	54.7	63.7	*
100% TA - 75%R	3 y 3	54.7	45.59	n.s
50%R - 100%R	3 y 3	54.7	40.32	n.s
100% TA - 100%R	3 y 3	54.7	23.38	n.s
75%R - 100%R	3 y 3	54.7	22.21	n.s
50%R - 75%R	3 y 3	54.7	18.11	n.s

Las concentraciones de zinc en la raíz, presentan un F de 12.75 y un valor crítico para F de 3.48 (Tabla 25), por lo que se afirma que al menos una media es diferente; luego de ello se aplicó Tukey encontrándose una diferencia honestamente significativa de 137.37 (Tabla 26), lo que indica que el tratamiento 25%r con 100%ta, 50%r, 75%r y 100%r, son estadísticamente diferentes, y los tratamientos 100%ta, 50%r, 75%r y 100%r son iguales, es decir, extraen las mismas concentraciones de zinc en la raíz.

Tabla 25: ANOVA, *Chenopodium ambrosioides*, zinc raíz.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 25%R	3 y 3	139.37	293.72	*
25%R - 50%R	3 y 3	139.37	210.26	*
25%R - 75%R	3 y 3	139.37	167.68	*
25%R - 100%R	3 y 3	139.37	167.17	*
100% TA - 100%R	3 y 3	139.37	126.55	n.s
100% TA - 75%R	3 y 3	139.37	126.04	n.s
100% TA - 50%R	3 y 3	139.37	83.46	n.s
50%R - 100%R	3 y 3	139.37	43.09	n.s
50%R - 75%R	3 y 3	139.37	42.58	n.s
75%R - 100%R	3 y 3	139.37	0.51	n.s

Tabla 26: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la raíz de *Chenopodium ambrosioides*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	137451.20	4	34362.80	12.75	0.00061	3.48
Dentro de los grupos	26951.07	10	2695.11			

b) *Trifolium repens*.

Las concentraciones de zinc y plomo se presentan en la Tabla 27, tanto para la parte aérea y raíz, estos valores fueron analizados con la prueba estadística de ANOVA al 95% de confianza y Tukey. (Anexo 6).

Tabla 27:Concentraciones de Zinc y Plomo, en la parte aérea y raíz. *Trifolium repens*.

MUESTRA	PARTE AEREA		RAIZ	
	Plomo total mg/Kg Pb	Zinc total mg/Kg Zn	Plomo total mg/Kg Pb	Zinc total 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
Promedio	216.06	69.34	271.48	80.09
Tr-25%r-1	792.14	244.19	358.76	80.20
Tr-25%r-2	500.71	265.95	372.96	68.29
Tr-25%r-3	604.50	250.04	424.02	133.67
Promedio	632.45	253.39	385.25	94.05
Tr-50%r-1	657.43	343.42	680.15	92.43
Tr-50%r-2	734.00	400.00	882.35	111.76
Tr-50%r-3	742.22	353.33	905.66	100.00
Promedio	711.22	365.58	822.72	101.40
Tr-75%r-1	602.35	646.57	260.46	491.86
Tr-75%r-2	635.27	793.47	328.31	715.87
Tr-75%r-3	850.27	668.85	560.35	569.03
Promedio	695.96	702.96	383.04	592.25
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
Promedio	706.87	218.73	658.66	461.96

Plomo

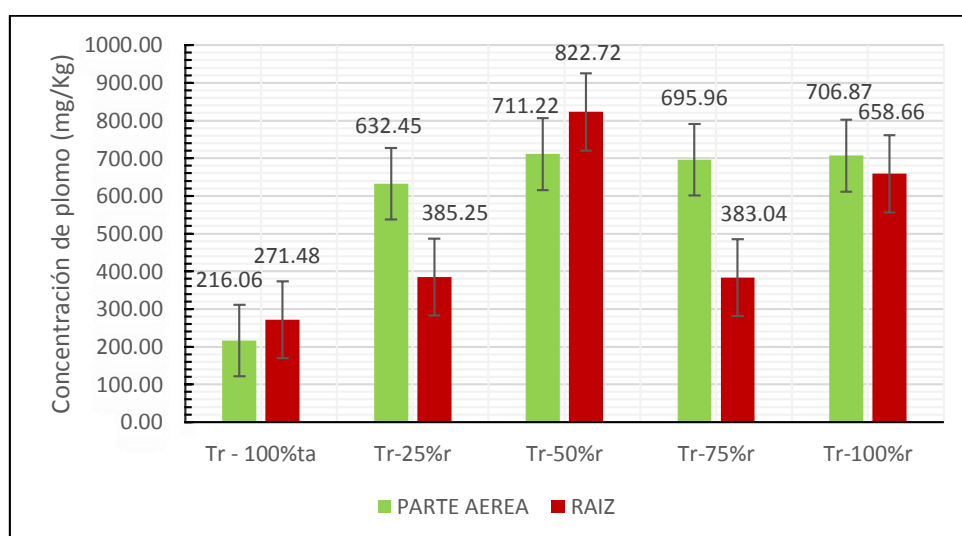


Gráfico 23: Concentraciones de Plomo, en la parte aérea y raíz. *Trifolium Repens*.

La parte aérea presentó un F de 13.56 y un valor crítico para F de 3.48, afirmándose que existe diferencia entre las medias; por lo cual se aplicó Tukey (Tabla 29), el cual nos indica que existe una diferencia significativa entre el tratamiento 100%ta con 25%r, 50%%r, 75%r y 100%r; lo que deja por defecto que los tratamientos 25%r, 50%r, 75%r y 100%r son estadísticamente iguales.

Tabla 28: ANOVA, *Trifolium repens*, plomo parte aérea.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	543550.88	4	135887.72			
Dentro de los grupos	100219.16	10	10021.92	13.56	0.00047743	3.48

Tabla 29: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la parte aérea de *Trifolium Repens*.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 50%R	3 y 3	268.76	495.16	*
100% TA - 100%R	3 y 3	268.76	490.81	*
100% TA - 75%R	3 y 3	268.76	479.91	*
100% TA - 25%R	3 y 3	268.76	416.39	*
25%R - 50%R	3 y 3	268.76	78.77	n.s
25%R - 100%R	3 y 3	268.76	74.42	n.s
25%R - 75%R	3 y 3	268.76	63.51	n.s
50%R - 75%R	3 y 3	268.76	15.25	n.s
75%R - 100%R	3 y 3	268.76	10.9	n.s
50%R - 100%R	3 y 3	268.76	4.35	n.s

Las concentraciones de los tratamientos, en la raíz presentan un F de 6.24 y un valor crítico para F de 3.48; indicando que existe diferencia entre las medias. Luego se aplicó Tukey, obteniéndose que existe una diferencia significativa entre el tratamiento 100%ta con 50%r; 50%r con 25%r y 75%R.

Tabla 30: ANOVA, *Trifolium repens*, plomo raíz.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	624911.10	4	156227.77			
Dentro de los grupos	250288.85	10	25028.88	6.24	0.00874173	3.48

Tabla 31: Prueba de Tukey para las concentraciones de plomo en la raíz de *Trifolium repens*.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 50%R	3 y 3	424.73	551.24	*
50%R - 75%R	3 y 3	424.73	439.68	*
25%R - 50%R	3 y 3	424.73	437.47	*
100% TA - 100%R	3 y 3	424.73	387.19	n.s
75%R - 100%R	3 y 3	424.73	275.62	n.s
25%R - 100%R	3 y 3	424.73	273.42	n.s
50%R - 100%R	3 y 3	424.73	164.06	n.s
100% TA - 25%R	3 y 3	424.73	113.77	n.s
100% TA - 75%R	3 y 3	424.73	111.56	n.s
25%R - 75%R	3 y 3	424.73	2.21	n.s

Zinc

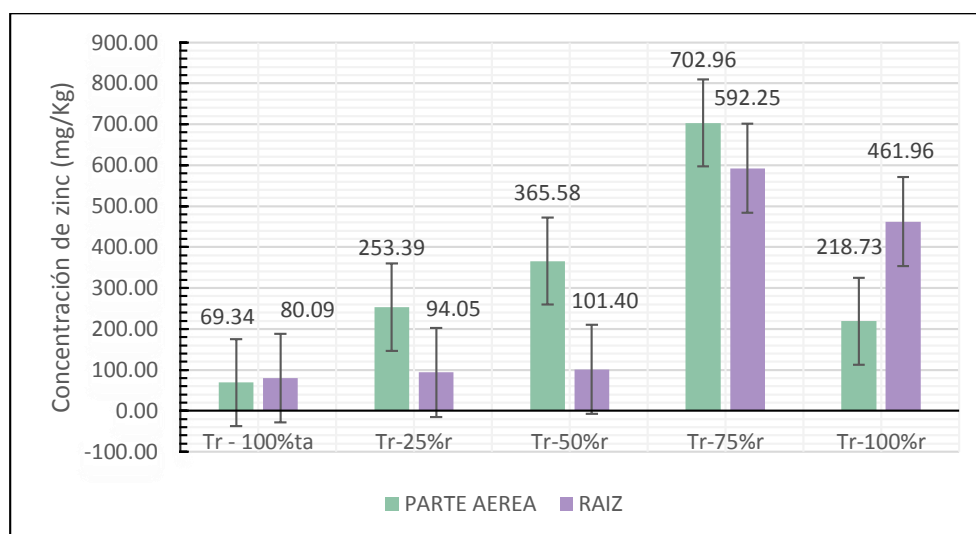


Gráfico 24: Concentraciones de Zinc, en la parte aérea y raíz. *Trifolium repens*.

La parte aérea, para el zinc, presento un F de 45.01 mayor al valor crítico para F de 3.48; por lo que se aplicó Tukey, en el que podemos observar que el tratamiento 100%ta con 50%r y 75%r, presentan una diferencia significativa; mientras el 25%r con 50%r y 75%r; el 100%r con 50%r y 75%r también presentan una diferencia significativa.

Tabla 32: ANOVA, *Trifolium repens*, zinc parte aérea..

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	1042842.74	4	260710.68			
Dentro de los grupos	57921.44	10	5792.14	45.01	0.0000023	3.48

Tabla 33: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la parte aérea de *Trifolium repens*.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 50%R	3 y 3	204.32	641.88	*
100% TA - 75%R	3 y 3	204.32	626.63	*
50%R - 100%R	3 y 3	204.32	492.49	*
75%R - 100%R	3 y 3	204.32	477.24	*
25%R - 50%R	3 y 3	204.32	457.82	*
25%R - 75%R	3 y 3	204.32	442.57	*
100% TA - 25%R	3 y 3	204.32	184.06	n.s
100% TA - 100%R	3 y 3	204.32	149.39	n.s
25%R - 100%R	3 y 3	204.32	34.67	n.s
50%R - 75%R	3 y 3	204.32	15.25	n.s

Las concentraciones de zinc en la raíz, tienen un F de 9.65 mayor al valor crítico para F de 3.48 (Tabla 34); por lo que aplicamos Tukey (Tabla 35), obteniendo que el tratamiento 75%r con 100%ta, 25%r, y 50%r presentan una diferencia significativa. No obstante, el tratamiento 100%r con 100%ta y 25%r, también presentan una diferencia significativa.

Tabla 34: ANOVA, *Trifolium repens*, zinc parte aérea.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	708191.97	4	177047.99			
Dentro de los grupos	183562.90	10	18356.29	9.65	0.0018	3.48

Tabla 35: Prueba de Tukey para las concentraciones de zinc en la raíz de *Trifolium repens*.

Tratamientos Comparados	Repeticiones	HDS	$ \bar{Y}_i - \bar{Y}_j $	Significancia
100% TA - 75%R	3 y 3	363.73	512.16	*
25%R - 75%R	3 y 3	363.73	498.2	*
50%R - 75%R	3 y 3	363.73	490.86	*
100% TA - 100%R	3 y 3	363.73	381.87	*
25%R - 100%R	3 y 3	363.73	367.91	*
50%R - 100%R	3 y 3	363.73	360.56	n.s
75%R - 100%R	3 y 3	363.73	130.29	n.s
100% TA - 50%R	3 y 3	363.73	21.31	n.s
100% TA - 25%R	3 y 3	363.73	13.96	n.s
25%R - 50%R	3 y 3	363.73	7.34	n.s

Las concentraciones de plomo más altas presentes en el *Chenopodium ambrosioides* fue en el tratamiento de 100%r con 418.00 y 647.38 mg/kg para la parte aérea y raíz, respectivamente, presentando diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos; en el caso del *Trifolium repens* el contenido de plomo más alto fue en el tratamiento de 50%r, con valores de 711.22 y 822.71 mg/kg, para la

parte aérea y raíz, respectivamente; sin embargo la biomasa seca en este tratamiento fue el menor, con un valor de 0.74 gramos, esto se puede explicar por la alta disponibilidad y absorción del metal en este tratamiento lo que la biomasa se reduzca considerablemente.

El zinc presente en el *Chenopodium ambrosioides*, en mayor concentración, fue en el tratamiento 25%r con un valor de 323.44 y 371.35mg/kg en la parte aérea y raíz respectivamente. El *Trifolium repens*, presentó la concentración más alta de zinc en el tratamiento 75%r con un valor de 702.96 mg/kg para la parte aérea y 592.25 mg/kg en la raíz.

Por otro lado, según la EPA, (2000), las especies de plantas ideales para la fitoextracción deberían tener cualquiera de las siguientes combinaciones a) una planta baja de biomasa con una alta capacidad de acumulación de metal, o b) una planta de biomasa alta con potencial de absorción de metal. En el presente estudio ambas especies presentan biomásas muy por debajo al control de 100%ta tal como se observa en el anexo 7; sin embargo, las concentraciones, principalmente de plomo son elevadas; convirtiendo a la especie de *Trifolium repens* en apta para la fitoextracción de plomo.

4.5.Comparación de las concentraciones extraídas de zinc y plomo por ambas especies.

4.5.1. Zinc

Las concentraciones de zinc presentes en el *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*, fueron analizadas con la prueba estadística de t student para la parte aérea y raíz respectivamente. Con un 95% de confianza y $\alpha = 0.05$. Se obtuvo que el P valor para la parte aérea es de 0.010, lo que indica que existe una diferencia significativa entre las concentraciones de zinc presentes en la parte aérea del *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*. Sin embargo, el P valor para la raíz es de 0.39 (Tabla 37), mucho mayor al α , es decir, no existe diferencia significativa entre las concentraciones de zinc presentes en la raíz del *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*.

Tabla 36: Promedio concentración de zinc en *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*.

	<i>Trifolium. R</i> mg/Kg Zn (Tr)	<i>Chenopodium. A</i> mg/Kg Zn (Tr)
Parte Aérea	322.00	148.32
Raíz	265.95	203.58

Tabla 37: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, parte aérea y raíz. de zinc. *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*.

	Parte aérea		Raíz	
	mg/Kg Zn (Tr)	mg/Kg Zn (Ca)	mg/Kg Zn (Tr)	mg/Kg Zn (Ca)
Media	322.00	148.32	265.95	203.58
Varianza	50741.60	9389.99	63696.78	11743.02
Observaciones	15	15	15	15
Varianza agrupada	30065.80		37719.90	
Estadístico t	2.74		0.88	
P(T<=t) dos colas	0.01		0.39	
Valor crítico de t (dos colas)	2.05		2.05	

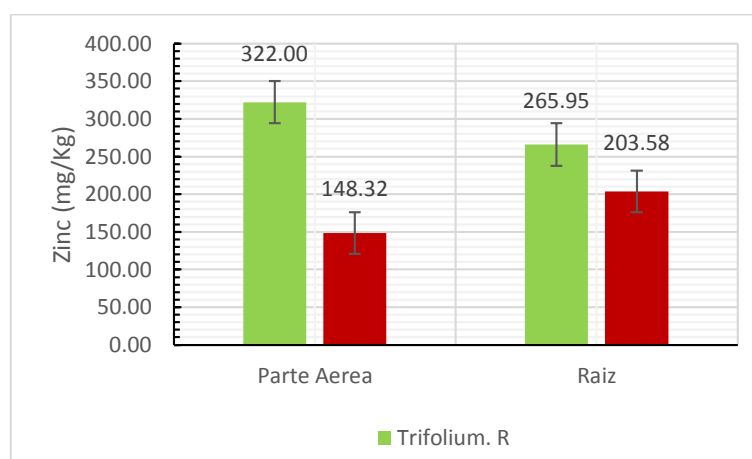


Gráfico 25: Concentración de zinc para *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*.

En el Gráfico 25, se observa los promedios de las concentraciones de zinc para la parte aérea y raíz, del *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*; se puede apreciar que el *Trifolium repens* extrae concentraciones mayores de zinc en la parte aérea. Sin embargo, las concentraciones de zinc presentes en la raíz de ambas especies son estadísticamente iguales.

4.5.2. Plomo

Para el análisis de las diferencias de concentraciones de plomo entre las especies de *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*, se aplicó la prueba estadística t student, 95% de confianza con $\alpha = 0.05$; para la parte aérea y raíz por separado, obteniéndose que en la parte aérea se tiene un P valor de 0.0000010 y para la raíz 0.0098 (Tabla 39); estos valores son menores al α , por lo que se afirma que existen diferencias significativas entre la parte aérea del *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*; así como en la raíz, para el plomo.

Tabla 38: Promedio concentración de plomo en *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*.

	<i>Trifolium. R</i> mg/Kg Pb (Tr)	<i>Chenopodium. A</i> mg/Kg Pb (Ca)
Parte Aérea	592.51	178.69
Raíz	549.79	220.16

Tabla 39: Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales, parte aérea y raíz., de Plomo. *Trifolium Repens* y *Chenopodium ambrosioides*.

	Parte aérea		Raíz	
	mg/Kg Pb (Tr)	mg/Kg Pb (Ca)	mg/Kg Pb (Tr)	mg/Kg Pb (Ca)
Media	592.51	178.69	504.23	264.39
Varianza	45983.57	20128.57	62514.28	49722.32
Observaciones	15	15	15	15
Varianza agrupada	33056.07		56118.30	
Estadístico t	6.23		2.77	
P(T<=t) dos colas	0.0000010		0.0098	
Valor crítico de t (dos colas)	2.05		2.05	

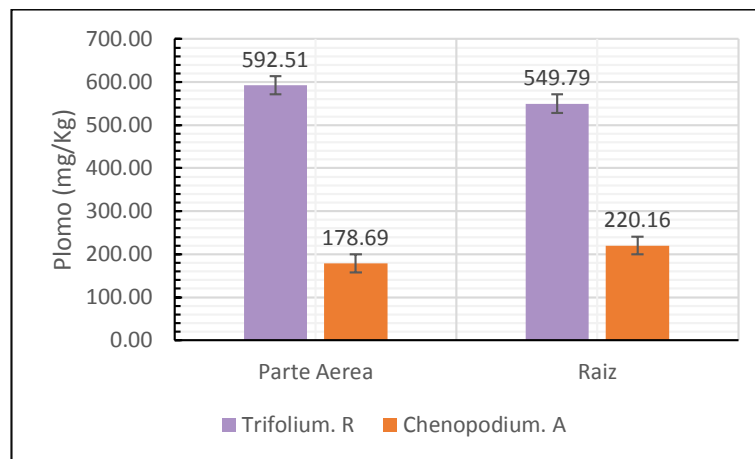


Gráfico 26: Concentración de plomo para *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*.

En el Gráfico 26 se observa los promedios de las concentraciones de plomo en la parte aérea y raíz, para el *Trifolium repens* y *Chenopodium ambrosioides*. En este Gráfico se puede apreciar que el *Trifolium repens* extrae concentraciones mayores de plomo.

4.6. Factor de bioconcentración y traslocación.

La capacidad fitoextractora según señala (Cunningham, Berti, & Huang, 1995), es la capacidad de las plantas para absorber y extraer ciertos contaminantes del suelo, principalmente metales, y acumularlo en sus tallos y hojas; esta capacidad es medida por el factor de concentración (BCF) y el factor de traslocación (TF). Las plantas con ambos factores mayores que uno son aptas 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. (Gonzales, 1997).

El factor de bioconcentración (FBC) y traslocación (TF), para el *Chenopodium ambrosioides* (Tabla 40 y 41) y *Trifolium repens*, (Tabla 42 y 43); para plomo y zinc, fueron calculados y clasificados según lo indicado por (González, 1997) y (Audet & Charest, 2007). El *Chenopodium ambrosioides* presenta valores de bioconcentración y traslocación, para el plomo y zinc, que la clasifican como una planta excluyente con potencialidad de ser usado en la fitoestabilización, sin embargo, la mezcla más eficiente se presenta en el 25%r, que presenta los valores más altos.

El *Trifolium repens*, presenta valores de bioconcentración en los tratamientos 25%r, 50%r, y 75%r que la clasifican como una planta acumuladora de plomo, siendo

la mezcla más eficiente el 25%r. En cuanto al zinc la planta se clasifica como exclusora que presenta un alto factor de traslocación, por lo que no puede usarse como fitoestabilizadora, excepto el tratamiento 100%r que presenta un TF de 0.55, pudiendo usarse para la fitoestabilización.

En ese sentido, a partir de los resultados obtenidos, se puede afirmar que el *Trifolium repens* tiene alta capacidad fitoextractora (acumuladora) para el plomo (González, 1997), siendo más eficiente en el tratamiento 25% de relave, presentando BCF de 2.48 y TF 1.66; en el caso del zinc esta especie actúa como excluyente, siendo óptima para la fitoestabilización. Sin embargo, el *Chenopodium ambrosioides*, actúa como excluyente tanto para el zinc como para el plomo, pudiendo usarse en la fitoestabilización.

a) *Chenopodium ambrosioides*

Tabla 40: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF), plomo, *Chenopodium ambrosioides*.

Tratamiento	Suelo	Raíz	Parte aérea	FBC	Clasificación	TF	Clasificación
100%ta-1	89.19	95.91	88.65	0.99	Indicadora	0.92	Fitoestabilizadora
100%ta-2	89.19	108.56	106.35	1.19	Indicadora	0.98	Fitoestabilizadora
100%ta-3	89.19	118.97	86.44	0.97	Indicadora	0.73	Fitoestabilizadora
Promedio	89.19	107.81	93.81	1.05	Indicadora	0.88	Fitoestabilizadora
25%r-1	255.40	126.03	166.82	0.65	Excluyente	1.32	Acumulador
25%r-2	255.40	126.27	274.39	1.07	Indicadora	2.17	Acumulador
25%r-3	255.40	133.53	65.15	0.26	Excluyente	0.49	Fitoestabilizadora
Promedio	255.40	128.61	168.79	0.66	Excluyente	1.33	Acumulador
50%r-1	412.31	107.32	105.07	0.25	Excluyente	0.98	Fitoestabilizadora
50%r-2	412.31	143.14	112.07	0.27	Excluyente	0.78	Fitoestabilizadora
50%r-3	412.31	128.3	120.69	0.29	Excluyente	0.94	Fitoestabilizadora
Promedio	412.31	126.25	112.61	0.27	Excluyente	0.90	Fitoestabilizadora
75%r-1	551.35	296.26	98.98	0.18	Excluyente	0.33	Fitoestabilizadora
75%r-2	551.35	309.43	112.5	0.20	Excluyente	0.36	Fitoestabilizadora
75%r-3	551.35	330	86.67	0.16	Excluyente	0.26	Fitoestabilizadora
Promedio	551.35	311.90	99.38	0.18	Excluyente	0.32	Fitoestabilizadora
100%r-1	730.61	478.41	273.56	0.37	Excluyente	0.57	Fitoestabilizadora
100%r-2	730.61	634.78	474.36	0.65	Excluyente	0.75	Fitoestabilizadora
100%r-3	730.61	828.94	508.71	0.70	Excluyente	0.61	Fitoestabilizadora
Promedio	730.61	647.38	418.88	0.57	Excluyente	0.64	Fitoestabilizadora

Tabla 41: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF), zinc, *Chenopodium ambrosioides*

Tratamiento	Suelo	Raíz	Parte aérea	FBC	Clasificación	TF	Clasificación
100%ta-1	35.20	69.35	70.19	1.99	Acumuladora	1.01	Acumulador
100%ta-2	35.20	75.52	58.73	1.67	Acumuladora	0.78	Fitoestabilizadora
100%ta-3	35.20	88.01	57.96	1.65	Acumuladora	0.66	Fitoestabilizadora
Promedio	35.20	77.63	62.29	1.77	Acumuladora	0.82	Fitoestabilizadora
25%r-1	612.34	320.63	337.88	0.55	Excluyente	1.05	Acumulador
25%r-2	612.34	392.83	318.51	0.52	Excluyente	0.81	Fitoestabilizadora
25%r-3	612.34	400.59	313.93	0.51	Excluyente	0.78	Fitoestabilizadora
Promedio	612.34	371.35	323.44	0.53	Excluyente	0.88	Fitoestabilizadora
50%r-1	1218.21	131.35	145.22	0.12	Excluyente	1.11	Acumulador
50%r-2	1218.21	125.49	144.83	0.12	Excluyente	1.15	Acumulador
50%r-3	1218.21	226.42	146.55	0.12	Excluyente	0.65	Fitoestabilizadora
Promedio	1218.21	161.09	145.53	0.12	Excluyente	0.97	Fitoestabilizadora
75%r-1	1820.65	204.58	124.48	0.07	Excluyente	0.61	Fitoestabilizadora
75%r-2	1820.65	226.42	146.67	0.08	Excluyente	0.65	Fitoestabilizadora
75%r-3	1820.65	180.00	102.78	0.06	Excluyente	0.57	Fitoestabilizadora
Promedio	1820.65	203.67	124.64	0.07	Excluyente	0.61	Fitoestabilizadora
100%r-1	2400.52	120.81	65.35	0.03	Excluyente	0.54	Fitoestabilizadora
100%r-2	2400.52	295.65	125.64	0.05	Excluyente	0.42	Fitoestabilizadora
100%r-3	2400.52	196.08	66.03	0.03	Excluyente	0.34	Fitoestabilizadora
Promedio	2400.52	204.18	85.67	0.04	Excluyente	0.43	Fitoestabilizadora

b) *Trifolium repens*

Tabla 42: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF) de plomo, *Trifolium repens*.

Tratamiento	Suelo	Raíz	Parte aérea	FBC	Clasificación	TF	Clasificación
100%ta-1	89.19	257.81	229.80	2.58	Acumuladora	0.89	Fitoestabilizadora
100%ta-2	89.19	264.72	209.30	2.35	Acumuladora	0.79	Fitoestabilizadora
100%ta-3	89.19	291.9	209.07	2.34	Acumuladora	0.72	Fitoestabilizadora
Promedio	89.19	271.48	216.06	2.42	Acumuladora	0.80	Fitoestabilizadora
25%r-1	255.40	358.76	792.14	3.10	Acumuladora	2.21	Acumuladora
25%r-2	255.40	372.96	500.71	1.96	Acumuladora	1.34	Acumuladora
25%r-3	255.40	424.02	604.50	2.37	Acumuladora	1.43	Acumuladora
Promedio	255.40	385.25	632.45	2.48	Acumuladora	1.66	Acumuladora
50%r-1	412.31	680.15	657.43	1.59	Acumuladora	0.97	Fitoestabilizadora
50%r-2	412.31	882.35	734.00	1.78	Acumuladora	0.83	Fitoestabilizadora
50%r-3	412.31	905.66	742.22	1.80	Acumuladora	0.82	Fitoestabilizadora
Promedio	412.31	822.72	711.22	1.72	Acumuladora	0.87	Fitoestabilizadora
75%r-1	551.35	260.46	602.35	1.09	Acumuladora	2.31	Acumuladora
75%r-2	551.35	328.31	635.27	1.15	Acumuladora	1.93	Acumuladora
75%r-3	551.35	560.35	850.27	1.54	Acumuladora	1.52	Acumuladora
Promedio	551.35	383.04	695.96	1.26	Acumuladora	1.92	Acumuladora
100%r-1	730.61	410.81	792.50	1.08	Indicadora	1.93	Acumuladora
100%r-2	730.61	589.05	615.74	0.84	Indicadora	1.05	Acumuladora
100%r-3	730.61	976.13	712.36	0.98	Indicadora	0.73	Fitoestabilizadora
Promedio	730.61	658.66	706.87	0.97	Indicadora	1.23	Acumuladora

Tabla 43: Factor de Bioconcentración (FBC) y traslocación (TF) de zinc, *Trifolium repens*.

Tratamiento	Suelo	Raíz	Parte aérea	FBC	Clasificación	TF	Clasificación
100%ta-1	35.20	66.59	88.39	2.51	Acumuladora	1.33	Acumuladora
100%ta-2	35.20	90.56	34.38	0.98	Indicadora	0.38	Fitoestabilizadora
100%ta-3	35.20	83.12	85.24	2.42	Acumuladora	1.03	Acumuladora
Promedio	35.20	80.09	69.34	1.97	Acumuladora	0.91	Fitoestabilizadora
25%r-1	612.34	80.2	244.19	0.40	Excluyente	3.04	Acumuladora
25%r-2	612.34	68.29	265.95	0.43	Excluyente	3.89	Acumuladora
25%r-3	612.34	133.67	250.04	0.41	Excluyente	1.87	Acumuladora
Promedio	612.34	94.05	253.39	0.41	Excluyente	2.94	Acumuladora
50%r-1	1218.21	92.43	343.42	0.28	Excluyente	3.72	Acumuladora
50%r-2	1218.21	111.76	400.00	0.33	Excluyente	3.58	Acumuladora
50%r-3	1218.21	100	353.33	0.29	Excluyente	3.53	Acumuladora
Promedio	1218.21	101.40	365.58	0.30	Excluyente	3.61	Acumuladora
75%r-1	1820.65	491.86	646.57	0.36	Excluyente	1.31	Acumuladora
75%r-2	1820.65	715.87	793.47	0.44	Excluyente	1.11	Acumuladora
75%r-3	1820.65	569.03	668.85	0.37	Excluyente	1.18	Acumuladora
Promedio	1820.65	592.25	702.96	0.39	Excluyente	1.20	Acumuladora
100%r-1	2400.52	278.78	195.98	0.08	Excluyente	0.70	Fitoestabilizadora
100%r-2	2400.52	325.06	145.18	0.06	Excluyente	0.45	Fitoestabilizadora
100%r-3	2400.52	782.04	315.02	0.13	Excluyente	0.40	Fitoestabilizadora
Promedio	2400.52	461.96	218.73	0.09	Excluyente	0.52	Fitoestabilizadora

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- La capacidad de fitoextracción de *Chenopodium ambrosioides* fue baja, con valores de menores a uno para el factor de bioconcentración y traslocación. *Trifolium repens* presentó alta capacidad fitoextractora para los tratamientos 25% de relave y 75% de relave, con valores mayores a uno para los factores de bioconcentración y traslocación, sin embargo, la biomasa en estos tratamientos fue relativamente bajo.
- La concentración de metales pesados en muestras de relave minero de la planta “Santa Rosa de Jangas”, indicaron mayor concentración de zinc con 2400 mg/Kg y plomo con 730 mg/kg. La tierra agrícola tuvo mayor concentración de calcio, con un valor de 189 mg/kg.
- La concentración de zinc y plomo totales en las mezclas de relave minero - tierra, están directamente relacionados con el contenido de relave en cada mezcla. Siendo mayores en el tratamiento de 100% relave (730.61 mg/kg plomo y 2400.42 mg/kg zinc) y menores en el tratamiento de 100% tierra agrícola (89.19 mg/kg plomo y 35.2 mg/kg de zinc). El contenido disponible de plomo y zinc fueron mayores en el tratamiento de 50% de relave, 313.4 mg/kg y 44.1 mg/kg respectivamente. Las propiedades fisicoquímicas caracterizadas, indican que la textura, el porcentaje de materia orgánica (M.O%) y Capacidad de intercambio catiónico (CIC) presentan valores decrecientes de 100% tierra agrícola a 100% relave. El pH presentó el menor valor en el tratamiento de 50% y 75% relave 4,65, 4.61 y el mayor para el 100% de relave con 5.23; la conductividad eléctrica (C.E) estuvo relacionado directamente al contenido de relave siendo el mayor 3.83 para el 100%r.

- El desarrollo físico, dado por la altura total, biomasa seca y área foliar, obtenida por el *Chenopodium ambrosioides* fue mayor en el 100% de tierra agrícola con 47.4 cm, 7.03 gr, 527.67 cm², seguida por el 25% de relave, con valores de y 34.23cm, 3.02gr183.92 cm², respectivamente. El *Trifolium repens* obtuvo valores mayores en el 100% de tierra agrícola con 38.83cm, 14.7gr, 1277cm², seguida por el 100% de relave con 20.97cm, 3.12gr, 353.13cm².
- Las concentraciones de zinc en la parte aérea de *Chenopodium ambrosioides* fueron mayores en el tratamiento 25% relave con 323 mg/kg y 371.35 mg/kg para la parte aérea y raíz. Las concentraciones de plomo mayores se registraron en el tratamiento 100% relave con 418.88, y 647.38 mg/kg para la parte aérea y raíz. *Trifolium repens* absorbió mayor concentración de zinc en el tratamiento 75% relave con un valor de 702.96 mg/kg para la parte aérea y 592.25 mg/kg en la raíz; las concentraciones de plomo mayores se dieron en el tratamiento de 50%r con 711.22 mg/kg y 822.72 mg/kg para la parte aérea y raíz respectivamente. Todas con diferencias significantes estadísticamente.
- *Trifolium repens* extrae mayores concentraciones de plomo que *Chenopodium ambrosioides*, con diferencia significativa, con un promedio de 592.51mg/kg y 549.79mg/kg para la parte aérea y raíz respectivamente. La absorción de zinc en *Trifolium repens* fue significativamente mayor en la parte aérea en cuanto al *Chenopodium ambrosioides* con un promedio de 322 mg/kg; sin embargo, en la raíz la diferencia no es significativa estadísticamente.
- Los factores de bioconcentración y traslocación para *Chenopodium ambrosioides*, con respecto al zinc y plomo, clasifican a esta especie como excluyente con valores menores a uno, pudiendo utilizarse para la fitoestabilización. *Trifolium repens* respecto al plomo, en los tratamientos de 25% relave y 75% relave los factores de bioconcentración y traslocación son mayores a uno clasificando esta especie como acumuladora.

6.2. Recomendaciones

- Identificar correctamente las especies que crecen en los relaves mineros, tomando en cuenta su abundancia y tamaño, para que el estudio sea efectivo.
- Realizar estudios in-situ, ya que la pendiente y condiciones climáticas pueden afectar el crecimiento de las especies.
- Se recomienda el análisis de todos los metales totales en las plantas ya que pueden influir en el crecimiento de las mismas.
- Las plantas obtenidas en los procesos de fitorremediación deben ser tratados como residuos peligrosos en ambientes aptos para este proceso, o plantear la recuperación de los metales como la biominería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano, D. (1986). *Trace Elements in the Terrestrial Environment*. New York: Springer Verlag.
- Agency for toxic substances and disease control. (2011). División de toxicología y medicina ambiental. Departamento de salud y servicios humanos de los EEUU. *Servicio de Salud publica*, 269.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1995). Case studies in environmental medicine. *Atlanta*, 59-68.
- Argota, P., Encinas, C., Argota, C., & Iannacone, J. (2014). Coeficientes biológicos de fitorremediación de suelos expuestos a plomo y cadmio utilizando *Alopecurus* y *Magellanicus bracteatus* y *muhlenbergia angustata* (poaceae). *The biologist*, 12(1), 100.
- Audet, P., & Charest, C. (2007). Heavy metal phytoremediation from a metaanalytical perspective. *Environmental Pollution*, 147, 7.
- Baker, A. (1981). Accumulators and excluders-strategies in the response of plants to heavy metals. *J. Plant Nutrition*, 3, 444.
- Bernal, M. (2007). *Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados*. Barcelona: Ecosistema 16.
- Bingham, F., Mitchell, G., Mahler, R., & Page, A. (1976). *Proceedings of the international Conference on environmental sensing and assessment, vol 2*. New York: Electron Engrs.
- Biopedia. (2015). Especies indicadoras. *Biodiversidad, biomas y mas*, 1-2.
- Brady, C., & Weil, R. (2008). *The nature and properties of soils*. New York: Prentice Hall. Upper Saddle River.
- Breckle, S. (1991). "Growth under stress: heavy metals". New York: INC.
- Brooks, R. (1998). *Plants that hyperaccumulate heavy metals: their role in phytoremediation*. New York: Center for Agriculture and Biocences.
- Campbell, P. (1995). Interactions between trace metals and aquatic organisms: A critique of the Freeion Activity Model. *ACMH*, 113-149.
- CCME., C. C. (2006). Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and. *A Protocol for the Derivation of Environmental and Human*, 11-15.
- Chaney, R. (1983). Potential effects of waste constituents on the food chain. *Park ridge*, 152-240.

- Chen, J., Berti, W., Cunningham, S., & Huang, J. (1997). Phytoremediation of lead contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ Sci Technol*, 31, 800-805.
- Chen, J., Caspar, J., & Cunningham, S. (1997). Arabidopsis thaliana as a Model System for Studying lead Accumulation and Tolerance in Plants In: Phytoremediation of Soil and Water Contaminants,. *American Chemical Society*, 19(2), 319-331.
- Cunningham, S., Berti, W., & Huang, J. (1995). Phytoremediation of Contaminated Soils. *Trends in Biotechnology*, 13(9), 393-397.
- Diez, J. (2008). *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados*. Santiago de Compostela: Tesis. Universidad Santiago de Compostela.
- Domenech, X. (1995). *La Química del Suelo. El impacto de los contaminantes*. Madrid: Mirahuano.
- Duran, P. (2010). *Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: ejemplos de los andes peruanos y de la cordillera prelitoral catalana*. Barcelona: Tesis. Universidad de Barcelona.
- EcuRed. (2015). Características Físicas suelo agrícola. *Agricultura*, 4.
- Environmental Protection Agency US. (2000). Introduction to Phytoremediation, National Risk Management Research Laboratory. *Office of research and development EPAQf6001R-99/107*.
- Evans, L. (1995). Chemical aspects of heavy metal solubility with reference to sewage sludge amended soils. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 292-302.
- Evans, L. (1989). *Environmental Science & Thecnology*.
- Garcia, I., & Dorronsoro, C. (2005). *Contaminación por metales pesados*. Granada: Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química.
- Ghosh, M., & Singh, P. (2005). A review of phytoremediation of heavy metals and utilisation of its byproducts. *Appl Ecol*.
- Glopal, R., & Rizvi, A. (2008). Excess lead alters growth, metabolism and translocation of certain nutrients in radish. *Chemosphere*, 70(9), 44.
- González, M. (1997). Respuesta vegetal al estrés metálico. *Agricultura técnica*, 57(1), 42-49.
- Gunnar, N. (2010). Metales: Propiedades químicas y tóxicas. En *Enciclopedia de salud*. España: Comision internacional de medicina del trabajo.
- Hardiman , R., Jacoby, B., & Banin, A. (1984). Factors affecting the distribution of copper, cadmium and lead and their influence upon yield and Zn content in bush beans. *Plant and soil*, 81(1), 3-15.

- Hazrat, A., Khan, E., & Sajad, M. (2013). Phytoremediation of heavy metals concepts and applications. *Chemosphere*, 7, 81.
- Hernández, R. (2015). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Hidalgo, P., Espinoza, P., & Figueroa, R. (2010). Ensayo de adaptación de especies vegetales para la cobertura vegetal de los relaves mineros de la planta concentradora "Santa Rosa de Jangas". *Aporte Santiaguino*, 3(1), 18-25.
- Hinsinger, P., Plassard, C., Tang, C., & Jaillard, B. (2003). Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints. *Plant Soil*, 43-59.
- International programme on chemical safety. (1998). Environmental health criteria on boron human health risk assessment. *World Health Organization*, 66, 439-452.
- 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*, 145-154.
- Juncafresa, B. (1980). *Forrajes, fertilizantes y valor nutritivo*. Barcelona: AEDOS.
- Kabata, A., & Pendias H. (2000). *Trace Elements in Soils and Plants*. Florida: CRC Press.
- Killham, K., & Firestone, M. (1983). Vesicular arbuscular mycorrhizal mediation of grass response to acidic and heavy metal depositions. *Printed in Netherlands*, 72(1), 39-48.
- Lagier, T., Feuillade, G., & Mateika, G. (2000). Interactions between copper and organic macromolecules: determination of conditional complexation constants. *Agronomie*, 20(5), 537-546.
- Lambert, P., Baker, D., & Cole, H. (1976). The role of mycorrhizae in the interactions of phosphorus with Zn, Cu, and other elements. *Soil Sci*.
- Lanphear, B., Dietrich, K., & Auinger, P. (2012). Cognitive deficits associated with blood lead concentration <10 ug/dL in US children and adolescents. *Pub Health*, 115(6), 521.
- Londoño, L. (2016). Riesgos de los metales pesados. En *Biotecnología en el sector agropecuario e industrial*. Colombia: Universidad tecnológica de Pereira.
- Malone, C., Koeppe, D., & Miler, R. (1974). Localization of lead accumulated by corn plants. *Plant Physiol*, 53, 388-394.
- Marschner, H. (1995). *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press.
- Maureen, A. (2007). Fitoextracción de plomo por *Panicum virgatum*. *Universidad de Queen. Canada*, 67-88.
- McBride, M. (1994). *Environmental chemistry of soils*. New York: Oxford Univ.

- 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. (2014). *Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el Juncus arcticus willd. Y Cortaderia radiuscula stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza - Ancash 2013*. Huaraz: Tesis. Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo.
- Mellem, J. (2010). Phytoremediation of heavy metals using *Amaranthus dubius*. *Durban University of Technology, South Africa*.
- Mendieta, C., & Taisigue, 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. *Laboratorio de biotecnología. "Universidad Nacional de Mexico", (UNAM)*.
- Ministerio de Energia y Minas. (2018). Inventario de pasivos ambientales mineros. *Areas de servicios de investigacion*.
- Moreno, E. (2010). *Recuperación de suelos mineros contaminados con arsenico*. Madrid: Universidd de Madrid. Departamento de Quimica Agricola.
- Noelle, M. (2009). Phytoextraction du plomb par les Pélargoniums odorants Interactions sol-plante et mise en place d'outils pour en comprendre hyperaccumulation. *Universty de Toulouse*.
- Patricia, P. (2016). Fitorremediacion de un suelo contaminado con petróleo extra pesado con *Megathyrus maximus*. *REvista internacional de contaminación*, 33(3), 495-503.
- Pilon-Smits, E. (2005). Phytoremediation. *Plant Biology*, 56, 15-39.
- Plant, J., & Raiswell, R. (1983). Principles of enviromental chemistry. En I. Thornton, *Applied Enviromental Geochemistry*. Londres: Academic Press.
- Prabhakaran, K., & Cottenie, A. (1971). Parent material-soil relationship in trace elements. *Geoderma*, 5(2), 81-84.
- Romkens, P., Bouwman, L., Japenga, J., & Draaisma, C. (2002). Potentials and drawbacks of chelate-enhanced phytoremediation of soils. *Enviromental pollution*, 116(1), 109.
- Salt, D., Blaylock, M., Nanda, K., Dushenkov, V., Ensley, B., Chet, I., & Raskin, Y. (1995). Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic. *Biotechnol*, 13(5), 74.
- Sotomayor, A. (2015). Remediación de pasivos ambientales mineros como estrategia para el cuidado del ambiente. *Revista de la Universidad de Lima*, 81.
- Stumm, W., & Morgan, J. (1981). *Aquatic Chemistry*. New York: Wiley.

- Tarazona, A. (2005). *Uso de indicadores ambientales para evaluar la fragilidad de la zona inmersa en la planta de tratamiento "Santa Rosa de Jangas"*. Huaraz: Tesis de maestria UNASAM.
- Tereza, D. (2001). *Phytoremediation of metal contaminated soils: metal tolerance and metal accumulation in Pelargonium sp.* Canada: The University of Guelph.
- Tiller, K. (1989). Heavy metals in soils and their environmental. *Advances in soil Science*, 113-142.

ANEXOS

ANEXO 1

REPORTES DE ANÁLISIS DE LABORATORIO



ANALISIS DE METALES TOTALES EN SUELOS

APELLIDOS Y NOMBRES: BENIGNO VEGA ROSMERI

PARAMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	METODO	LIMITE DE DETECCION	MUESTRA	
				RELAVE	T.A
Aluminio total	mg/Kg As	Cromoazurol 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	13.56	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	Difenilcarbazida	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	Formaldoxina	2.50	27.80	16.20
Níquel total	mg/Kg Ni	Dimetilgloxina	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	Difenilcarbazida	10.00	276.00	<10.00

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

Huaraz, 20 de Marzo de 2018



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



METALES TOTALES EN SUELOS

APELLIDOS Y NOMBRES: BENIGNO VEGA ROSMERI

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	255.40	412.31	551.35	730.61	
Zinc total	mg/kg Zn	10.00	35.20	612.34	1218.21	1820.65	2400.52	



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

Huaraz, 20 de Marzo 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 dirimientes de conservarán de acuerdo a su tiempo de peresibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Centenario N° 200-Huaraz- Ancash. Telef. 421 431- Cel. 043-943032706 / 043- 943032787 RPM. # 703722/ RPM # 703723
 E- mail: labfcam@hotmail.com



INFORME DE ENSAYO CS180023

CLIENTE Razón Social : ROSMERY BENIGNO VEGA
 Dirección : Huaraz
 Atención : Rosmery Benigno Vega

MUESTRA Producto declarado : Muestra de Suelo
 Matriz : Suelo
 Procedencia : Centro Poblado de Wilcahuain
 Ref./Condición : Cadena de Custodia CC180013

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

LABORATORIO Fecha de recepción : 31/Enero/2018
 Fecha de análisis : 31 de Enero - 20 de Febrero/2018
 Cotización N° : CO180067

CÓD.	PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN	MUESTRA					
					Código del cliente	100% R	75% R	50% R	25% R	100% TA
					Fecha de muestreo	05/02/2017	05/02/2017	05/02/2017	05/02/2017	05/02/2017
					Hora muestreo	09:00	09:10	09:20	09:25	09:30
					Código de Laboratorio	CS180041	CS180042	CS180043	CS180044	CS180045
METALES EN SUELOS DISPONIBLES										
MSDI 24	Pbmo total	mg/Kg Pb	PAR (*)	0.100	188.200	110.000	313.400	120.800	75.800	
MSDI 32	Zinc total	mg/Kg Zn	CL-PAN (*)	10.00	< 10.00	11.58	44.10	33.39	22.64	

(*) Los métodos indicados No han sido acreditados por el INACAL - DA

* Datos proporcionados por el cliente

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

Huaraz, 20 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 dicientes de conservarán de acuerdo a su tiempo de peresibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Centenario N° 200-Huaraz- Ancash. Telef. 421 431- Cel. 043-943032706 / 043- 943032787 RPM. # 703722/ RPM # 703723
 E- mail: labfcam@hotmail.com



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN

SOLICITA : Benigno Vega Rosmeri - Tesista.
 UBICACIÓN : Huaraz - Ancash

Muestra	Textura			Clase Textural	pH	M.O%	Nt. %	P ppm	K ppm	C.E dS/m.
	Arena	Limo	Arcilla							
T.A. 100 %	59	32	09	Franco arenoso	4.91	4.899	0.245	10	96	0.89
R 25 %	67	26	07	Franco arenoso	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 ⁺² me/100gr.	Mg ⁺² me/100gr.	K ⁺ me/100gr.	Na ⁺ me/100gr.	H+Al me/100gr.	CIC me/100gr.
T.A. 100 %	6.31	1.70	0.16	0.01	1.14	9.32
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

Ing. *G. Guillermo Castillo Romero*
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS



ANALISIS 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
Ca - 100%ta-1	88.65	70.19	95.91	69.35
Ca - 100%ta-2	106.35	58.73	108.56	75.52
Ca - 100%ta-3	86.44	57.96	118.97	88.01
Ca - 25%ta-1	166.82	337.88	126.03	320.63
Ca - 25%ta-2	274.39	318.51	126.27	392.83
Ca - 25%ta-3	65.15	313.93	133.53	400.59
Ca - 50%ta-1	105.07	145.22	107.32	131.35
Ca - 50%ta-2	112.07	144.83	143.14	125.49
Ca - 50%ta-3	120.69	146.55	128.30	226.42
Ca - 75%ta-1	98.98	124.48	296.26	204.58
Ca - 75%ta-2	112.50	146.67	309.43	226.42
Ca - 75%ta-3	86.67	102.78	330.00	180.00
Ca - 100%r-1	273.56	65.35	478.41	120.81
Ca - 100%r-2	474.36	125.64	634.78	295.65
Ca - 100%r-3	508.71	66.03	828.94	196.08

Huaraz, 20 de Marzo de 2018



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

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 dirimientes se conservarán de acuerdo a su tiempo de perecibilidad.

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
 FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
 Av. Centenario N°200-Huaraz- Ancash. Telef 421 431- Cel. 944432754 / 948915005 RPM. # 948915005
 E-mail: labfcam@hotmail.com



ANALISIS 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%-1	792.50	195.98	410.81	278.78
Tr - 100%-2	615.74	145.18	589.05	325.06
Tr - 100%-3	712.36	315.02	976.13	782.04

Huaraz, 20 de Marzo de 2018



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

ANEXO 2

PANEL FOTOGRAFÍCO DE LA EJECUCIÓN DE LA TESIS



Muestreo del relave.



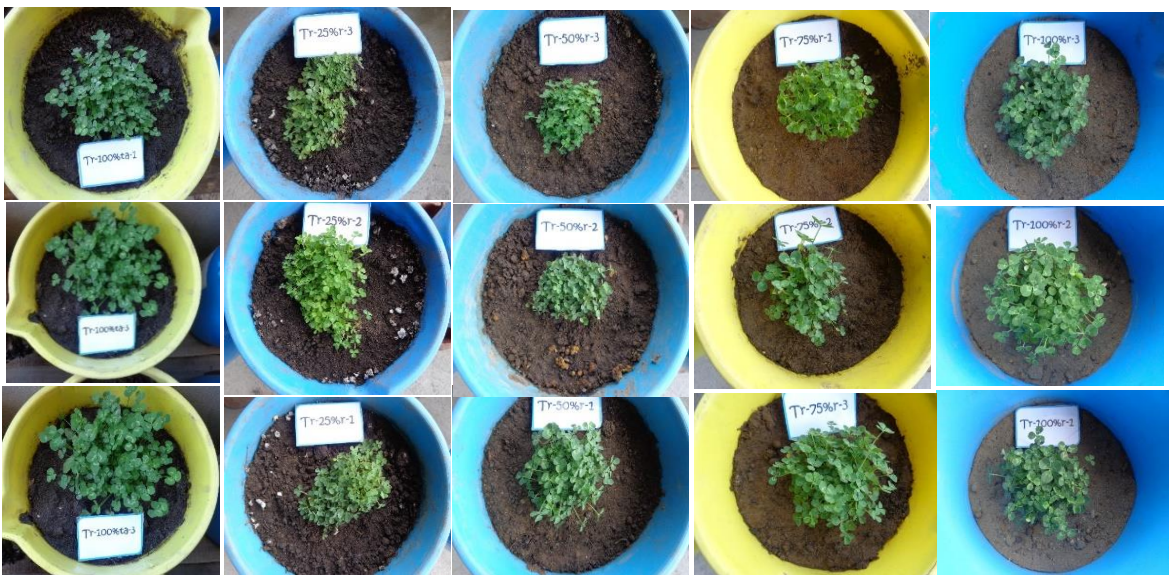
Muestreo de la tierra agrícola.



Preparación de sustratos (tratamientos)



Crecimiento del *Chenopodium ambrosioides*.



Crecimiento del *Trifolium repens*.