

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Reducción de plomo en suelos contaminados por
relaves metalúrgicos en la planta UNCP-Yauris
mediante fitoextracción con girasol y enmienda
de vermicompost**

Sairah Cerrón Mellado

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

A Dios por brindarme vida y salud, por guiarme en el camino hacia mis metas y lograrlas. Agradezco a mis padres, Alfredo Cerrón Samaniego y Florentina Mellado Vílchez por brindarme el amor, comprensión y el apoyo incondicional de siempre.

A la Universidad Continental, por haberme dotado de las enseñanzas necesarias para lograr mis metas y objetivos en estos 5 años de vida universitaria. Agradezco a mi asesor Anieval Peña Rojas por todas sus enseñanzas y a todas las personas que aportaron para este trabajo. Muchas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres que con su esfuerzo y valor han podido lograr que mis sueños se cumplan, agradezco enormemente su constancia y su apoyo incondicional en cada paso de mi vida.

ÍNDICE

Agradecimientos.....	ii
Dedicatoria	iii
Índice.....	iv
Índice de figuras	viii
Índice de tablas	ix
Resumen	x
Abstract	xi
Introducción.....	xii
CAPÍTULO I.....	13
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema	13
1.1.1. Problema general	15
1.1.2. Problemas específicos	15
1.2. Objetivos	16
1.2.1. Objetivo general	16
1.2.2. Objetivos específicos.....	16
1.3. Justificación e importancia	16
1.3.1. Económica.....	16
1.3.2. Social.....	16
1.3.3. Ambiental	17
1.3.4. Teórico	17
1.4. Hipótesis y descripción de variables	17
1.4.1. Hipótesis general.....	17
1.4.2. Hipótesis específicas.....	17
1.4.3. Variables	17
1.4.3.1. Variable independiente: fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost	17
1.4.3.2. Variable dependiente: reducción de plomo.....	18
1.4.4. Operacionalización de variables.....	19

2.4.9. Toxicidad	43
2.4.10. Bioacumulación	43
2.4.11. Enmienda	43
CAPÍTULO III	44
METODOLOGÍA	44
3.1 Metodología y alcance de la investigación	44
3.1.1 Método	44
3.1.2 Nivel	45
3.2 Diseño de la investigación	45
3.2.1 Diseño experimental de la investigación	47
3.3 Población y muestra	47
3.3.1 Población.....	47
3.3.2 Muestra	47
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47
3.4.1 Técnica de recolección de datos	47
3.4.2 Instrumento de recolección de datos.....	48
3.5 Materiales y métodos	48
3.5.1 Recolección de la muestra de suelo.....	48
3.5.2. Análisis del suelo.....	49
3.5.3. Materiales para la recolección de la muestra de suelo.....	50
3.5.4. Materiales para la siembra y selección de las semillas	50
3.5.4.1. Recojo de datos.....	51
3.5.4.2 Proceso de análisis de datos	52
CAPÍTULO IV.....	53
RESULTADOS.....	53
4.1 Resultados de la evaluación de la capacidad de fitoextracción del girasol para la reducción de plomo en suelos contaminados	53
4.2 Resultado de la adición del vermicompost al 20%, 50% y al 70% y cómo influye en la absorción de plomo mediante el girasol.....	56
4.3 Resultado de las características morfológicas del girasol.....	60
4.3.1 Tamaño de la planta.....	60

4.3.2	Tamaño de la raíz.....	62
4.3.3	Número de hojas	63
4.3.4	Longitud de hojas	64
4.4	Resultado de los parámetros fisicoquímicos.....	65
4.4.1	Resultados antes de la fitoextracción	65
4.4.2	Resultados después de la fitoextracción	66
4.4.3	Resultado comparativo de los parámetros fisicoquímicos.....	67
4.5	Resultados de la concentración final e inicial de plomo y la comparación con el ECA suelo	69
4.6	Resultado del porcentaje de eficiencia de remoción.....	70
4.7	Resultado de la prueba estadística.....	71
4.7.1	Prueba de hipótesis para el porcentaje de adición de vermicompost... 71	
4.7.2	Prueba de hipótesis para el tamaño de la raíz	72
4.8	Discusión de resultados.....	73
	Conclusiones.....	77
	Recomendaciones.....	78
	Lista de referencias	79
	Anexos	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la planta de metalurgia de la UNCP – Yauri.	15
Figura 2. Representación esquemática de los métodos de fitorremediación.	28
Figura 3. Raíz de un lirio acuático en tratamiento con Pb.	29
Figura 4. Proceso de fitoextracción con el girasol.	30
Figura 5. Método de investigación.....	45
Figura 6. Observación experimental de la prueba de absorción de plomo en laboratorio	48
Figura 7. Localización de puntos de muestreo.	49
Figura 8. Método del cuarteo.	49
Figura 9. Plomo absorbido en las hojas	54
Figura 10. Plomo absorbido en la raíz.....	55
Figura 11. plomo absorbido en el tallo del girasol	55
Figura 12. Plomo absorbido en el testigo	57
Figura 13. Plomo absorbido en el T1	57
Figura 14. Plomo absorbido en el T2	58
Figura 15. Plomo absorbido en el T3	59
Figura 16. Plomo absorbido con la adición de vermicompost	60
Figura 17. Tamaño de la planta.....	61
Figura 18. Tamaño de la raíz del girasol	62
Figura 19. Promedio de numero de hojas	64
Figura 20. Tamaño de la raíz del girasol	65
Figura 21. pH inicial.....	66
Figura 22. pH final	67
Figura 23. pH inicial y final	68
Figura 24. Humedad inicial y final	69
Figura 25. Contenido inicial y final de plomo.....	69
Figura 26. Eficiencia de remoción	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	19
Tabla 2. Valores físicos del vermicompost	38
Tabla 3. ECA suelo	40
Tabla 4. Clasificación taxonómica del girasol.....	41
Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del plomo	42
Tabla 6. Diseño de investigación.....	46
Tabla 7. Recojo de datos	51
Tabla 8. Absorción en la morfología del girasol.....	53
Tabla 9. Resultado de la absorción de plomo con la adición de vermicompost por repeticiones	56
Tabla 10. Resultado de la absorción de plomo con la adición de vermicompost por tratamiento.....	59
Tabla 11. Tamaño de la planta de girasol en los diferentes tratamientos	60
Tabla 12. Tamaño de la raíz del girasol	62
Tabla 13. Número de hojas del girasol.....	63
Tabla 14. Longitud de las hojas del girasol	64
Tabla 15. pH antes de la fitoextracción	65
Tabla 16. Humedad antes de la fitoextracción	66
Tabla 17. pH después de la fitoextracción	66
Tabla 18. Humedad después de la fitoextracción.....	67
Tabla 19. pH antes y después de la fitoextracción	67
Tabla 20. Humedad antes y después de la fitoextracción	68
Tabla 21. Plomo inicial y final de plomo	69
Tabla 22. Porcentaje de la eficiencia de remoción	70
Tabla 23. Anova de un factor para la adición de vermicompost.....	71
Tabla 24. Prueba de PosHoc	71
Tabla 25. Anova de un factor para el tamaño de raíz.....	72
Tabla 26. Prueba de poshoc	72

RESUMEN

La minería y la metalurgia han logrado incrementar la generación y acumulación de metales pesados, el aumento de plomo en el suelo se ha ido incrementando con el tiempo y este ocasiona problemas al ecosistema, debido a que al entrar al contacto con el suelo y agua alteran la composición natural y afectan la flora, fauna y población cercana. En la actualidad existen diversas opciones biológicas de tratamiento para la remediación de suelos como la fitoextracción, este consiste en la acumulación y absorción de metales pesados en la parte superior de la planta. El girasol puede absorber Cd, Pb, Cs en sus hojas, raíces y tallos, asimismo, la adición de compost mejora la capacidad de absorción de la planta al brindarle soporte de nutrientes para su crecimiento. La planta de metalurgia de la UNCP viene contaminando el suelo con distintos metales pesados proveniente de sus actividades, lo que afecta a la composición inicial del suelo, aumento de la acidez y variaciones en la textura y humedad en este lugar. El siguiente trabajo tuvo como objetivo principal determinar la contaminación de plomo de la planta de metalurgia de la UNCP y realizar la técnica de fitoextracción usando el girasol como medio fitoextractor, más la adición de vermicompost en distintos niveles. Se usó la guía de muestreo del Minam para el recojo de muestras, se hicieron 3 tratamientos y un testigo de 4 repeticiones, 4 muestras testigo, 4 muestras con 25% de vermicompost, 4 muestras con 50% de vermicompost y 4 muestras con 75% de vermicompost, se colocaron 2 semillas por prueba, la concentración de plomo inicial y final en el suelo se determinó en un espectrofotómetro de absorción atómica, como resultado se obtuvo una mayor absorción en el T2 con 216.39 mg/kg, y también un mayor desarrollo en las hojas, tallos y raíz. El girasol logró una mayor absorción de plomo en la raíz y una menor absorción en las hojas. En cuanto al desarrollo morfológico el T1 con alto contenido de plomo tuvo deficiencias en el desarrollo foliar. Se concluyó que la adición de vermicompost favorece a la extracción de plomo en el suelo y que a mayor contenido de plomo se logra una mayor absorción.

Palabras claves: fitoextracción, girasol, plomo, vermicompost

ABSTRACT

Mining and metallurgy have managed to increase the generation and accumulation of heavy metals, the increase in lead in the soil has been increasing over time and this causes problems to the ecosystem since in contact with water and soil it alters the natural composition affecting the fauna, flora and nearby population. Currently there are various biological treatment options for soil remediation such as Phytoextraction, this consists of the accumulation and absorption of heavy metals in the upper part of the plant. The sunflower can absorb Cd, Pb, Cs in its leaves, roots and stems, in addition to the addition of compost, it improves the absorption capacity of the plant by providing nutrient support for its growth. The UNCP metallurgy plant has been contaminating the soil with different heavy metals from its activities, which affects the initial composition of the soil, increased acidity and variations in texture and humidity in this place. The following work aimed to determine the lead contamination of the UNCP metallurgy plant and carried out the phytoextraction technique using sunflower as a phytoextractor medium plus the addition of vermicompost at different levels. The Minam sampling guide was used to collect samples, 12 tests of 4 repetitions, 4 control samples, 4 samples with 25% vermicompost, 4 samples with 50% vermicompost and 4 samples with 75% vermicompost, were used. 2 seeds were placed per test, the initial and final lead concentration in the soil was determined in an atomic absorption spectrophotometer, as results a higher absorption was obtained in T3 with 216.39 mg / kg, and a higher development in the leaves, stems and root. The sunflower achieved a higher absorption of lead in the root and a lower absorption in the leaves. Regarding morphological development, T1 with high lead content had deficiencies in foliar development. It was concluded that the addition of vermicompost favors the extraction of lead in the soil and that it has a higher content of lead, a greater absorption is achieved.

Keywords: lead, phytoextraction, sunflower, vermicompost

INTRODUCCIÓN

La contaminación del ambiente en la actualidad es visto como uno de los problemas más significativos y que están perjudicando a la humanidad, la pérdida de las propiedades físicas del suelo y el agotamiento de suelos está aumentando con el pasar de los años (1). El hombre siempre provocó y logrará provocar cambios en el medio que lo rodea, todo esto por la necesidad de alimentación, lo que conlleva realizar actividades como la industria, ganadería, minería y construcción, todo esto ocasiona que los metales pesados se introduzcan en aguas subterráneas, ríos, lagos y suelos que día a día están siendo más contaminados (2).

Debido a este problema, en la actualidad se pueden encontrar muchas alternativas como la fitoextracción y la fitorremediación, los cuales hacen uso de plantas que son capaces de acumular y extraer metales pesados dentro de su morfología (tallo, hojas y raíz), estas plantas también son llamadas hiperacumuladoras, ya que logran extraer hasta 100 veces más de la concentración normal (3).

En la planta de metalurgia de la UNCP, se observa el desecho inadecuado de sus relaves, estos están afectando ecosistemas vivos. En el presente trabajo se utilizó al girasol como planta fitoextractora por su efectiva acumulación de cadmio por la generación de biomasa, siendo esta una solución viable y económica para el problema presentado, guiándose del método científico para llegar a pruebas veraces que sustenten la solución.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

La generación de metales pesados en el suelo es generada, mayormente, por actividad del hombre, como la minería, la industria, las actividades que implican el uso de elementos pesados, la agricultura, el uso de pesticidas entre otros. Los residuos y su inadecuado manejo, el exceso en el uso de fertilizantes y agroquímicos producen diversos problemas de complicado tratamiento, ya que los metales pesados logran juntarse de manera muy fácil, logrando así una mayor persistencia en el ambiente y logrando alterar el sistema acuático y terrestre, además causan enfermedades a los animales y hombre (4).

En el Perú existen sitios con suelos muy fértiles que se están contaminando con metales pesados en distintas zonas del territorio, y es un problema ambiental que está recibiendo mucha atención hoy en día, debido a los daños perjudiciales a las plantas, animales y hombre. La conservación de los suelos debe ser fundamental, ya que este recurso provee alimento y vida. El Perú posee una superficie de 128.5 millones de hectáreas de suelo agrícola, de lo cual solo 7.6 son utilizados, esto quiere decir que solo el 6% de todo esto, el 36% contiene algún metal pesado (5).

Los procesos minero-metalúrgicos desde muchos años atrás han servido económicamente al país, pero los grandes desechos que genera esta industria ha ido contaminando poco a poco muchos lugares del territorio peruano, generando grandes depósitos de relaves y sin ningún interés en su tratamiento por parte del estado (6). Estos depósitos han sido abandonados y se han transformado en lugares potenciales de contaminación hacia todo lo que le rodea, creando muchos riesgos para el ambiente (6). La acumulación del plomo en el suelo cada vez ha sido mayor gracias a la vertiente de relaves, todo esto ocasiona problemas en la salud de las personas, ya que este elemento pesado es persistente y tóxico (7).

Cabe mencionar que, la producción de metales y la industria metalúrgica ha aumentado en los últimos años, por lo que las cantidades de desecho y contaminantes también han aumentado. Los relaves de la actividad minero-metalúrgica contienen alto porcentaje de metales pesados que afectan al suelo. Esto ocurre al contacto con la primera capa de suelo, logrando la alteración de la composición física, el pH, la humedad y la fertilidad de este (8). Al respecto, muchas investigaciones han podido demostrar la degradación de los suelos por plomo y cadmio y esto se debe a la deficiencia de los nutrientes en el suelo, dificultando la presencia de microbios y la acción de estos en el suelo.

Se debe agregar que el depósito de relaves metalúrgicos de la planta de metalurgia de la UNCP es un punto grave de contaminación, ya que este no recibe ningún tratamiento por parte de la universidad y simplemente son desechos contaminando el suelo y aguas aledañas con plomo y otros metales pesados. Estos desechos son un problema para la salud pública ya que la OMS menciona que un suelo contaminado con plomo que sobrepasa el límite máximo permisible es un riesgo para la salud humana (9).

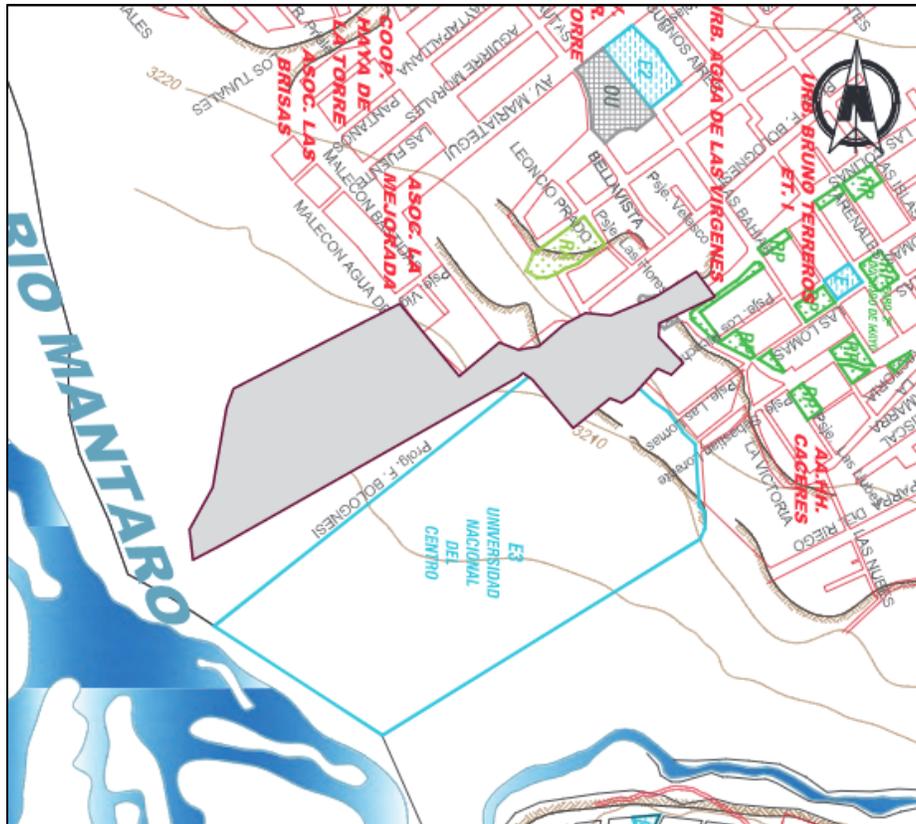


Figura 1. Mapa de ubicación de la planta de metalurgia de la UNCP – Yauri. Tomada de Riesgo ambiental por pasivo de relaves de la explanta metalúrgica de Yauris (6)

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la capacidad de fitoextracción del girasol para la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP?

1.1.2. Problemas específicos

¿De qué manera la adición del vermicompost al 20%, 50% y al 75% influyen en la absorción de plomo mediante el girasol en suelo contaminado con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP?

¿En qué medida las características morfológicas del girasol favorecen en la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad de fitoextracción del girasol para la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP.

1.2.2. Objetivos específicos

Evaluar de qué manera la adición del vermicompost al 20%, 50% y al 70% influye en la absorción de plomo mediante el girasol en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP.

Determinar en qué medida las características morfológicas del girasol favorecen en la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Económica

Existen muchas técnicas y estudios para la mejora de suelos, sin embargo, estas son costosas y alteran las composiciones fisicoquímicas, la fitoextracción con girasol es un método de bajo presupuesto para el tratamiento de forma natural de los suelos contaminados con metales pesados, la asociación con el vermicompost mejorará a una mayor absorción de Pb.

1.3.2. Social

Este trabajo servirá como un referente para que otros investigadores puedan hacer uso del tema y profundizar conocimientos, mejorar y complementar de forma científica el trabajo realizado.

1.3.3. Ambiental

Permite lograr nuevas maneras de conocimiento en el rubro ambiental, destacan los temas del origen y las nuevas soluciones hacia la excesiva contaminación de los suelos debido a los relaves mineros y proponiendo una alternativa para su descontaminación, logrando así una contribución al crecimiento de la cultura científica en la ciudad de Huancayo y del Perú.

1.3.4. Teórico

Este trabajo permitirá la información a nivel local y nacional para la ampliación y recopilación de información para nuevos investigadores.

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

La capacidad fitoextractora del girasol influye positivamente en la absorción de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP.

1.4.2. Hipótesis específicas

La incorporación de vermicompost en los distintos niveles de aplicación favorece positivamente en la reducción de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP.

Las características morfológicas del girasol favorecen positivamente en la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP.

1.4.3. Variables

1.4.3.1. Variable independiente: fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost

Fitoextracción es la estrategia que ayuda a la cabida de las plantas para acumular metales pesados (plomo) en su estructura

morfológica (1), mientras que la adición de enmiendas (vermicompost) ayuda a la solubilización de contaminantes en el suelo.

1.4.3.2. Variable dependiente: reducción de plomo

El plomo es un metal pesado, estos son residuos vertidos al suelo y afectan la fertilidad de este y dañan su uso potencial. El suelo contaminado tiene de manera reducida su uso potencial, este tiene características biológicas, químicas y físicas que no son favorables debido a los residuos que son vertidos.

1.4.4. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

Reducción de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta UNCP-Yauris mediante fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost						
Variable independiente	Definición	Definición operacional (2)	Dimensión (2)	Indicador (2)	Escala de medida (2)	Instrumentos (2)
Fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost	La fitoextracción es una técnica que emplea plantas que tienen la capacidad de almacenar y eliminar sustancias tóxicas mediante sus procesos metabólicos, principalmente metales pesados absorbiéndolos en el tallo, raíz y hojas por lo que son denominadas plantas hiperacumuladoras (10) como el girasol y pueden ser asistidas, lo que conlleva el uso de agentes que solubilizan contaminantes en el suelo (vermicompost) mejorando el proceso de fitoextracción.	Se colocarán 2 semillas de girasol en cada macetero de suelo contaminado.	Morfología del girasol (11)	Tamaño de la planta (2)	cm	Ficha de observación
				Tamaño de la raíz (2)	cm	
				Número de hojas (2)	unidad	
			Absorción en la morfología del girasol	Longitud de las hojas (2)	cm	Ficha de observación
				Plomo absorbido en las hojas	mg/kg	
				Plomo absorbido en la raíz	mg/kg	
				Plomo absorbido en el tallo	mg/kg	
Absorción con adición de vermicompost (12)	Plomo absorbido con 25% de vermicompost	mg/kg	Ficha de observación			

Variable dependiente	Definición	Definición operacional (2)	Dimensión (2)	Indicador (2)	Escala de medida (2)	Instrumento (2)
				Plomo absorbido con 50% de vermicompost	mg/kg	
				Plomo absorbido con 75% de vermicompost	mg/kg	
Reducción de plomo	La presencia y aumento de plomo y otros metales pesados en el suelo afectan de manera negativa a los microorganismos, plantas y a la calidad del suelo y alteran las composiciones físicas y químicas del suelo (13).	Se utilizó un aproximado de 16 kg de suelo contaminado, 4 kg para el testigo, y 4 kg para los 3 tratamientos.	Concentración	Plomo inicial	mg/kg	Ficha de observación
				Plomo final	mg/kg	
				PH inicial		
				PH final	5-7.5	Ficha de observación
			Parámetros fisicoquímicos	Humedad inicial	%	
				Humedad final		

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la tesis “*Evaluación de diferentes niveles de vermicompost en el desarrollo de girasol ornamental en maceta (Helianthus annuus L.)*”. Primero, se trazó como objetivo valorar el efecto del vermicompost y la arena como medio de crecimiento y fuente de nutrientes para el crecimiento de la planta de girasol, la metodología fue experimental, se trabajó con 5 tratamientos con un testigo, se utilizó una mezcla de vermicompost/arena con una proporción de 10/90, 20/80, 30/70, 40/60 respectivamente y semillas de girasol ornamental de la variedad pacino, se evaluó el crecimiento de la planta, tamaño de hojas, tallo y raíz. En los resultados obtenidos el tratamiento T4 tuvo a la planta de girasol con mayor crecimiento, mientras que el valor más bajo lo presentó el T0 que fue el tratamiento sin ninguna adición de vermicompost y arena, el T3 tuvo el tallo más grueso, mayor número de hojas y anchura mayor de las hojas que los otros tratamientos, por lo cual el T3 es el mejor y tuvo un 30% de vermicompost y 70% de arena. Como conclusión se demostró que el vermicompost tiene un gran potencial en el desarrollo de la planta del girasol (14).

En la tesis “*Influencia de las Micorrizas Arbusculares en la fitoextracción con girasol en suelos contaminados por Pb y Cd*”. Se planeó como objetivo principal establecer cuanta capacidad fitorremediadora tiene el girasol con adición de micorrizas en suelos contaminados con plomo y cadmio, la metodología de la investigación fue experimental, ya que se hizo la contaminación del suelo con plomo y cadmio: 0 en el testigo, en el primer tratamiento 400, en el segundo tratamiento 800 y en el último 100 mg/kg, respectivamente, luego de eso se sembraron 2 semillas en cada uno para la inoculación más la adición de las micorrizas bajo condiciones de invernadero. En cuanto al resultado se observó que el girasol con la añadidura de micorrizas logró presentar una mayor acumulación de plomo más que las plantas que no estuvieron relacionadas con las micorrizas arbusculares, las semillas brotaron con un promedio de 56 al 64% en Pb y se logró una remoción del 67% por ciento en plomo. La mayor absorción de Pb se dio en las raíces y menor cantidad en el tallo y hojas. Como conclusión, la adición de micorrizas promueve la translocación de Pb a la parte aérea de planta y es una alternativa biológica para suelos contaminados con plomo (15).

En la tesis “*Fitoextracción de metales pesados de un suelo agrícola con girasol ornamental y sustancias húmicas*”, el objetivo principal fue determinar la capacidad del girasol en las 2 variedades “*Sunbright*” y “*Alpaccino*” con sustancias fúlvicas para absorber el zinc, el cadmio y el plomo con la adición de sustancias húmicas. En cuanto a la metodología fue experimental, las muestras estaban contaminadas con plomo, zinc y cadmio y se agregó 2 ml/l, 4ml/l, 6ml/l de sustancias fúlvicas y al testigo, se encontró que el suelo contenía 1085 mg/kg de plomo. Se evaluó el tamaño y peso fresco de la raíz, el tallo y la hoja y la acumulación de metales en estos. Como resultado se encontró que la variedad *sunbright* tuvo una absorción de 98 mg/kg de plomo y con adición de los ácidos fúlvicos ganó en 118%.18 al testigo, mientras que la variedad *alpaccino* se encontró que absorbió alrededor de 353,33 mg/kg de plomo y fue de mayor absorción. Se encontró

que el plomo se logró absorber en mayor cantidad en la raíz y en cuanto al peso seco hubo diferencias significativas en los diferentes tratamientos. Se concluyó que el girasol puede ser utilizado para la fitoextracción del plomo, en todos los tratamientos fue el metal más absorbido y que para la absorción de plomo se recomienda la variedad “*Alpaccino*” (16).

En el artículo “*Germinación del girasol silvestre (Helianthus annuus L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales*”. El primer objetivo tuvo determinar la capacidad de germinación de las semillas en suelos altamente contaminados con metales pesados, en la metodología sus tratamientos fueron soluciones acuosas de diferentes concentraciones a 0, 25, 50, 100, 200, y 400 mg/l de cadmio y plomo, el sustrato que se utilizó fue papel filtro, se utilizaron 50 semillas para cada tratamiento en 4 repeticiones. Tuvo como resultado diferencias poco significativas, la semilla germinó tanto en verano como en primavera y en todos los niveles de tratamiento, por lo tanto, el girasol puede ser utilizado desde la siembra y también que no solo los girasoles con crecimiento adulto logran resistir a la contaminación con plomo, sino la semilla del girasol logra tolerar concentraciones de plomo (17).

En el artículo “*Acumulación de metales pesados en Helianthus annuus desarrollado en residuos de mina*”, se evaluó el desarrollo de *Helianthus annuus L.* y su capacidad de extracción de plomo, cadmio y zinc en residuos de mina. En cuanto a la metodología se utilizó al jal como sustrato y se añadió dosis altas y bajas de composta de nitrógeno y fósforo, se realizó la trasplantación de girasol en el sustrato a los 20 días y se evaluó a los 3 meses de crecimiento del girasol. Los resultados obtenidos fueron que ningún metal pesado sobrepasó los límites máximos permisibles, la absorción de zinc, cadmio y plomo se dio en el tallo, mientras que el níquel y manganeso se concentraron en las raíces. Tuvo una eficiencia de remoción de 29.67% en 120 días de crecimiento. Como conclusión, el girasol tuvo un crecimiento

deficiente debido a las altas concentraciones de contaminantes, pero la planta fue capaz de acumular contaminantes en los tallos y hojas (18).

En la tesis “*Prueba piloto para la fitoextracción de cadmio usando Helianthus annuus en un suelo proveniente de la vereda El Zaden – Mesitas del Colegio*”. El trabajo tuvo como objetivo lograr mediante una prueba piloto la fitoextracción de cadmio mediante el girasol en suelos donde se cultiva café, en cuanto a la metodología fue experimental, se hicieron dos tratamientos uno con 0.2 mg/kg de cadmio y el segundo tratamiento con 0 mg/kg de cadmio. Se logró medir la acumulación de cadmio en el tallo del girasol durante los 4 meses de crecimiento y luego se elaboró un modelo con el software *Level One*. En cuanto a los resultados el girasol tuvo un gran porcentaje de bioacumulación en 4 meses de crecimiento, el porcentaje de bioacumulación fue del 60%. Se concluyó que el girasol a mínimas concentraciones de cadmio puede generar malformación en la flor (19).

2.1.2. Antecedentes nacionales

En el artículo “*Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost*”. Como objetivo tuvo la evaluación del efecto que tienen el compost y el vermicompost en la acumulación de plomo y cadmio, en cuanto a la metodología se emplearon los suelos agrícolas contaminados de las localidades de Muqui y Mantaro y se colocaron las semillas a 1 y 2 cm por debajo del suelo y se agregó vermicompost y compost a la dosis con 2% como tratamientos comparados con el testigo. En los resultados obtenidos el girasol logró absorber los metales pesados en su raíz, la aplicación de enmiendas orgánicas contribuye a solubilizar el Pb y Cd del suelo, además mejora el desarrollo del cultivo. Los altos contenido de Pb y Cd presentan efectos negativos como un menor desarrollo en las hojas, tallos y raíz y un desarrollo más lento. El *Helianthus annuus* logra acumular plomo en las raíces (55%), hojas (42%), flores (5%) y tallos (3%), los cultivos absorben

mayor contenido de plomo cuando este abunda en el suelo. Los valores de bioconcentración de plomo (0,53 – 0,66) fueron mejores que el cadmio, mientras que los niveles de translocación indicaron la capacidad del girasol como fitoestabilizador, usando el vermicompost. En el suelo de Muqui (T4, T5 y T6) se logró una absorción de 160 mg/kg y la mayor captación de plomo se dio en la raíz con 131 mg/kg (20).

En la tesis “*Capacidad remediadora y bioacumuladora de los órganos de Helianthus annuus L. “girasol” cuando son sometidas a diferentes concentraciones de plomo*”. Como objetivo principal tuvo evaluar la capacidad remediadora del girasol. En cuanto a la metodología fue experimental, utilizando 0, 500 y 1000 ppm de plomo en cada tratamiento con 3 repeticiones, las semillas fueron sembradas en macetas en suelos con textura arenosa en donde se aplicaron los tratamientos de plomo y fertilizantes. Los resultados obtenidos mostraron que la planta con el tratamiento de 1000 ppm de plomo absorbió en mayor cantidad en la raíz y menos cantidades en las hojas y tallo, pero en cuanto a longitud de las hojas y tallo presentó menores valores a los tratamientos de 0 y 500 ppm de plomo, el tratamiento uno tuvo 90,2 cm, el tratamiento dos, 95 cm y el tratamiento tres obtuvo 85 cm en el tamaño de crecimiento, mientras que en la longitud de la raíz se obtuvo 18 cm, 18.7 cm y 16 cm respectivamente en los 120 días de germinación. Se pudo concluir en que el girasol es una planta fitorremediadora donde la raíz es el órgano con mayor capacidad de bioacumulación y que el crecimiento se ve afectado a concentraciones mayores de 1000 ppm de plomo (21).

En la tesis “*Capacidad de absorción del Helianthus annuus en suelos agrícolas contaminados con cadmio*”. El trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de absorción de cadmio por el *Helianthus annuus* (“girasol”). El proceso de la metodología fue experimental. Se realizó la preparación de 1 l de solución de cloruro de cadmio monohidratado

(CdCl₂H₂O) a diferentes dosis de 10 ppm, 80 ppm y 160 ppm, la cantidad de suelo que se utilizó fue alrededor de 98 kg, que fue contaminado en tres dosis distintas, la primera dosis fue de 10 mg/kg, la segunda dosis fue de 80 mg/kg y la tercera de 160 mg/kg. Los resultados obtenidos fueron que según el valor de bioconcentración, se indica que todos los tratamientos cuentan con BCF mayor a la unidad, siendo la dosis de 160 ppm la que obtuvo los valores más altos; lo que la coloca como una planta hiperacumuladora, se obtuvieron bajos índices de translocación en los tres tratamientos, por lo que se concluyó que el girasol absorbe más en la parte radicular con respecto a la parte aérea de la planta debido a la toxicidad de contaminante (22).

2.1.3. Antecedentes locales

En la tesis "*Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de estevia y fitorremediación*". El estudio tuvo como principal objetivo principal estudiar el efecto de la aplicación de compost y vermicompost a base de estevia sobre la extracción de los metales pesados y la fertilidad de los suelos agrícolas del valle del Mantaro con la aplicación de la técnica de fitorremediación (23), se emplearon maíz y girasol para la remediación de suelos, se hicieron 20 plantaciones de maíz y 20 plantaciones de girasol. Los resultados obtenidos indican que la planta de maíz acumula plomo promedio en las raíces (80%), hojas (15%) y tallos (5%), para cadmio se tiene que acumulan un promedio en las raíces (91%) hojas (6%) y tallos (3%), mientras que el girasol acumula plomo en las raíces (55%), hojas (42%), flores (5%) y tallos (3%), en caso de cadmio acumulan en promedio en las raíces (40%), hojas (32%), tallos (20%) y flores (8%), también se encontró que el vermicompost de estevia fue el más efectivo para la absorción de nutrientes, no afectando a las plantas las altas concentraciones de Pb y Cd del suelo (23), por lo que se concluyó que el girasol y el maíz con la adición de enmiendas orgánicas logran una mayor acumulación de metales pesados (24).

En el artículo “*Riesgo ambiental por pasivo de relaves de la explanta metalúrgica de Yauris, Huancayo*”, se tuvo como objetivo determinar el riesgo ambiental por el pasivo de relaves de la explanta de metalurgia, en cuanto la metodología fue experimental, se hicieron análisis de los relaves en el suelo y agua y se estudiaron a 21 familias expuestas a los relaves (25). Como resultado se encontró que todas las concentraciones de plomo, cadmio y cromo exceden los límites máximos permisibles, el nivel de riesgo ambiental para los relaves es alto (78%) mientras que el riesgo para la salud de la población es moderado y la seguridad de la población es alto (25). Como conclusión los residuos mineros metalúrgicos depositados y abandonados con alto contenido de metales pesados vienen ocasionando daños a la salud de la población infantil y adulto mayor (25; 6).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Teorías físicas y químicas de la investigación

2.2.1.1. Fitorremediación

La fitorremediación es una definición nueva, esta palabra surgió en 1991 y está compuesta de la unión de dos palabras *fito*, que en la lengua griega tiene como significado de planta y vegetal y *remediar*, que significa remediar, que consiste que lograr un remedio hacia el daño o corregir algo mediante la fitorremediación, por lo tanto, fitorremediación busca corregir un daño mediante el uso de plantas y vegetales (26). La fitorremediación es una técnica que utiliza a plantas que logran reducir, remover, transformar, mineralizar, degradar, volatizar o estabilizar a los contaminantes presentes en él (27). Esta técnica consiste en lograr una mejora en el problema de contaminación orgánica o inorgánica en el agua o en el suelo. Algunas plantas tienen alta capacidad de acumular metales pesados.

Con el pasar del tiempo se han generado nuevos términos y se han generado las siguientes técnicas de fitorremediación.

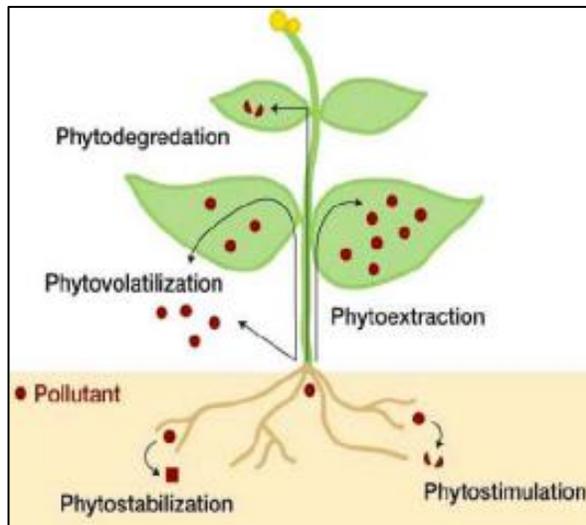


Figura 2. Representación esquemática de los métodos de fitorremediación. Tomada de Phytoremediation (28)

- a) **Fitoextracción:** la morfología de la planta logra captar concentraciones altas de contaminantes, mayormente en la parte de la flor, cosechada para realizar los análisis y ser debidamente gestionada. La fitoextracción se logra entender como la captación de iones metálicos mediante la raíz del girasol o de las plantas y su posterior acumulación en las hojas y tallos (29). Inicialmente, para la utilización de esta técnica es escoger cuidadosamente del tipo de planta y que esta sea adecuada para el tipo y característica del metal pesado.
- b) **Fitovolatilización:** las plantas mediante la evotranspiración logran volatizar muchos contaminantes, se puede volatizar compuestos orgánicos e inorgánicos, se refiere que cuando las plantas están creciendo y están en desarrollo, acumulan agua acompañado con los metales pesados (2), y muchos de estos pueden llegar hasta la parte aérea de la planta y posteriormente evaporarse a la atmósfera (30).
- c) **Fitodegradación:** es un proceso que consiste en la degradación de los metales pesados u otros compuestos que son metabolizados

por la planta, conduciendo a los contaminantes a ser extraídos y degradados de manera parcial o completa (31).

- d) **Rizofiltración:** utiliza al girasol y a otras plantas para poder eliminar al metal pesado a través de la raíz de la planta del girasol, algunas plantas se cultivan solo con agua, cuando el sistema radicular de la planta esté desarrollado se introduce al agua que contiene metales pesados en donde la raíz logra almacenar a estos contaminantes.



Figura 3. Raíz de un lirio acuático en tratamiento con Pb. Tomada de Fundamentos y aplicaciones (26)

- e) **Fitoestabilización:** este mecanismo permite la inmovilidad de los contaminantes en el suelo mediante la captación y la acumulación en las raíces de las plantas o por precipitación en la zona de la rizosfera, básicamente, lo que hace la planta es lograr un desarrollo de un sistema espeso de las raíces, lo que permite la reducción de la biodisponibilidad y la movilidad de los metales pesados, logrando evitar el transporte a capas subterráneas o a la atmósfera (2; 32).

2.2.1.2. Fitoextracción con girasol

Es uno de los métodos más usados en la actualidad, debido a su alta capacidad de absorber contaminantes, este puede considerarse como una tecnología a largo plazo, puesto que el girasol puede requerir ciclos de cultivo para terminar de absorber la mayor

cantidad de contaminantes (1), con el girasol los ciclos de cultivo son más cortos comparados con otras plantas, ya que es considerada como una planta hiperacumuladora, a continuación se muestra una figura con el proceso de fitoextracción del girasol.

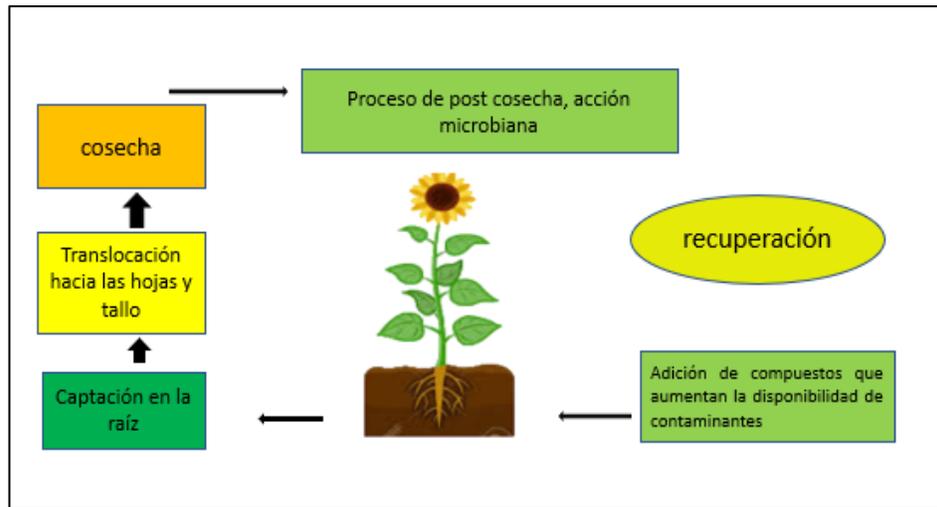


Figura 4. Proceso de fitoextracción con el girasol. Tomada de *Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites* (33)

El girasol es capaz de almacenar las concentraciones de metales pesados como el plomo, el cadmio y uranio en sus tejidos (2), mayormente estos son acumulados en la raíz y tallo, es por lo que el girasol es utilizado como planta fitorremediadora, reciclando y acumulando los contaminantes en su morfología (2; 34). Muchos estudios lograron reportar que el girasol, por su avanzada capacidad radicular, logra extraer el 10% al 65% de los metales pesados, además que el girasol tiene alto porcentaje de tolerancia a la toxicidad del plomo (17). Además, el girasol logra crecer en climas cálidos y fríos, se adapta a temperaturas que van desde los 8 °C hasta los 35 °C. cabe mencionar que la raíz del girasol puede lograr extraer agua del suelo que otras especies no logran acceder.

Además el girasol tiene la capacidad que el metal extraído por la raíz se almacene en las vacuolas y permite que el metal pase a un estado menos tóxico para la planta (35).

La fitoextracción con el girasol presenta algunas limitaciones y desventajas como el tiempo que toma en crecer, la fitoextracción se vuelve un proceso lento hasta la maduración de la planta, por otro lado, el contaminante acumulado en las hojas puede volver nuevamente al suelo en otoño, el girasol, en sitios donde no hay riego debe esperar la época de invierno para poder ser sembrada y requiere varios ciclos de cultivo para retirar el metal por completo (36).

Otra de las limitaciones de la fitoextracción con el girasol es el excesivo tiempo requerido para la recuperación del suelo, ya que se calcula que la descontaminación satisfactoria de suelos moderadamente contaminados requiere una eliminación de 200-1000 kg de metal por hectárea y por año en un periodo de 20 años. Además, la fitoextracción depende de variables específicas como características del suelo, nivel de contaminación, tipo de vegetación y clima (23).

2.2.1.3. Morfología del girasol y la acumulación del plomo

El plomo es una planta conocida como hiperacumuladora por su capacidad de absorber una variedad de metales pesados como el plomo, el cadmio y el níquel. La principal entrada que tienen estos metales es la raíz del girasol, esta es el tejido principal por donde entran los contaminantes en el girasol, estos logran entrar principalmente por el proceso de expansión en la parte central, a través de un proceso de intercambio catiónico y flujo masivo (37). La translocación a las hojas, tallo y flores dependerá de la raíz y de los

factores que retienen al plomo en la raíz como las micorrizas, las enmiendas orgánicas, entre otros.

2.2.1.4. Factores de bioacumulación

Existen diversos factores que ayudan a conocer la planta y su capacidad para translocar y absorber metales del suelo hacia la parte aérea de la planta.

a) índice de traslocación (TF)

Se obtiene mediante la división del metal presente en la parte aérea y el metal presente en la raíz de la planta.

$$\text{Factor de translocación} = \frac{[\text{Metal}] \text{ en la parte aérea de la planta}}{[\text{Metal}] \text{ en la parte de la raíz}}$$

Si es índice de translocación es > 1 significa que la planta logra trasladar de manera eficaz el metal de la parte de la raíz hacia la zona aérea de la planta, mientras que cuando el factor de translocación < 1 indica que la planta no es capaz de translocar de manera eficaz el metal desde la parte de la raíz hacia la zona aérea del girasol (38).

b) Factor de bioconcentración (BCF)

Se puede utilizar en conocer lo capaz que es la planta para lograr captar metales pesados en su morfología, que es la parte de la raíz y en la flor, con una correlación a la concentración del suelo donde valores > 1 indican que el girasol y otras especies son de potencial acumulador y las otras plantas que son excluidoras poseen un BCF menores a 1, así que es menor su capacidad de exclusión (22). Existen dos factores de BCF, en primer lugar está el BCF en la raíz de la planta, calcula la relación entre la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo (39).

$$BCR\ ra\acute{ı}z = \frac{[Metal]\ ra\acute{ı}z}{[Metal]\ suelo}$$

Este BCF de la parte a\u00e9rea del girasol y logra calcular la proporci\u00f3n del metal pesado contenido en las hojas y flor del girasol con respecto al metal presente en el suelo (39).

$$BCF\ a\u00e9rea = \frac{[Metal]\ a\u00e9rea}{[Metal]\ suelo}$$

2.2.1.5. Plomo en el suelo y factores de retenci\u00f3n

Como consecuencia de la actividad metal\u00fargica, minera e industrial existe alrededor de 30,000 toneladas de Cd y Pb en el suelo del mundo (40).

Los factores m\u00e1s importantes que influyen en la disponibilidad del metal en el suelo son: la presencia de la Mo, la capacidad de intercambio i\u00f3nico y el potencial de hidrogeno (pH) entre otros. Todos estos factores influyen en la solubilidad y la liberaci\u00f3n del metal o afectan a la planta para lograr absorber el metal pesado.

pH: El pH es el factor m\u00e1s importante, si el pH disminuye se logra una mayor absorci\u00f3n del metal, mientras que cuando el pH aumenta, el metal es absorbido por el coloide del suelo, logrando as\u00ed la inmovilidad y la baja biodisponibilidad (41). El plomo tiene como caracter\u00edstica lograr estabilizarse en formas poco solubles en las capas de la superficie del suelo. A concentraciones muy altos de pH el plomo se puede precipitar en forma de hidr\u00f3xido, carbonato y fosfato; a valores alcalinos el Pb se solubiliza, la mayor\u00eda de los elementos est\u00e1n disponibles a pH acido y en pH alcalino hay precipitaci\u00f3n (42).

Materia orgánica: la Mo que se encuentra en el suelo es un factor principal que logran determinar la disponibilidad de los contaminantes (43). Las enmiendas orgánicas con una elevada concentración de materia orgánica bajan la biodisponibilidad del plomo y otros metales con la formación de complejos con sustancias húmicas presentes en ella. Todo esto ocasiona que el metal pesado cambie de soluble a insoluble en asociación con la materia orgánica presente en el suelo (44).

Redox: la oxidación del metal pesado es acuoso en zonas con poco aire anaerobio reducido (suelos húmedos), esto conlleva a la precipitación del Pb y otros metales pesados, debido a la presencia de iones ferrosos y carbonatados, asimismo, en condiciones oxidantes el metal pesado se hace soluble y son más fáciles de absorber (45).

Textura del suelo: el suelo arcilloso tiende a absorber al metal, mientras que los suelos arenosos tienen baja capacidad de retener metales pesados (plomo) y pasan rápidamente al subsuelo.

2.2.1.6. Distribución del plomo en la raíz

En la parte inicial de la raíz de la planta, el plomo se une a un grupo de carboxilo uránico que se encuentran en el mucilago (46). El mucilago llega a lograr una barrera que protege al sistema radicular del metal que ingresó a la planta. La unión del metal pesado es liberados cuando el mucilago es biodegradado (46; 47).

La biota presente en el suelo afecta a la presencia del metal pesado por los procesos de solubilización y bioacumulación, además las ectomicorrizas logran tener influencia en la entrada y transporte del plomo (48). El plomo es retenido en las raíces por acción de la unión de este con los iones sobre la pared celular formando un depósito,

esta precipitación fuera de la célula corresponde a la forma del carbonato de plomo (49).

La alta concentración de plomo dentro de la raíz es diferente, dependiendo de la concentración de plomo y varía según la cantidad de presencia en el suelo (50), a menor distribución de Pb domina el flujo de iones de plomo en el apoplasto, mientras que a mayor presencia de plomo la barrera de plasmalema es dañada e ingresa una mayor concentración de plomo (46).

2.2.1.7. Transporte del plomo en la raíz

El plomo viene a ser un metal no esencial, este se mueve dentro del apoplasto de la raíz en forma de círculos mediante el córtex y así este se acumula en la endodermis, este actúa como un protector a la movilidad de plomo entre la parte de la flor y hojas y la raíz del girasol; los estudios, en su mayoría, muestran una mayor concentración en la raíz que en la parte aérea de la planta (51). El transporte del plomo de las raíces hacia otros órganos es debido a la barrera de la endodermis de la raíz (46); sin embargo, el plomo también se acumula y se mueve en el simplasto (49), el movimiento del plomo en la parte baja de la planta (raíz) tiene un camino que es la vía del apoplasto, ya que una gran concentración de plomo es captada por el agua (46; 52).

Existen tres vías anatómicas diferentes por donde se puede mover el agua; en primer lugar, la vía por donde se mueve es el apoplasto, el apoplasto de la raíz del girasol representa más del 10% de volumen de la planta (46; 49). En segundo lugar, se cree que el agua puede atravesar la pared celular y la plasmalema para después entrar al citoplasma y moverse a lo largo de la estructura del citoplasmático mediante los plasmodesmos que logra conectar al citoplasma y a las células adyacentes (49). Finalmente, es más

probable que el flujo de agua pase a través de la membrana plasmática y el tonoplasto, lo que convierte a la vacuola en una parte fundamental en la vía de transporte (53).

El mayor contenido de plomo se encuentra en la pared celular de la raíz y es diferente del resto de la planta (46). Las concentraciones de plomo se encuentran principalmente en los espacios intercelulares, en la pared celular y en las vacuolas, mientras que los depósitos más pequeños se encuentran en el retículo endoplasmático y dictiosomas, estas paredes celulares y las vacuolas absorben el 96% (54; 55). El plomo se limita al retículo endoplasmático y los dictiosomas porque solo una mínima concentración de plomo migra al núcleo, las mitocondrias y los cloroplastos, lo que hace que el metal se precipite desde la superficie celular hacia la vacuola (49).

La vía más importante para introducir el plomo a las plantas es la absorción mediante la raíz, ya que tiene un mecanismo para transportar iones de plomo; uno de los principales es la intercepción radicular, a medida que aumenta el volumen del sistema radicular de la planta, las raíces quedan expuestas a iones de plomo que están unidos electrostáticamente a la arcilla y a la materia orgánica (46). El segundo mecanismo es el flujo de masa, que implica mover el agua y los nutrientes desde el suelo hasta las raíces (22). Este proceso hace que la planta pierda agua debido a la transpiración, lo que reduce la capacidad de la planta para absorber agua entre la parte exterior e interior de esta.

2.2.1.8. Tolerancia del girasol frente al plomo

La planta ha desarrollado varias estrategias para evitar la toxicidad por metales pesados. La clorosis es uno de los síntomas más

comunes de la toxicidad del cadmio ante la baja existencia de hierro (56).

Los girasoles son muy resistentes a los metales pesados (cadmio y plomo) y su capacidad para secuestrar estos metales está determinada por la reducción del transporte intracelular de metales (46). Las raíces del girasol son la principal barrera que puede evitar la fijación de Pb por la pectina en la pared celular, los carbohidratos (calosa y mucilago) que se encuentran en las raíces logran intervenir en la inmovilización del plomo (46; 57).

Otra forma de resistencia hacia el plomo es la exclusión, en la que las plantas pueden movilizar oxígeno y desoxigenarse a través de las raíces, lo que finalmente logra un cambio en la rizosfera y la fijación de los metales pesados (46). Por otro lado, cuando el plomo se une al grupo carboxilo de los carbohidratos en la pared celular, disminuye la movilidad por la vía apoplástica (46; 58).

Cabe recalcar que el girasol logra la reducción del transporte o aumento de la extracción del Pb por transportadores de cationes de la membrana plasmática (56; 59). El Pb una vez dentro de la célula es secuestrado por ácidos orgánicos y después son unidos en la vacuola para lograr prevenir su toxicidad (22). Las fitoquelatinas forman parte de uno de los mecanismos principales de defensa frente al Pb, la síntesis tiene lugar en la glutatión y se logra inducir en presencia de metales pesados como el Pb (46; 60).

2.2.1.9. Vermicompost

El vermicompost es también conocido como humus de lombriz, consiste en la utilización de lombriz, quien procesa la basura orgánica (restos de comida y otros) (61).

El vermicompost es una tecnología que usa residuos orgánicos para convertirlos en fertilizantes orgánicos que tienen bajo costo, las lombrices “comelonas” más conocidas como las rojas californianas pueden consumir todo tipo de residuo, logran comer una cantidad igual a su peso corporal, el vermicompost es rico en nutrientes como el potasio, el calcio, magnesio y nitrógeno.

Su elaboración consiste en excavar un cuadrante de 1 metro cuadrado a una profundidad de 20 cm, consecutivamente, se coloca una capa y hojarasca, luego una capa de desechos vegetales, estiércol, agua y se cubre con un plástico oscuro por 30 días con revisiones de cada 5 días para una buena aireación, hasta que se produzca la composta que sirve como alimento para las lombrices, luego de los 30 días se hace la siembra de los lombrices y se agregan desechos vegetales cada 8 días.

En la producción del vermicompost se tienen en cuenta muchos factores como el clima, las características y el ambiente óptimo para la Mo, humedad, temperatura, y enemigos de las lombrices (62).

Tabla 2. Valores físicos del vermicompost

Indicador	Valor	Valor
MO	40	30
H %	30 - 40	40
C: N	<20	<20

Nota: tomada de Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género Pleurotus y anélidos de la especie Eisenia foetida (62)

2.2.1.10. Asociación del vermicompost y la acumulación del plomo

Los modificadores orgánicos como el vermicompost pueden afectar de manera negativa la actividad del plomo y otros metales en el suelo y alterar su disponibilidad, transporte y solubilidad (63). El vermicompost contiene una estructura porosa y grupo funcional que

contiene oxígeno, estas características influyen en las propiedades químicas y físicas del suelo y ayudan en la absorción del metal (64).

Al utilizar vermicompost en el suelo se logra mejorar la biota del suelo, modificar el pH y la textura de esta para que sea favorable en el crecimiento de la planta, por lo que la adición de vermicompost u otras enmiendas orgánicas ayudan a mejorar las condiciones físicas del suelo para poder tener un mejor proceso de fitoextracción de plomo (65).

Aplicar enmiendas orgánicas favorece al ingreso de nuevos compuestos orgánicos ajenos que logran interactuar con compuestos ya existentes (2), el vermicompost ayuda a la acción de los microorganismos que ayudan en la descomposición de los complejos, solubilización de metales que pueden estar inmovilizados en el suelo (2; 66).

La dispersión de Pb en las fases sólidas del suelo depende del CIC y pH de este. La materia orgánica es la fase sólida con mayor influencia en este proceso de absorción del metal pesado, por ello el Pb se asocia a minerales de arcilla, óxidos de Fe-Mn, hidróxidos de Fe-Al y al vermicompost (67).

2.3. Marco legal

2.3.1. Guía para el muestreo de suelos, R. S. N.° 085-2014-MINAM

La guía para el muestreo de suelos logra determinar si existe o no daños en el suelo, la alta concentración a nivel de fondo y también determina si las acciones que se realizaron para la remediación de los suelos tuvieron un excelente resultado en la disminución del contaminante (2).

2.3.2. ECA para suelo D. S. N.° 011-2017-MINAM

Tienen como objetivo establecer estándares de calidad ambiental, en particular cualquier proyecto o actividad en el territorio del país que genere riesgo de contaminación del suelo tiene que respetar lo establecido en la norma para poder preservar el suelo (2).

Tabla 3. ECA suelo

Parámetros en mg/kg PS ⁽²⁾	Usos del Suelo ⁽¹⁾			Métodos de ensayo ^{(3) > (4)}
	Suelo Agrícola ³	Suelo Residencial/ Parques ⁴	Suelo Comercial ⁵ / Industria/ Extractivo ⁶	
ORGÁNICOS				
Hidrocarburos aromáticos volátiles				
Benceno	0,03	0,03	0,03	EPA 8260 ⁸ EPA 8021
Tolueno	0,37	0,37	0,37	EPA 8260 EPA 8021
Etilbenceno	0,082	0,082	0,082	EPA 8260 EPA 8021
Xilenos ⁽¹⁰⁾	11	11	11	EPA 8260 EPA 8021
Hidrocarburos poliaromáticos				
Naftaleno	0,1	0,6	22	EPA 8260 EPA 8021 EPA 8270
Benzo(a) pireno	0,1	0,7	0,7	EPA 8270
Hidrocarburos de Petróleo				
Fración de hidrocarburos F1 ⁽¹⁶⁾ (C6-C10)	200	200	500	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F2 ⁽¹⁶⁾ (>C10-C28)	1200	1200	5000	EPA 8015
Fración de hidrocarburos F3 ⁽¹⁶⁾ (>C28-C40)	3000	3000	6000	EPA 8015
Compuestos Organoclorados				
Bifenilos policlorados - PCB ⁽¹⁴⁾	0,5	1,3	33	EPA 8082 EPA 8270
Tetracloroetileno	0,1	0,2	0,5	EPA 8260
Tricloroetileno	0,01	0,01	0,01	EPA 8260
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50	140	EPA 3050 EPA 3051
Bario total ⁽¹⁸⁾	750	500	2 000	EPA 3050 EPA 3051
Cadmio	1,4	10	22	EPA 3050 EPA 3051
Cromo total	**	400	1 000	EPA 3050 EPA 3051
Cromo VI	0,4	0,4	1,4	EPA 3060/ EPA 7199 ó DIN EN 15192 ⁽¹⁶⁾
Mercurio	6,6	6,6	24	EPA 7471 EPA 6020 ó 200.8
Plomo	70	140	800	EPA 3050 EPA 3051
Cianuro Libre	0,9	0,9	8	EPA 9013 SEMWW-AWWA-WEF 4500 CN F o ASTM D7237 y/o ISO 17690:2015

Nota: tomada de Suelo contaminado (68)

2.4. Definición de términos básicos

2.4.1. Girasol

El girasol cuyo nombre científico es *Helianthus annuus L.* tiene origen en Estados Unidos, el crecimiento de esta planta es de aproximadamente 80 a 120 días, su tallo es veloso y áspero, la altura va desde los 60 a 220 cm (1), su tiempo de floración es a los 2 meses de su germinación, existen muchas variedades y tipos, algunas de estas son las forrajeras, oleaginosas y ornamentales (69).

Tabla 4. Clasificación taxonómica del girasol

Clase	Angiosperma
Subclase	<i>Dicotiledóneas</i>
Orden	<i>Synandrae</i>
Familia	<i>Compositae</i>
Subfamilia	<i>Tubiflorae</i>
Tribu	<i>Heliantheae</i>
Especie	<i>Annuus</i>
Género	<i>Helianthus</i>
Nombre científico	<i>Helianthus annuus</i>

Nota: tomada de Fitoextracción con *Helianthus annuus L.* (1)

2.4.2. Plomo

El plomo es un elemento no esencial encontrado mayormente en la corteza terrestre, es un metal denso azul grisáceo. Tiene dos estados de oxidación, es metal blando y tiende a deslizarse. El plomo es un metal pesado muy tóxico que daña al ambiente y a la salud humana (49).

Tabla 5. Propiedades fisicoquímicas del plomo

Símbolo químico	Pb
Valencia	2.4
Grupo	IVB
Punto de fusión	327 °C
Punto de ebullición	1744 °C
Numero atómico	82
Peso atómico	207.2
Densidad	11.3 g/cm ³
Símbolo químico	Pb
Valencia	2.4
Grupo	IVB

Nota: tomada de Capacidad de absorción del *Helianthus annuus* en suelos agrícolas contaminados con cadmio (22)

2.4.3. Raíz

La raíz generalmente crece más veloz que en las partes aéreas, asimismo, tiene de 4 a 8 cm de largo y 6 a 10 extensiones. Asimismo, llega a una profundidad de 50 a 70 cm.

2.4.4. pH

Este es un factor importante en el control de la biodisponibilidad del plomo en las plantas. Los metales están más disponibles a pH ácido, ya que al originarse un descenso del pH, mejora la solubilidad del metal y por lo tanto mejora la absorción del metal por la raíz del girasol (70).

2.4.5. Humedad

Los girasoles consumen altas concentraciones de agua durante su crecimiento y formación. Las plantas tienen la necesidad de una mayor cantidad de agua durante su proceso de crecimiento y alcanzan el punto máximo durante el periodo del brote del capullo y la floración (1).

2.4.6. Metal no esencial

Es aquel que no tiene una función biológica conocida, a cantidades muy altas en el suelo, logran dañar a los organismos y a las plantas como el plomo, el cadmio, el arsénico, el mercurio, el titanio, el estroncio, el antimonio entre otros (1; 71).

2.4.7. Suelo

Es una fina capa que se forma muy lento a lo largo de los años, con el colapso de las rocas en la superficie bajo la influencia del agua, los cambios de temperatura y el viento. La vegetación y la fauna que crecen y mueren en el suelo se descomponen y se mezclan para convertirse en materia orgánica por acción de los microorganismos (72).

2.4.8. Espectrofotometría

La espectrofotometría de absorción atómica es un método para determinar la concentración de varios metales pesados en el suelo. Tiene su propio espectro basado en la absorción de las longitudes de onda definidas por cada material (73). Tiene muchos usos en el campo de la ingeniería, medicina y otras ciencias (74).

2.4.9. Toxicidad

La toxicidad es el resultado cuando un organismo está sometido a una concentración excesiva de un metal durante un periodo largo, cuando el metal se presenta de forma bioquímica y cuando la planta lo absorbe por la raíz (75).

2.4.10. Bioacumulación

Indica la acumulación de metales u otras sustancias que quedan en la planta a lo largo del tiempo por organismos y seres no vivos como el aire, suelo y agua (76).

2.4.11. Enmienda

Se entiende por enmienda al producto (vermicompost) que se adiciona al suelo para mejorar la bioestimulación y poder recuperar la actividad microbiana del suelo y mejorar las condiciones físicas y químicas con la aportación de nutrientes como el carbono, fósforo y nitrógeno (77).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Metodología y alcance de la investigación

3.1.1 Método

Se utilizó el método científico, puesto que esta investigación consiste en definir claramente el problema, los objetivos, tener fundamentación teórica y plantear una buena hipótesis y llegar a su validación correspondiente para la formulación de conclusiones.

Por ello, el método científico se refiere al conjunto de etapas que sirven para obtener el conocimiento válido desde la mirada científica, utilizando las herramientas e instrumentos con resultado (78).

El método de aplicación en la investigación presentada sigue los siguientes pasos:

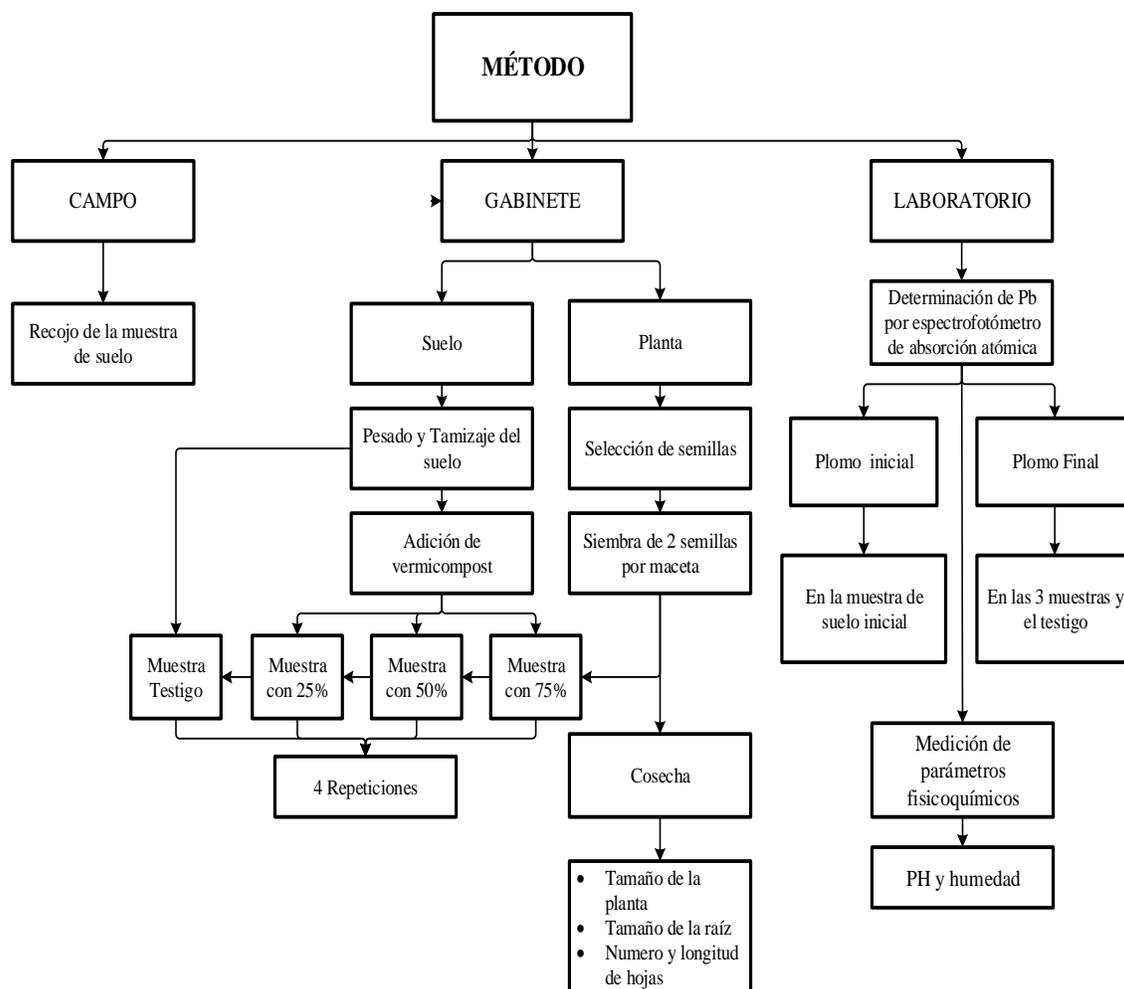


Figura 5. Método de investigación

3.1.2 Nivel

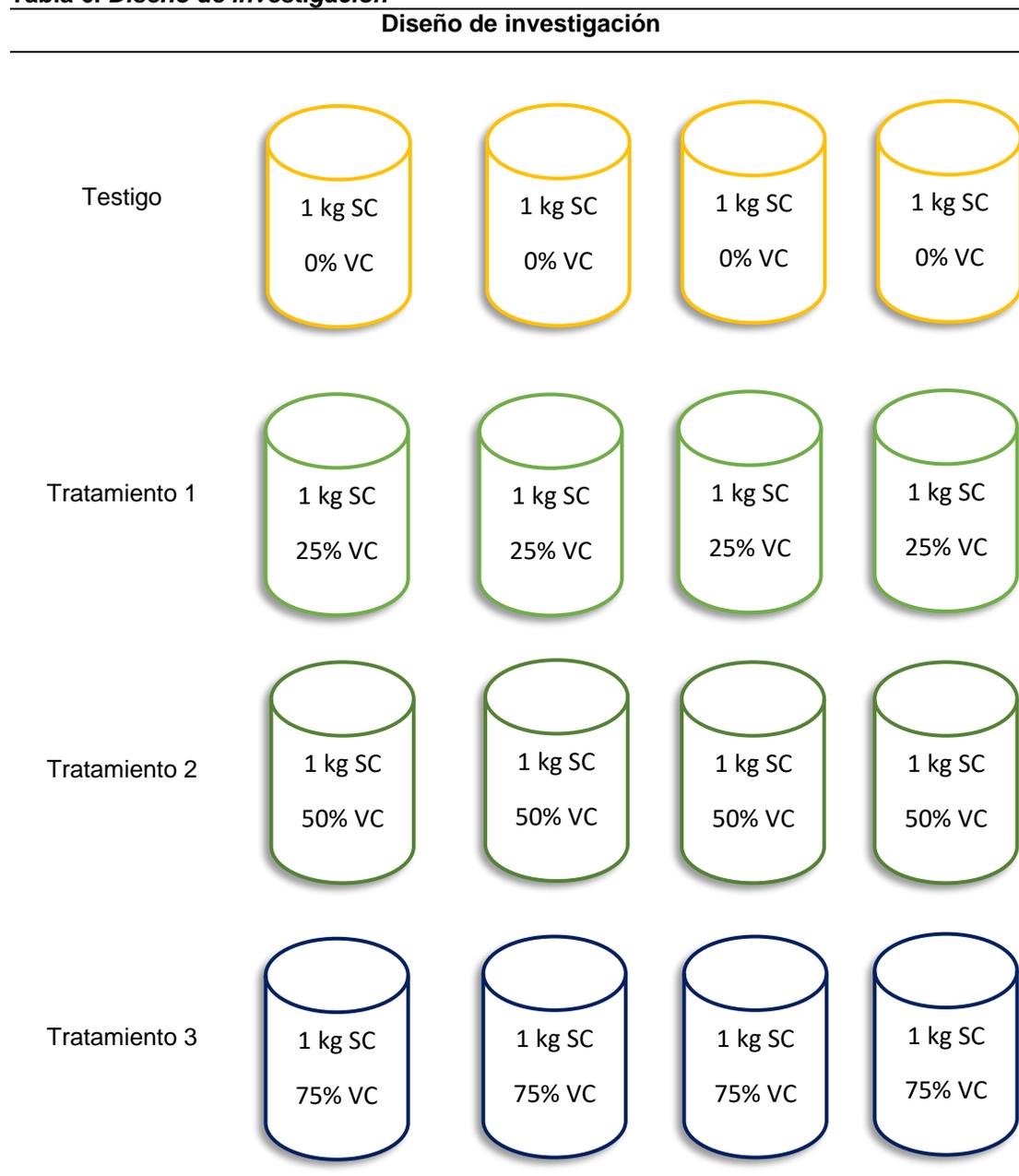
El nivel del presente trabajo es explicativo, debido a que se explicaron las causas que se dan en la disminución de la concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de metalurgia de la UNCP, utilizando el girasol para la fitoextracción. El nivel explicativo se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da este, o porque dos o más variables están relacionadas (79).

3.2 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es experimental puro, porque se tendrá un grupo de control y se medirá el efecto que la variable independiente (fitoextracción con

girasol y enmienda de vermicompost) sobre la dependiente (reducción de plomo) se tendrá un testigo y se hará la prueba con 3 tratamientos, cada uno de estos tratamientos tiene 4 repeticiones. El testigo tendrá 0% de adición de vermicompost. El tratamiento 1 contará con 25% de adición de vermicompost, el tratamiento 2 contará con 50% de adición de vermicompost y el tratamiento 3 con 75% de adición de vermicompost.

Tabla 6. *Diseño de investigación*



3.2.1 Diseño experimental de la investigación

El trabajo de investigación se realizó mediante un diseño completamente al azar con un solo factor, con un total de 4 tratamientos y con 4 repeticiones, seleccionando el más eficiente para la disminución en la concentración de plomo en suelos contaminados de la planta de metalurgia de la UNCP. El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = respuesta observada con el tratamiento i en la repetición j

μ = media general

τ_i = efecto del tratamiento i; i= 1,2,3 y 4

ε_{ij} = término del error asociado al tratamiento i en la repetición j

3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

La población son los suelos contaminados con cadmio de la planta de metalurgia de la UNCP-Yauri.

3.3.2 Muestra

La muestra fueron 15 kg de suelo contaminado con plomo, se recogieron con la ayuda de palas y bolsas para su recolección. Así mismo, se utilizaron 30 semillas de girasol que se eligieron al azar.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnica de recolección de datos

La técnica utilizada en la investigación fue la observación para evaluar la capacidad de fitoextracción del girasol para la reducción de suelos contaminados con plomo de la planta de metalurgia de la UNCP (2), el motivo por el que se utilizó esta técnica es debido a que es una investigación de

diseño experimental donde la recolección de datos estuvo controlada por quien investiga, y se hizo una manipulación de variables (1).

Observar es la técnica de mirar cuidadosamente un fenómeno, recolectar información y registrarla para su análisis final (80), esta información es confiable y válido de los comportamientos que se manifiesta en el estudio. Se utilizó la observación directa para observar el comportamiento y los cambios en el girasol, en el testigo y en los 3 tratamientos con adición de compost y presencia de plomo.

Para las pruebas de laboratorio se utilizó la observación experimental, ya que elabora datos bajo condiciones controladas por el investigador.



Figura 6. Observación experimental de la prueba de absorción de plomo en laboratorio

3.4.2 Instrumento de recolección de datos

El instrumento de recolección de datos utilizado fue la ficha de observación (anexo 2), estas ayudaron para poder lograr una observación en los cambios que se generó en las variables (1).

3.5 Materiales y métodos

3.5.1 Recolección de la muestra de suelo

Para el recojo de la muestra de suelo se utilizó la guía para muestra de suelos D. S. N.º 002-2013-MINAM, después se delimitó la zona donde se realizaron 5 calicatas con una profundidad de 30 cm.

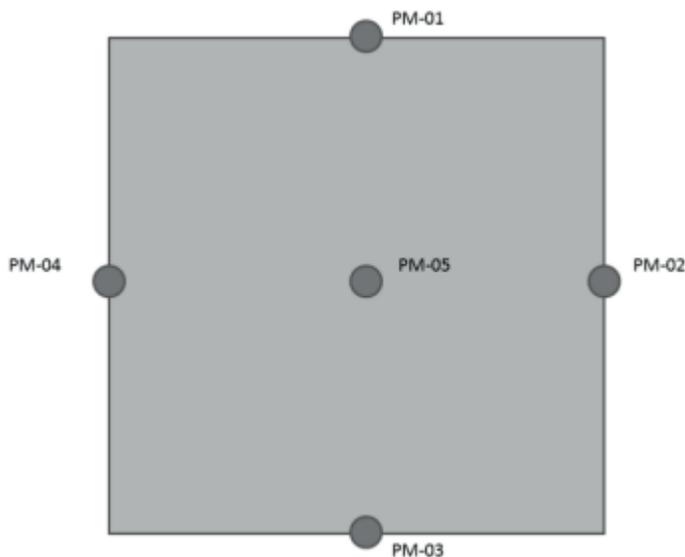


Figura 7. Localización de puntos de muestreo. Tomada de Guía para el muestreo de suelos (81)

Después de realizadas las 5 calicatas estas se agruparon y se retiraron las piedras y otros materiales que se encuentran en las muestras, a continuación, se ejecutó la técnica del cuarteo, y luego se obtuvo la muestra testigo de 1 kg con 4 repeticiones, y lo mismo para los otros tratamientos. De cada uno se sacó 1 kg y se colocó en bolsas negras, adicionando un *sticker* donde se escribió el nombre, lugar y fecha. Las muestras restantes se colocaron en sacos para luego trasladarlos y colocarlos en maceteros.

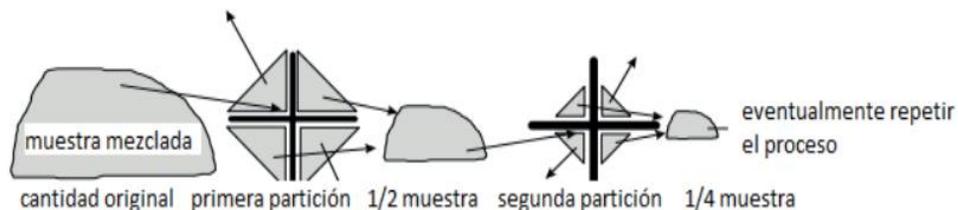


Figura 8. Método del cuarteo. Tomada de Guía para el muestreo de suelos (81)

3.5.2 Análisis del suelo

Para el análisis de suelo se hizo la recolección de alrededor de 20 kg de suelo, siguiendo la guía de muestreo del Minam, y se llevó a analizar 1 kg de cada tratamiento al laboratorio de suelos, RCJ Lab Universal para conocer

la concentración inicial de plomo, así mismo se realizaron muestreos al final de cada ensayo por tratamientos para el análisis de suelo correspondiente.

Métodos seguidos en los análisis de suelos

- **pH:** medida en el potenciómetro de la suspensión suelo: agua relación 1:1 o en suspensión suelo: KC1 1 N. relación 1:2,5.
- **Humedad:** medida por el gravimétrico, pesar la muestra de suelo y después de su secado calcular el contenido de humedad.
- **Pb:** extracción con ácido nítrico, cuantificación por absorción atómica.

3.5.3 Materiales para la recolección de la muestra de suelo

Los materiales utilizados para la muestra de suelo fueron las siguientes:

- Pico y lampa para el recojo de la muestra de suelo
- Guantes quirúrgicos
- Guardapolvo
- Bolsas de polietileno negras
- Marcador
- *Stickers*

3.5.4 Materiales para la siembra y selección de las semillas

- Bolsas negras para vivero
- Macetas
- Paleta
- Balanza
- Mantada
- Tamizador
- *Stickers*
- Marcador

3.5.4.1 Recojo de datos

Se realizó el recojo de datos en los diferentes tratamientos tomando en cuenta parámetros fisicoquímicos como:

- Hojas con color verde
- La raíz principal del girasol debe tener raíces laterales y tener gran vigor.
- Las hojas deben contener hojas enteras.
- Los girasoles deben ser de tamaño similar.
- El tallo debe estar verde.

También se excluyeron algunos criterios que no forman parte del estudio como:

- Hojas amarillas
- Hojas secas
- Girasoles podridos
- Girasoles con hojas rotas
- Girasoles con aspecto débil

Se midieron los parámetros fisicoquímicos en el INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria) y las características morfológicas del girasol en gabinete.

Tabla 7. Recojo de datos

Datos	Hora	Fecha	Lugar	Se incluye	Se excluye
• Humedad • pH	9:00 am – 2:00 pm		INÍA	Todas las muestras	-
• Tamaño de la planta (1) • Número de hojas (1) • Longitud de hojas (1)	9:00 am – 2:00 pm		Gabinete	Girasoles que tengan tamaño similar	Girasoles con hojas dañadas y podridas

Nota: tomada de Fitoextracción con *Helianthus annuus L.* (1)

3.5.4.2 Proceso de análisis de datos

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de las diferencias que se pueden observar entre los tratamientos de las variables, se realizó la prueba de Anova de un factor y la prueba posHoc ($\alpha = 5\%$) como contraste en el programa SPSS.

Análisis de resultados

Para el análisis de resultados se usó el programa Excel para la elaboración de tablas y los gráficos que muestran la eficiencia del girasol para la extracción de plomo en suelos contaminados con este.

Finalmente, se sacará la eficiencia de remoción por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde:

Ci: concentración inicial (mg/kg) (1)

Cf: concentración final (mg/kg) (1)

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Resultados de la evaluación de la capacidad de fitoextracción del girasol para la reducción de plomo en suelos contaminados

Tabla 8. Absorción en la morfología del girasol

Tratamiento	Repeticiones	Plomo absorbido en las hojas del girasol (mg/kg)	Plomo absorbido en el tallo del girasol (mg/kg)	Plomo absorbido en la raíz del girasol (mg/kg)	Plomo total absorbido en la morfología del girasol (mg/kg)
Testigo	Repetición 1	5.43	4.87	24.50	34.8
	Repetición 2				
	Repetición 3				
	Repetición 4				
T1	Repetición 1	13.78	10.34	54.32	78.44
	Repetición 2				
	Repetición 3				
	Repetición 4				
T2	Repetición 1	17.32	15.23	167.56	200.11
	Repetición 2				
	Repetición 3				
	Repetición 4				
T3	Repetición 1	18.35	12.16	154.76	185.27
	Repetición 2				
	Repetición 3				
	Repetición 4				

Nota: tomada de RCJ Lab Universal (anexo 6)

En la tabla número 7 se muestra la estructura de absorción del girasol, en los 90 días de crecimiento de este se puede observar que la mayor absorción se dio en las raíces, el T2 tuvo la mayor absorción con 167.56 mg/kg de plomo extraído, mientras que el T3 tuvo una mayor absorción en las hojas que los otros tratamientos con 18.35 mg/kg de plomo extraído, la extracción del girasol va de forma ascendente, primero en las raíces, después en las hojas y, por último, en el tallo y flores, puesto que el suelo no presentó presencia de arcilla, la retención de plomo fue menor .

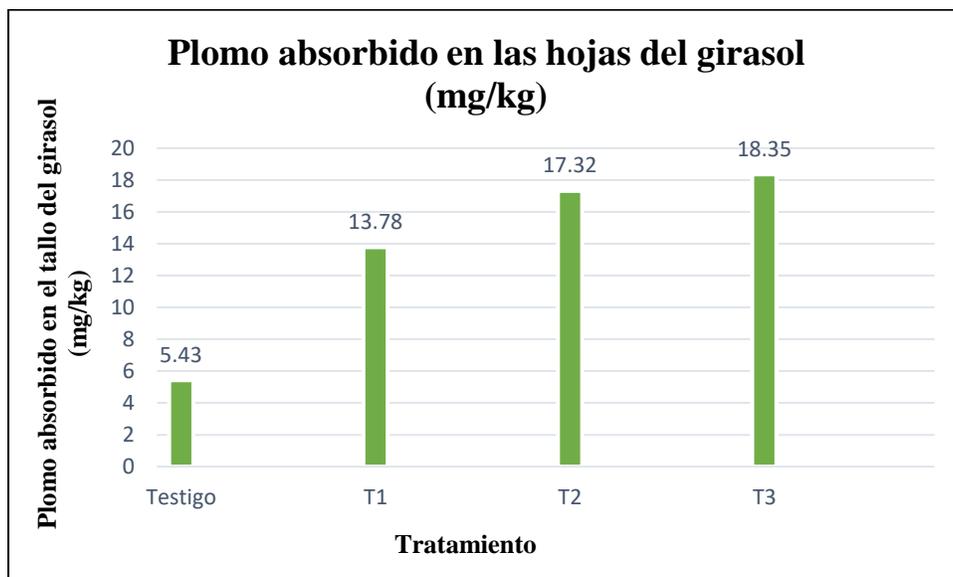


Figura 9. Plomo absorbido en las hojas

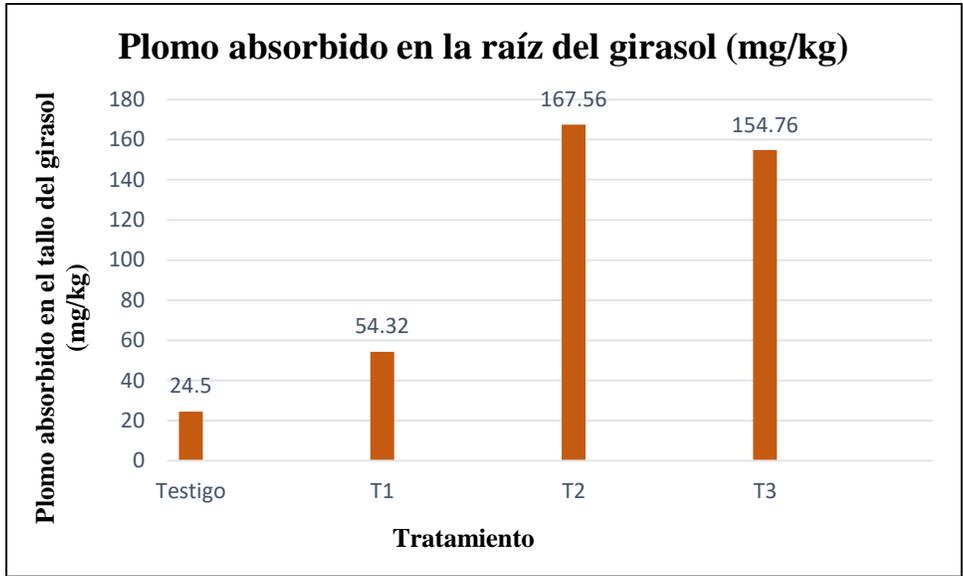


Figura 10. Plomo absorbido en la raíz

En la figura número 7 se puede observar la acumulación del plomo en la raíz, así mismo, se puede observar que la adición de vermicompost influyó en la mayor absorción de plomo (2). La raíz es el órgano principal por donde se logra acumular el plomo y otros metales pesados en forma de plomo-fosfato, ya que la pared celular es estimulada para su engrosamiento (82). El plomo puede quedarse retenido en la pared celular por acción de la lignina y celulosa (83).

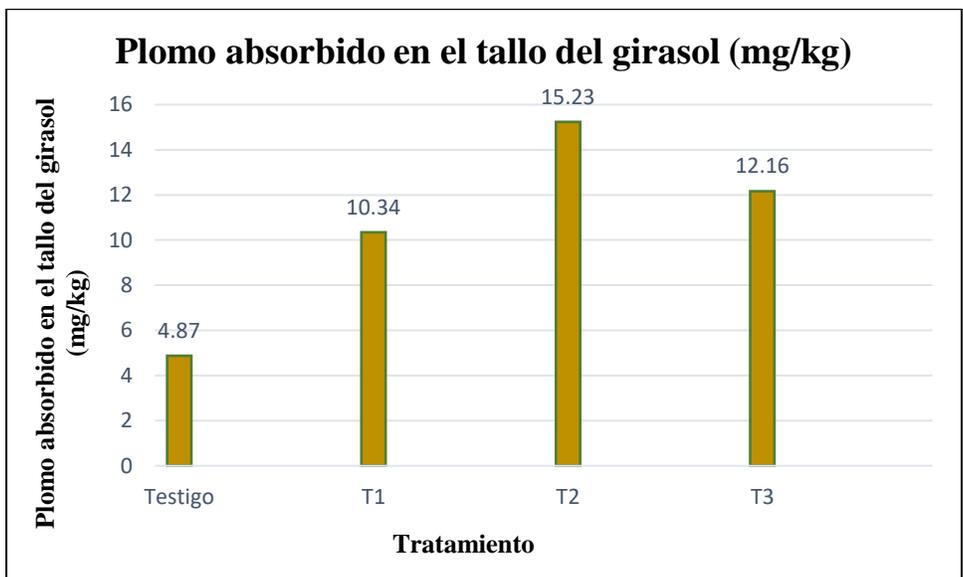


Figura 11. plomo absorbido en el tallo del girasol

En la figura 11 se puede observar que el T2 tuvo una mejor absorción en el tallo a comparación de los otros tratamientos, el testigo mostró deficiencias en el desarrollo del tallo.

4.2 Resultado de la adición del vermicompost al 20%, 50% y al 70% y cómo influye en la absorción de plomo mediante el girasol

Tabla 9. Resultado de la absorción de plomo con la adición de vermicompost por repeticiones

Tratamiento	Adición de vermicompost	Repeticiones	Plomo inicial (mg/kg)	Plomo final (mg/kg)	Plomo absorbido por el girasol (mg/kg)
Testigo	0% de vermicompost	Repetición 1	1100	1086.65	13.35
		Repetición 2		1088.68	11.32
		Repetición 3		1088.68	17.83
		Repetición 4		-	-
T1	25% de vermicompost	Repetición 1	1023.34	995.78	27.56
		Repetición 2		1005.77	17.57
		Repetición 3		1000.74	22.60
		Repetición 4		997.00	26.34
T2	50% de vermicompost	Repetición 1	1204.36	1145.22	59.14
		Repetición 2		1147.75	56.61
		Repetición 3		1156.29	48.07
		Repetición 4		1151.79	52.57
T3	75% de vermicompost	Repetición 1	1134	1090.66	43.34
		Repetición 2		1069.13	64.87
		Repetición 3		1086.44	47.56
		Repetición 4		1081.6	52.40

Nota: tomada de RCJ Lab Universal (anexo 5)

En la tabla 8 se puede observar el plomo absorbido en las repeticiones de cada tratamiento, el T2 tuvo mayor absorción en la repetición 1 con 59.14 mg/kg de cadmio, mientras que el T1 tuvo la menor absorción en la repetición 2 con 17.57 mg/kg de plomo

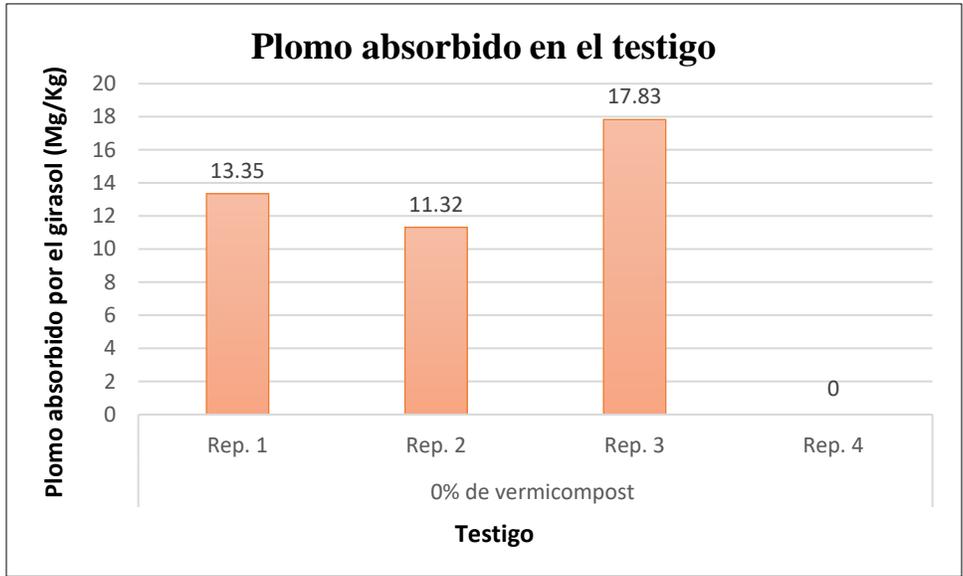


Figura 12. Plomo absorbido en el testigo

En la figura 12 se pueden observar los valores de plomo fitoextraído en el testigo durante los 3 meses de crecimiento del girasol, se muestra que, la repetición 3 logró una mayor absorción comparado a las otras repeticiones, la repetición 4 tuvo menor fitoextracción de plomo con un valor de 0 mg/kg debido a que las semillas de girasol germinaron, pero murieron a los 5 días.

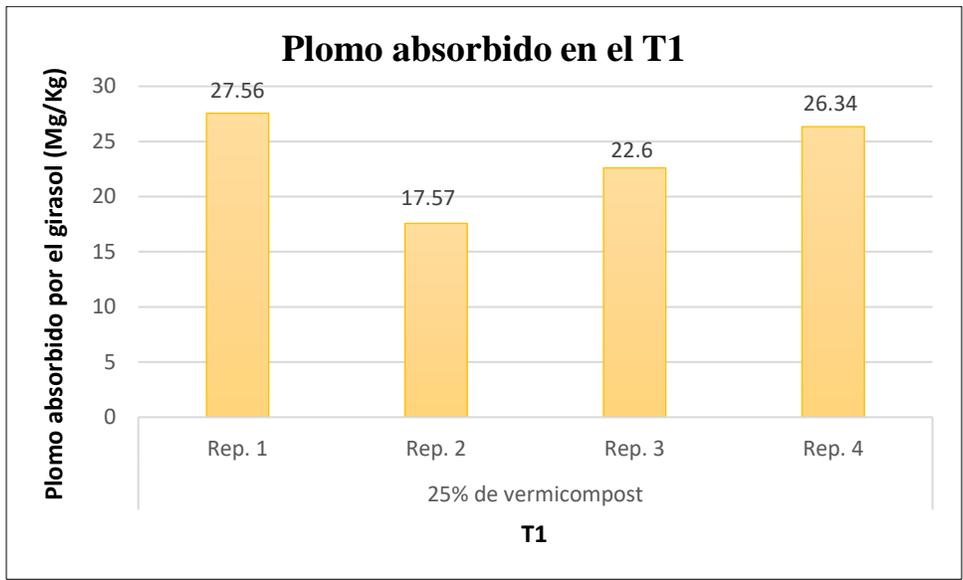


Figura 13. Plomo absorbido en el T1

En la figura 13 se muestra la absorción de plomo en el T1 durante los 3 meses de crecimiento del girasol (2), la repetición 1 tuvo mayor fitoextracción de plomo con un valor de 27.56 mg/kg, mientras que la repetición 2 tuvo un menor valor de fitoextracción con 17.57 mg/kg.

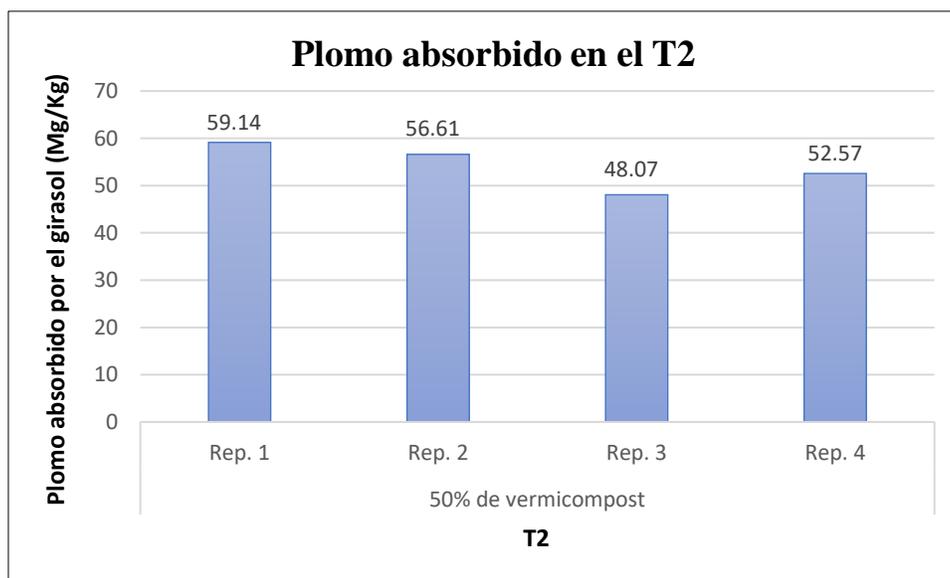


Figura 14. Plomo absorbido en el T2

En la figura 14 se muestra la absorción de plomo en el T2 durante los 3 meses de crecimiento del girasol (2), la repetición 1 tuvo mayor fitoextracción de plomo con un valor de 59.14 mg/kg, mientras que la repetición 3 tuvo un menor valor de fitoextracción con 48.07 mg/kg.

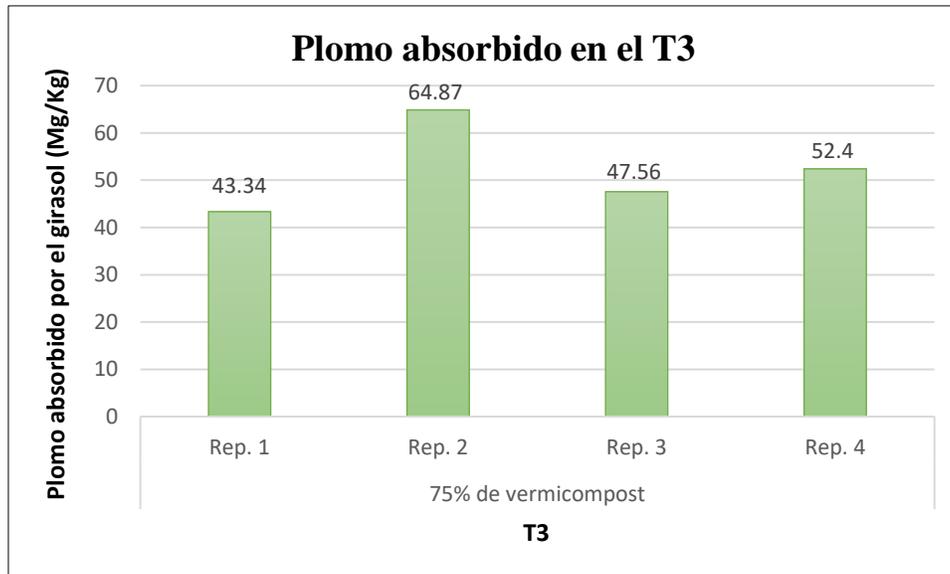


Figura 15. Plomo absorbido en el T3

En la figura 15 se muestra la absorción de plomo en el T3 durante los 3 meses de crecimiento del girasol (2), la repetición 2 tuvo mayor fitoextracción de plomo con un valor de 64.87 mg/kg, mientras que la repetición 1 tuvo un menor valor de fitoextracción con 43.34 mg/kg.

Tabla 10. Resultado de la absorción de plomo con la adición de vermicompost por tratamiento

Tratamiento	Adición de vermicompost	Repeticiones	Plomo inicial (mg/kg)	Plomo final (mg/kg)	Promedio de plomo absorbido por el girasol
Testigo	0% de vermicompost	Repetición 1	1100	1057.5	42.5
		Repetición 2			
		Repetición 3			
		Repetición 4			
T1	25% de vermicompost	Repetición 1	1023.34	929.27	94.07
		Repetición 2			
		Repetición 3			
		Repetición 4			
T2	50% de vermicompost	Repetición 1	1204.36	987.97	216.39
		Repetición 2			
		Repetición 3			
		Repetición 4			
T3	75% de vermicompost	Repetición 1	1134	925.83	208.17
		Repetición 2			
		Repetición 3			
		Repetición 4			

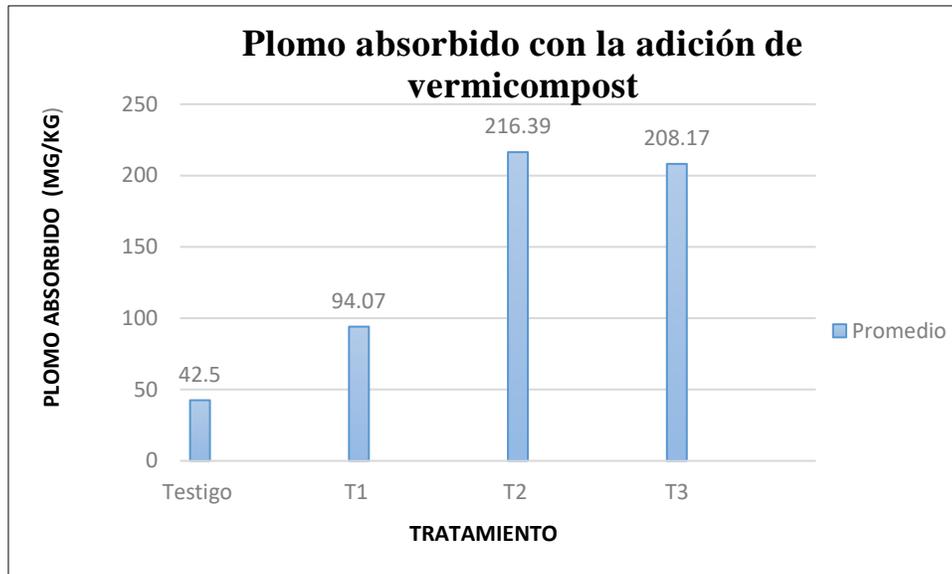


Figura 16. Plomo absorbido con la adición de vermicompost

En la tabla 10 se muestra cómo la adición de vermicompost influyó en la absorción de plomo durante los 3 meses de crecimiento del girasol, desde el T2 (25% de vermicompost) hubo un ascenso en la fitoextracción de plomo, el T2 (50% de vermicompost) tuvo una absorción de 216.39 mg/kg de plomo absorbido, que es mayor a los otros 2 tratamientos y al testigo.

Al ser un suelo de contextura arenosa, hubo una menor retención del metal, puesto que el plomo es retenido en suelos arcillosos, con alto contenido de CIC.

4.3 Resultado de las características morfológicas del girasol

4.3.1 Tamaño de la planta

Tabla 11. Tamaño de la planta de girasol en los diferentes tratamientos

Tratamiento	Repetición	Tamaño de la planta (1) (cm)	Promedio (1) (cm)
Testigo	Repetición 1	19	16.7
	Repetición 2	13	
	Repetición 3	18	
	Repetición 4	-	
T1	Repetición 1	49	35.3
	Repetición 2	21	
	Repetición 3	30	
	Repetición 4	41	
T2	Repetición 1	63	50.5
	Repetición 2	51	

	Repetición 3	42	
	Repetición 4	46	
	Repetición 1	32	
T3	Repetición 2	54	42.5
	Repetición 3	41	
	Repetición 4	43	

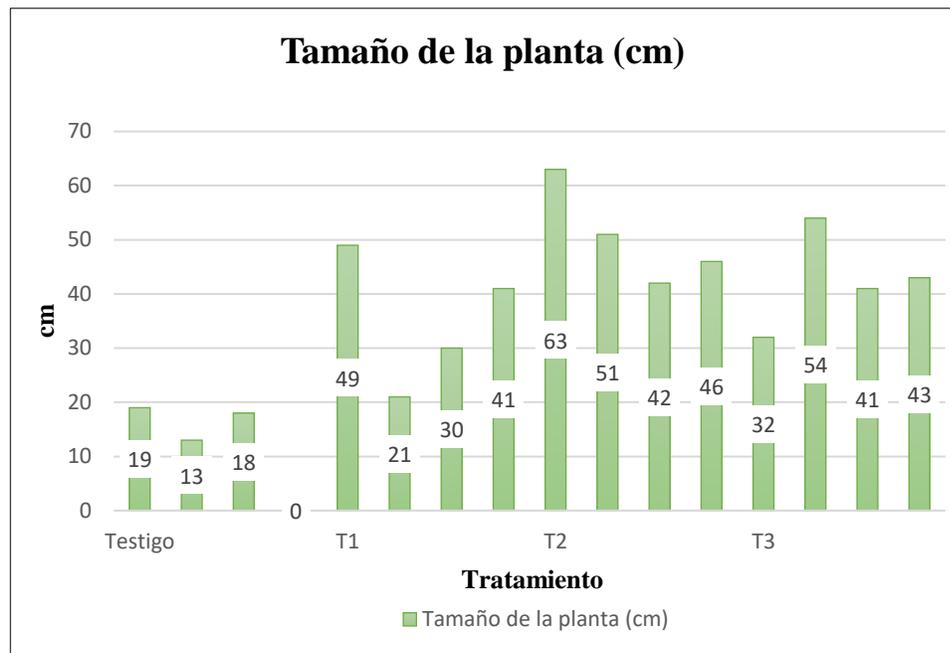


Figura 17. Tamaño de la planta

En la figura 17 se muestra el tamaño de la planta en el testigo y en los 3 tratamientos después de los 3 meses de crecimiento del girasol, se observó una deficiencia en el crecimiento del girasol en el testigo (0% de vermicompost), mientras que, en el T1, T2 y T3 se muestran valores más altos de crecimiento desde los 21 cm hasta los 63 cm de longitud.

4.3.2 Tamaño de la raíz

Tabla 12. Tamaño de la raíz del girasol

Tratamiento	Repetición	Tamaño de la raíz (cm)	Promedio (cm)
Testigo	Repetición 1	8	6.33
	Repetición 2	5	
	Repetición 3	6	
	Repetición 4	-	
T1	Repetición 1	16	11.75
	Repetición 2	10	
	Repetición 3	10	
	Repetición 4	11	
T2	Repetición 1	21	16.75
	Repetición 2	19	
	Repetición 3	13	
	Repetición 4	14	
T3	Repetición 1	14	15.75
	Repetición 2	17	
	Repetición 3	16	
	Repetición 4	16	

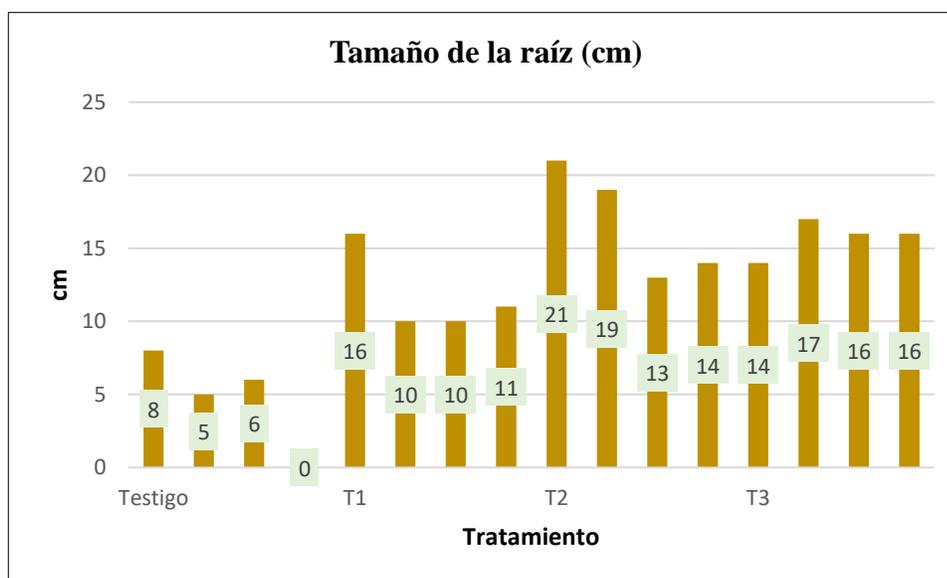


Figura 18. Tamaño de la raíz del girasol

En la figura 18 se muestra el crecimiento de la raíz de las 4 repeticiones del testigo y los 3 tratamientos respectivamente, se puede observar que, la muestra testigo muestra deficiencia en el crecimiento de la raíz con valores mínimos con un rango de 0-8 cm, mientras que, los valores van en crecimiento para los tratamientos T1, T2 y T3 que muestran valores con un rango de 10– 21 cm. Cabe mencionar que la acumulación del metal se da por la raíz y esta dependerá de su profundidad (84).

4.3.3 Número de hojas

Tabla 13. *Número de hojas del girasol*

Tratamiento	Repeticiones	Numero de hojas (1) (unidad)	Promedio (1) (cm)
Testigo	Repetición 1	10	9.0
	Repetición 2	7	
	Repetición 3	10	
	Repetición 4	-	
T1	Repetición 1	14	11.25
	Repetición 2	11	
	Repetición 3	10	
	Repetición 4	10	
T2	Repetición 1	14	12
	Repetición 2	12	
	Repetición 3	12	
	Repetición 4	10	
T3	Repetición 1	9	9.5
	Repetición 2	11	
	Repetición 3	9	
	Repetición 4	9	

En la tabla número 13 se muestra el número de hojas que se desarrollaron en los 3 meses de crecimiento del girasol, se puede observar que el T1 y el T2 logran tener valores similares en número de hojas, con valores de 10 a 14 unidades, mientras que el testigo tiene valores más bajos en el número de hojas, así como el T3 con 9 a 11 unidades de hojas por planta.

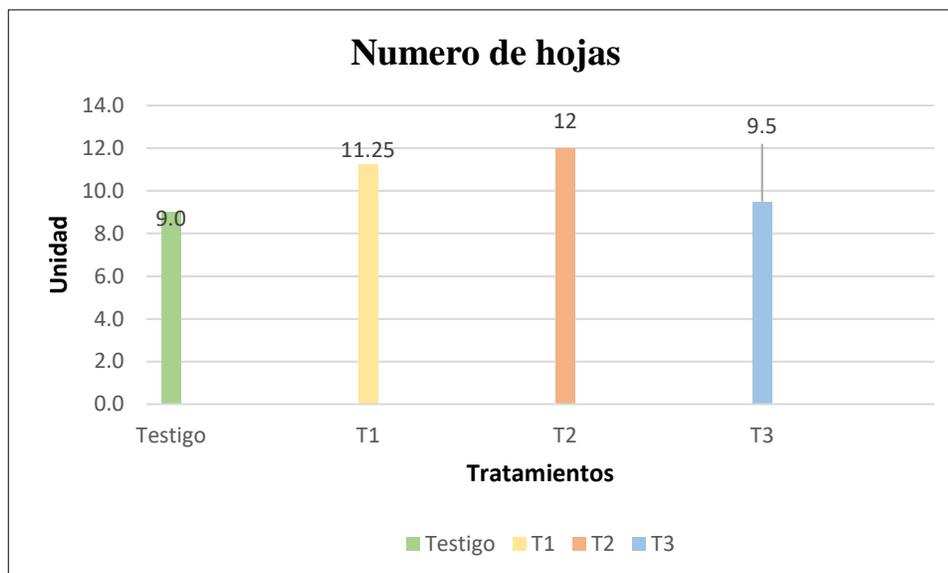


Figura 19. Promedio de numero de hojas

4.3.4 Longitud de hojas

Tabla 14. Longitud de las hojas del girasol

Tratamiento	Repetición	Longitud de las hojas (1) (cm)	Promedio (1) (cm)
Testigo	Repetición 1	3.32	2.64
	Repetición 2	2.25	
	Repetición 3	2.36	
	Repetición 4	-	
T1	Repetición 1	5.21	5.07
	Repetición 2	4.83	
	Repetición 3	4.76	
	Repetición 4	5.47	
T2	Repetición 1	7.21	6.07
	Repetición 2	5.84	
	Repetición 3	5.32	
	Repetición 4	5.92	
T3	Repetición 1	4.76	4.20
	Repetición 2	4.23	
	Repetición 3	3.72	
	Repetición 4	4.07	

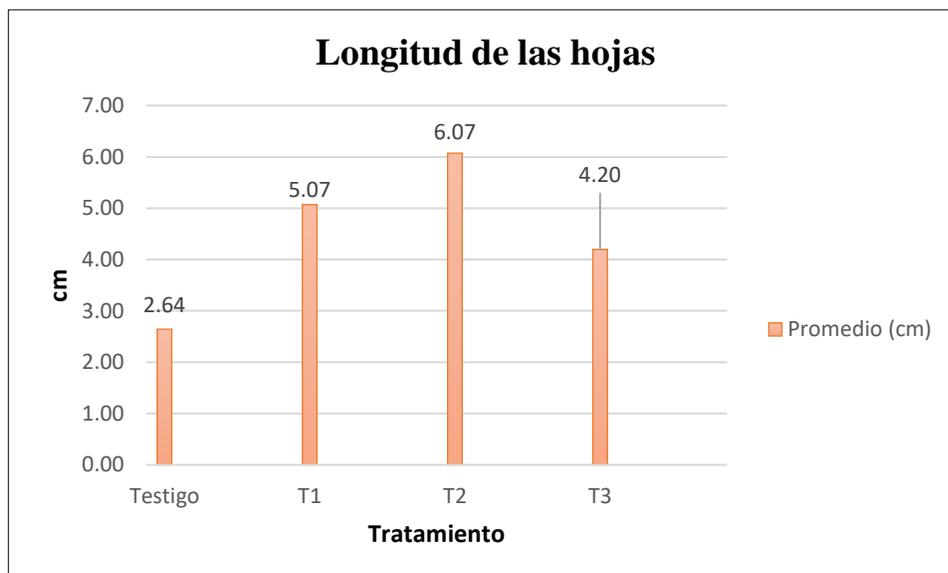


Figura 20. Tamaño de la raíz del girasol

En la tabla número 14 se muestra la longitud de las hojas en el periodo de 90 días de crecimiento del girasol, se muestra que el tratamiento 2 y el tratamiento 3 tuvieron un mayor desarrollo en la longitud de las hojas, mientras que el testigo mostró deficiencias en el desarrollo de nuevas hojas.

4.4 Resultado de los parámetros fisicoquímicos

4.4.1 Resultados antes de la fitoextracción

Tabla 15. pH antes de la fitoextracción

Suelo contaminado con plomo de la planta de metalurgia de la UNCP						
Parámetro	Repeticiones	Testigo	T1	T2	T3	Parámetro
pH	Repetición 1					6-8
	Repetición 2	5.21	5.07	5.86	5.02	
	Repetición 3					
	Repetición 4					

Nota: tomada de INIA (anexo 7)

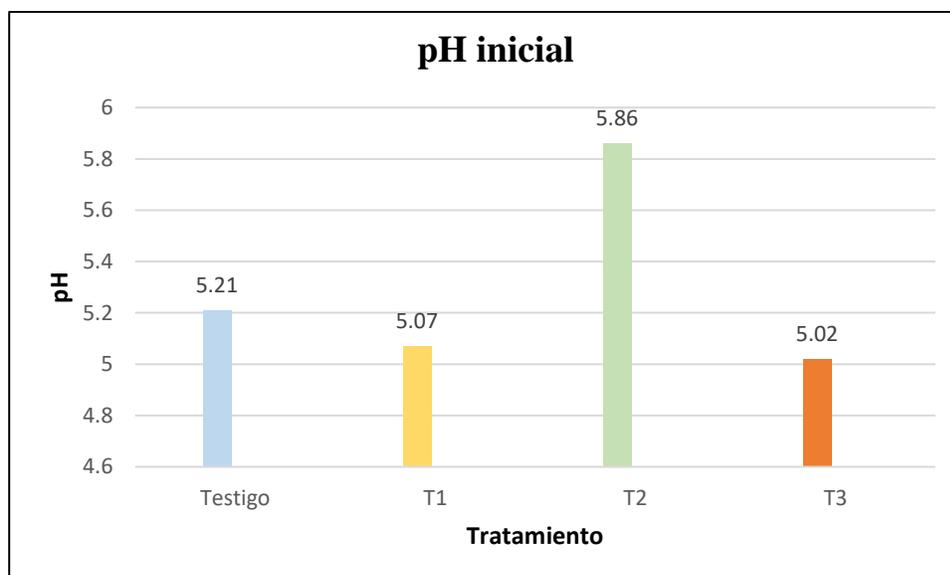


Figura 21. pH inicial

En la figura 21 se muestra el pH inicial del testigo y de los 3 tratamientos, los valores muestran presencia de acidez en el suelo antes del proceso de fitoextracción con el girasol y la adición de vermicompost.

Tabla 16. Humedad antes de la fitoextracción

Suelo contaminado con plomo de la planta de metalurgia de la UNCP						
Parámetro	Repeticiones	Testigo	T1	T2	T3	
Humedad	Repetición 1					
	Repetición 2	12.3	11.46	12.16	11.5	%
	Repetición 3					
	Repetición 4					

4.4.2 Resultados después de la fitoextracción

Tabla 17. pH después de la fitoextracción

Suelo contaminado con plomo de la planta de metalurgia de la UNCP						
Parámetro	Repeticiones	Testigo	T1	T2	T3	Parámetro
pH	Repetición 1					
	Repetición 2	6.47	7.76	7.93	7.87	6-8
	Repetición 3					
	Repetición 4					

Nota: tomada de INIA (anexo 8)

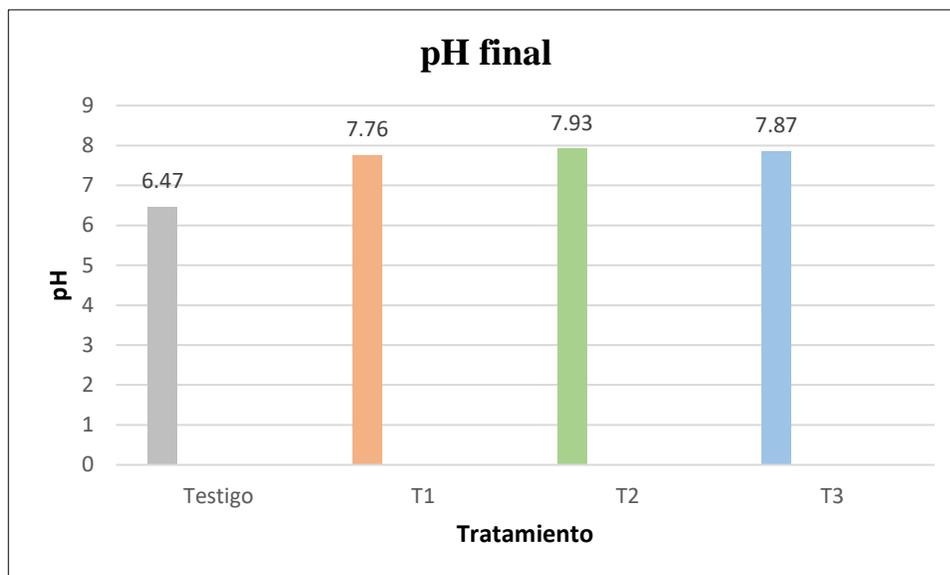


Figura 22. pH final

En la figura 22 se muestra el pH final del testigo y de los 3 tratamientos, los valores muestran la disminución de acidez en el suelo después del proceso de fitoextracción con el girasol y la adición de vermicompost.

Tabla 18. Humedad después de la fitoextracción

Suelo contaminado con plomo de la planta de metalurgia de la UNCP						
Parámetro	Repeticiones	Testigo	T1	T2	T3	
Humedad	Repeticion 1					
	Repeticion 2	12.31	11.82	12.36	11.57	%
	Repeticion 3					
	Repeticion 4					

4.4.3 Resultado comparativo de los parámetros fisicoquímicos

Tabla 19. pH antes y después de la fitoextracción

Suelo contaminado con plomo de la planta de metalurgia de la UNCP		
Tratamiento	PH inicial	PH final
Testigo	5.21	6.47
T1	5.07	7.76
T2	5.86	7.93
T3	5.02	7.87

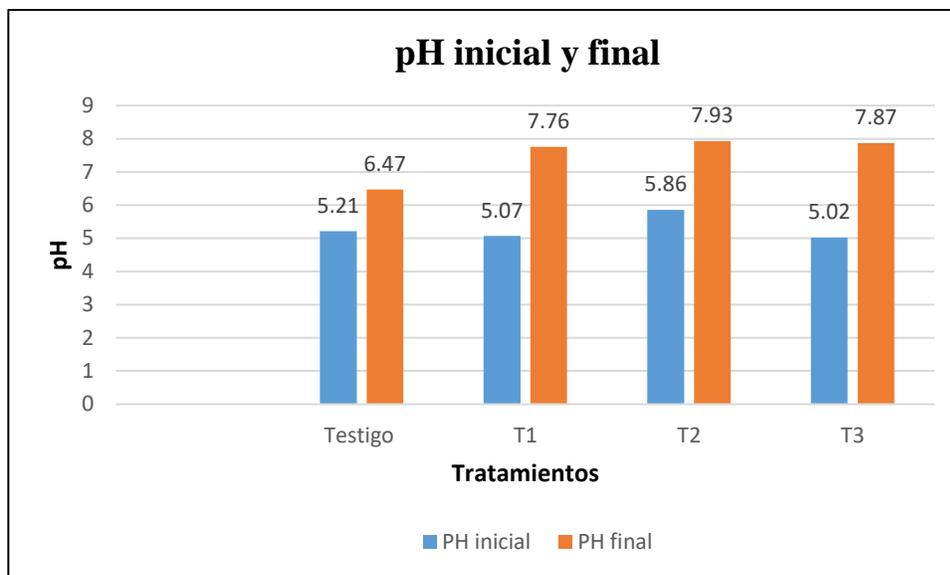


Figura 23. pH inicial y final

Tabla 20. Humedad antes y después de la fitoextracción

Suelo contaminado con plomo de la planta de metalurgia de la UNCP		
Tratamiento	Humedad inicial	Humedad final
Testigo	12.3	12.31
T1	11.46	11.82
T2	12.16	12.36
T3	11.5	11.57

En la tabla 18 y 19 se puede observar la comparación de los parámetros fisicoquímicos, hubo un incremento en el pH, en la humedad hubo un incremento mínimo, el T3 tuvo una mayor variación de humedad en los 3 meses de crecimiento del girasol.

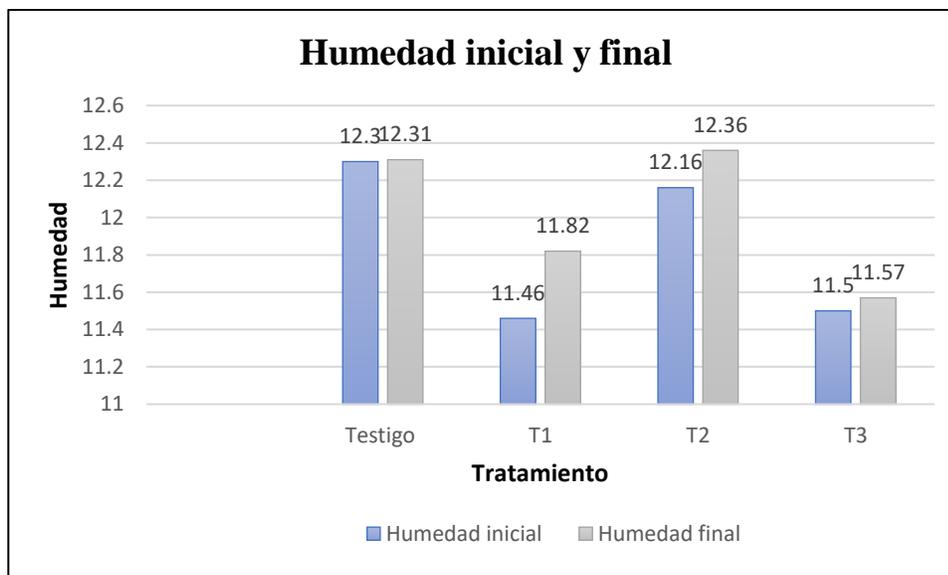


Figura 24. Humedad inicial y final

4.5 Resultados de la concentración final e inicial de plomo y la comparación con el ECA suelo

Tabla 21. Plomo inicial y final de plomo

Tratamientos	Plomo inicial mg/kg (2)	Plomo final mg/kg (2)
Testigo	1100	1057.5
T1	1023.34	929.27
T2	1204.36	987.97
T3	1134	925.83
ECA Suelo agrícola	70	70

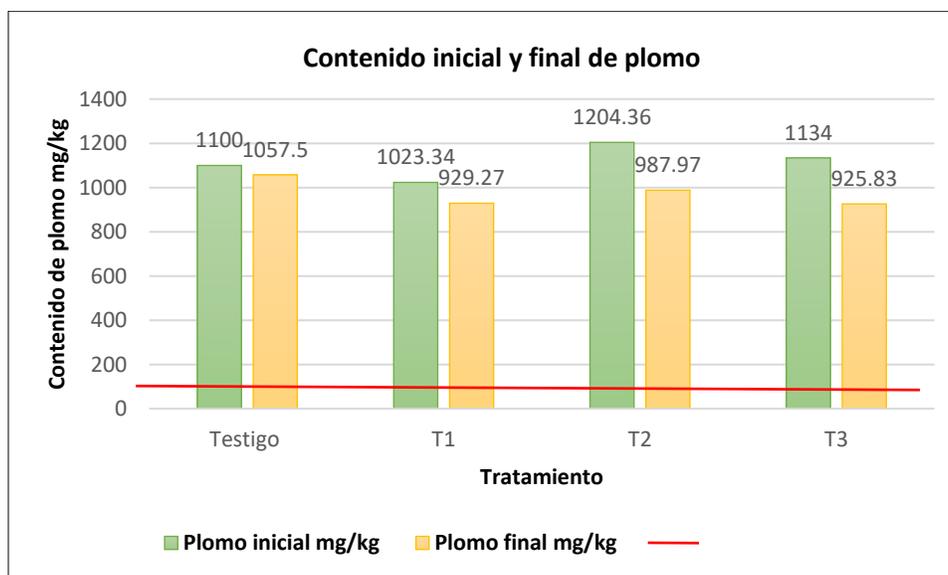


Figura 25. Contenido inicial y final de plomo

En la figura 25 se puede observar que el contenido inicial y final de plomo sobrepasan los estándares de calidad ambiental para suelo agrícola que tiene un valor de 70 mg/kg, pero también se puede observar que la cantidad de plomo ha disminuido después de la fitoextracción, el T2 tuvo una mayor disminución de plomo de 1204.36 a 987.97 pero el T3 también tuvo una disminución significativa de 1134 a 925.83. El testigo que no tuvo ninguna adición de vermicompost tuvo una menor absorción de plomo.

4.6 Resultado del porcentaje de eficiencia de remoción

Tabla 22. Porcentaje de la eficiencia de remoción

Tratamientos	Plomo inicial mg/kg (2)	Plomo final mg/kg (2)	Eficiencia de remoción
Testigo	1100	1057.5	4%
T1	1023.34	929.27	9%
T2	1204.36	987.97	22%
T3	1134	925.83	18%
Total	4461.7	3900.57	13.43%

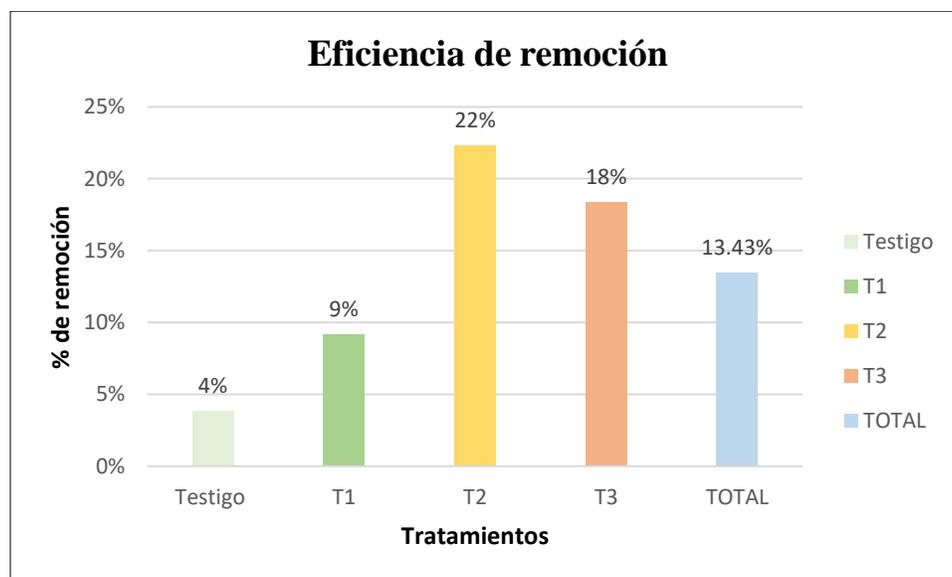


Figura 26. Eficiencia de remoción

En la figura 26 se puede observar que, el tratamiento 2 tuvo un mayor porcentaje de eficiencia de remoción de plomo con un 22%, mientras que le sigue

el tratamiento 3 con un 18% de porcentaje de remoción. En total el estudio tuvo como resultado un 13.43% de remoción de plomo.

4.7 Resultado de la prueba estadística

4.7.1 Prueba de hipótesis para el porcentaje de adición de vermicompost

- Anova de un factor

H₀: $\mu_C = \mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_{T3}$

H₁: por lo menos un μ_i es diferente

Tabla 23. Anova de un factor para la adición de vermicompost

Anova					
CC_plomo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5524,519	3	1841,506	39,172	,000
Dentro de grupos	564,137	12	47,011		
Total	6088,656	15			

El sig. = 0.00 es menor que alfa = 0.05. Entonces se rechaza la H₀

H₀: $\mu_C = \mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_{T3}$ (rechazo)

H₁: Por lo menos un μ_i es diferente (acepto)

Tabla 24. Prueba de PosHoc

CC_plomo				
Duncan ^a				
Tratamiento_porc_vermico mpost	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Testigo	4	10.6250		
T1	4		23.5175	
T3	4			52.0425
T2	4			54.0975
Sig.		1,000	1,000	,679

Nota: se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

Se puede observar que los grupos uno y dos son diferentes, el de menor valor es el testigo, le sigue el T1 y el T2 y el T3 son relativamente

iguales, por lo que se deduce que los dos últimos tratamientos son eficientes para la reducción de plomo en suelos contaminados de la planta de metalurgia de la UNCP.

4.7.2 Prueba de hipótesis para el tamaño de la raíz

- **Anova de un factor**

$$H_0: \mu_C = \mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_{T3}$$

H_1 : por lo menos un μ_i es diferente

Tabla 25. Anova de un factor para el tamaño de raíz

Anova					
T_raíz					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	326,750	3	108,917	14,054	,000
Dentro de grupos	93,000	12	7,750		
Total	419,750	15			

El sig. = 0.00 es menor que alfa = 0.05. Entonces se rechaza la H_0

$$H_0: \mu_C = \mu_{T1} = \mu_{T2} = \mu_{T3} \text{ (rechazo)}$$

H_1 : por lo menos un μ_i es diferente (acepto)

Tabla 26. Prueba de posHoc

T_raíz				
Duncan ^a				
Tratamiento_poc_vermic	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Testigo	4	5.2500		
Tratamiento 1	4		11.7500	
Tratamiento 3	4		15.7500	15.7500
Tratamiento 2	4			16.7500
Sig.		1,000	,065	,621

Nota: se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4,000.

Se puede observar que el tratamiento uno es diferente a los demás, mientras que el tratamiento 3 y el tratamiento 2 son significativamente iguales, asimismo, el tratamiento 3 y el tratamiento 2 son parecidos en el desarrollo de la raíz de la planta.

4.8 Discusión de resultados

- Con respecto a la capacidad de fitoextracción del girasol para la disminución de plomo, los valores iniciales de plomo: el testigo = 1100 mg/kg, T1 = 1023.34 mg/kg, T2 = 1204.36 mg/kg, T3 = 1134.0 mg/kg y los valores finales de plomo fueron: el testigo = 1057.5 mg/kg, T1 = 929.27 mg/kg, T2 = 987.97 mg/kg, T3 = 925.83 mg/kg. El girasol tuvo una eficiencia en la absorción de 13.5% en el periodo de 3 meses de crecimiento del girasol y el proceso de fitoextracción, que no supera a la investigación sobre “*Acumulación de metales pesados en Helianthus annuus desarrollado en residuos de mina*” que logró una eficiencia de absorción del 45% en 150 días de crecimiento del girasol (18). Los resultados en la investigación tuvieron en contra el factor tiempo, puesto que si el girasol completaba su ciclo normal desde la siembra hasta la cosecha se habría logrado un mayor porcentaje de eficiencia de remoción, lo que quiere decir que a un mayor tiempo de exposición del girasol al plomo la capacidad de absorber el metal será mejor, además la textura del suelo es muy importante, en suelos arcillosos el metal se vuelve difícil de asimilar, mientras que en suelos arenosos es más fácil su captación mediante la planta.
- En cuanto a los parámetros fisicoquímicos, en los resultados obtenidos se observa un ligero aumento del pH de testigo = 5.21, T1 = 5.07, T2 = 5.86, T3 = 5.02 a testigo = 6.47, T1 = 7.76, T2 = 7.93, T3 = 7.87, coincidiendo con la investigación de Munive et al. (20), en el suelo de la localidad Muqui que tuvo un ligero aumento del pH en sus 3 tratamientos, de 7.85 a 8.09 y en cuanto a la humedad también hubo un ligero aumento de testigo = 12.3, T1 = 11.46, T2 = 12.16, T3 = 11.5 a testigo = 12.31, T1 = 11.82, T2 = 12.36, T3 = 11.57. Como se menciona, la mayor parte de los metales están disponibles a pH ácido, de igual manera el pH es un indicador muy importante porque define la movilización del catión, a PH alcalinos

ocasiona la precipitación del metal, es por lo que hubo un porcentaje de eficiencia de remoción de 13% y no un porcentaje mayor (1; 42).

- Con respecto a la adición de vermicompost para mejorar el proceso de fitoextracción con el girasol con una adición de 0% para el testigo, 25% para el T1, 50% para el T2 y 75% para el T3, se logró una absorción de testigo = 42.5 mg/kg, T1 = 94.07 mg/kg, T2 = 216.39 mg/kg, T3 = 208.17 mg/kg lo que coincide con la investigación de *“Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost”* que tuvo un promedio de absorción de 160 mg/kg usando la enmienda de vermicompost para sus 3 tratamientos usando la planta de girasol (20). Por lo que se reafirma que el uso de vermicompost es una enmienda efectiva para mejorar el proceso de fitoextracción del girasol en una medida beneficiosa para el desarrollo de la planta, se pudo observar que con una adición al 50% este tiene un mejor proceso de fitoextracción, además, que a más concentración de plomo y vermicompost se logra una mayor absorción del metal. En la investigación de Munive (23) se tuvo resultados de un mejor crecimiento y desarrollo de la planta con una mayor adición de vermicompost, se tuvo un tallo más grueso y se vio el gran potencial en el desarrollo de la planta (14), coincidiendo con la investigación, ya que el testigo que no tuvo ninguna adición de vermicompost mostró deficiencias en el desarrollo del girasol, no tuvo brotes de nuevas hojas, además que no hubo un desarrollo en el tallo y la raíz mientras que los otros 3 tratamientos si tuvieron porcentaje de adición de compost y desde el porcentaje más bajo se vio un mejor desarrollo de la planta de girasol. Con respecto a la prueba estadística arrojó un valor menor al alfa, por lo que al menos un tratamiento es diferente.
- Con respecto a las características morfológicas que favorecen a la reducción de plomo, en la investigación se obtuvo un promedio de hojas

de 9, 11.25, 12, 9.5 para el testigo y los 3 tratamientos, lo que coincide con Guerrero que manifiesta que la cantidad de hojas tienen como promedio 12 y 41, estas son de color verde, ya que contienen la clorofila dentro de los cloroplastos de las células y este hace posible el proceso de fotosíntesis que ayuda a la reducción del metal. En cuanto al tamaño de la raíz se obtuvo como resultado que el T2 tuvo un mayor desarrollo de crecimiento de 16.75 cm de promedio, donde se puede apreciar que el tamaño de la raíz no es dañada con la alta concentración de plomo y que la adición de vermicompost favorece al desarrollo de la raíz, de acuerdo a la prueba de Anova de un factor se puede observar que el valor obtenido es menor al alfa, por lo que al menos un tratamiento es diferente, se contrastó con la prueba Duncan y se observó que los tratamientos T3 y T2 son significativamente iguales, mientras que T1 y el testigo son diferentes, lo que concuerda con la investigación de García et al. (53) que tuvo como resultado de 16 y 18 cm de crecimiento de la raíz del girasol en 120 días de germinación. La raíz es el órgano con mayor capacidad de absorción.

- Con respecto a la extracción de plomo en las hojas, el tallo y la raíz del girasol. Con respecto a la extracción de plomo en las hojas se tuvo valores de testigo = 5.43 mg/kg, T1 = 13.78 mg/kg, T2 = 17.32 mg/kg y T3 = 18.35 mg/kg (2) y en la extracción de plomo en la raíz se tuvieron valores de testigo = 24.50 mg/kg, T1 = 54.32 mg/kg, T2 = 167.56 mg/kg y T3 = 154.76 mg/kg; y en cuanto al tallo de la planta se tuvo valores de testigo = 4.87 mg/kg, T1 = 10.34 mg/kg, T2 = 15.23 mg/kg y T3 = 12.16 mg/kg. Se pudo observar que la mayor acumulación de plomo se dio en la raíz, lo que concuerda con la investigación de "*Fitoextracción de metales pesados de un suelo agrícola con girasol ornamental y sustancias húmicas*" (16), que tuvo como resultado mayores valores de absorción en la raíz del girasol con la adición de ácidos fúlvicos que superaron en 118% al testigo con 353,33 mg/kg de plomo en 150 días de germinación; además las raíces de la planta de girasol son capaces de contener las concentraciones de plomo

en sus tejidos (16). Las semillas de girasol lograron una buena germinación a pesar de las altas concentraciones de plomo, por lo que el girasol puede ser usado desde la semilla y no solo desde plantaciones ya grandes.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la influencia significativa del girasol en la reducción de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP, pudiendo observar que en el tratamiento 2 es el más efectivo para la reducción de plomo con 50% de adición de vermicompost.
- Se pudo evaluar la capacidad de fitoextracción del girasol para disminuir la concentración de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos por la planta de metalurgia de la UNCP, con una eficiencia de 13.43% y con una absorción de 216.39 mg/kg de plomo.
- Se determinó la influencia del crecimiento de las hojas, tamaño de la planta y la cantidad de hojas que se generaron durante los 3 meses de crecimiento y como estas favorecieron a la reducción de plomo, y se observó que a mayor crecimiento de la raíz hubo una mejor absorción de plomo, el tamaño máximo de la raíz se obtuvo en el T2 con 16.75 cm de promedio.
- Se evaluó la absorción de Pb en las hojas, tallo y raíces del girasol, pudiendo observar que a 90 días de crecimiento del girasol, este logró una mayor absorción en la raíz. El T2 tuvo una absorción de 97.56 mg/kg y en las hojas el T3 tuvo la mayor absorción con 18.35 mg/kg de plomo.

RECOMENDACIONES

- La fitoextracción en suelos con presencia de metales pesados se debería realizar de manera *in situ* para tener un mejor alcance de los cambios que se generarían en el área contaminada.
- En cuanto al girasol se debería evitar su siembra en épocas de sequías, ya que no sería lo adecuado para el desarrollo o el crecimiento del girasol, ya que podría ocasionar problemas en el crecimiento de la planta.
- Para poder lograr que el plomo u otros metales pesados retornen al suelo, lo más recomendable es que una vez cosechada la planta de girasol, esta sea incinerada y así los metales quedarán inertes y no podrán regresar a la cadena alimenticia.
- Es recomendable usar el girasol en suelos con textura arenosa, porque muestra mejor capacidad de captación del metal, mientras que en suelos arcillosos no es recomendable el uso del girasol.

LISTA DE REFERENCIAS

1. **LABRA, Sarah.** *Fitoextracción con Helianthus annuus L. (girasol) para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio 2018.* Universidad César Vallejo, 2018.
2. **HUAMANTALLA, Labra; BERENGER, Sarah.** *Fitoextracción con Helianthus annuus L. (girasol) para la reducción de cadmio en suelos contaminados, a nivel laboratorio 2018.* Universidad César Vallejo [online]. 2018. [Accessed 29 May 2021]. Available from:
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/24613>Accepted: 2019-01-11T15:47:35Z
3. **DELGADILLO LÓPEZ, Angélica Evelin; GONZÁLEZ-RAMÍREZ, César Abelardo; PRIETO-GARCÍA, Francisco; VILLAGÓMEZ-IBARRA, José Roberto; ACEVEDO-SANDOVAL, Otilio.** Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems* [online]. August 2011. Vol. 14, no. 2, p. 597–612. [Accessed 21 May 2021]. Available from:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S187004622011000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
4. **DIAZ, Walter.** *Estrategia de gestión integrada de suelos contaminados en el Perú.* 38 [online]. 2016. Vol. 19, p. 8. Available from:
<http://tramite.ingemmet.gob.pe/BusquedaGeodoc/images/biblioteca/RFIGMMG-38-103.pdf>
5. **QUISPE YANA, Raúl F.; BELIZARIO QUISPE, Germán; CHUI BETANCUR, Heber N.; HUAQUISTO CÁCERES, Samuel; CALATAYUD MENDOZA, Alfredo P.; YÁBAR MIRANDA, Percy S.** Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química* [online]. 2019. 36(2) p. 83–90. Available from:
http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0250-54602019000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

6. **MENDOZA ORELLANA, Edith; GUILLERMO GÓMEZ, Carlos.** *Riesgo ambiental por pasivo de relaves de la ex planta metalúrgica de Yauris, Huancayo.* 2015. p. 10.
7. **LEÓN SÁNCHEZ, Elena; VALDÉS SARRIA, Karen; ASENJO VALVERDE, Inmaculada.** *Papel del suelo en la toxicidad del cadmio.* 2014. p. 18.
8. **HUERTOS GALÁN, Emilio; BAENA ROMERO, Antonio.** *Contaminación de suelos por metales pesados.* [online]. 2008. p. 13. Available from: http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
9. **OMS.** Plomo. *Who* [online]. 2013. Available from: http://www.who.int/ipcs/assessment/public_health/lead/es/
10. **MARRERO, J.; AMORES, I.** *Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y organismos en el saneamiento ambiental.* 3 [online]. 2012. Vol. 46. Available from: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223124988007.pdf>
11. **ALEZONES, Betzabeth; CASANOVA, Ana; LAURENTIN, Hernán.** Caracterización morfológica y molecular de poblaciones segregantes de girasol provenientes de híbridos comerciales. *Agronomía Tropical* [online]. 2014. 64(1, 2), p. 83–95. Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0002192X2014000100009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
12. **ACOSTA, Carlos; VÁZQUEZ, Noelia; VILLEGAS, Oscar; VENCE, Lilia Beatriz; ACOSTA, Denisse.** Vermicomposta como componente de sustrato en el cultivo de *Ageratum Houstonianum Mill.* y *Petunia hybrida E. Vilm.* en contenedor. *Bioagro* [online]. 2014. 26(2) p. 107–114. Available from: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1316-33612014000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es
13. **PUGA, Soraya; SOSA, Manuel; LEBGUE, Toutcha; QUINTANA, César.** Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada* [online]. 2006. 5(1, 2), p. 149–155. Available from: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S17262216200600100020&lng=es&nrm=iso&tlng=es

14. **CABRERA, Abel.** *Evaluación de diferentes niveles de vermicompost en el desarrollo de girasol ornamental en maceta (Helianthus annuus L.).* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, 2009.
15. **VARGAS MUÑOZ, Gonzalo.** *Influencia de las micorrizas arbusculares en la fitoextracción con girasol en suelos contaminados por Pb y Cd.* Universidad Nacional Autónoma de México, 2013.
16. **GONZALEA, Leonardo.** *Fitoextracción de metales pesados de un suelo agrícola con girasol ornamental y sustancias húmicas.* Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna, 2014.
17. **GUTIERREZ ESPINOZA, L. R.** *Germinación del girasol silvestre (Helianthus annuus L.) en presencia de diferentes concentraciones de metales.* 2011. 2(1) p. 8.
18. **HERNÁNDEZ, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos.** *Acumulación de metales pesados en Helianthus annuus desarrollado en residuos de mina.* [online]. 2010. Available from:
https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf.
19. **ÁLVAREZ, Isabella; SÁNCHEZ, Alfonzo.** *Prueba piloto para la fitoextracción de cadmio usando Helianthus annuus en un suelo proveniente de la vereda El Zaden – Mesitas del Colegio.* Universidad de La Salle, 2019.
20. **MUNIVE CERRÓN, Rubén; GAMARRA SÁNCHEZ, Gilberto; MUNIVE YACHACHI, Yveth; PUERTAS RAMOS, Fernando; VALDIVIEZO GONZALES, Lorgio; CABELLO TORRES, Rita.** Absorción de plomo y cadmio por girasol de un suelo contaminado, remediado con enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost. *Scientia Agropecuaria* [online]. 2020. 11(2), p. 177–186. DOI 10.17268/sci.agropecu.2020.02.04. Available from:
http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S20779917202000200177&lng=es&nrm=iso&tlng=es
21. **MICHIELLE, Liz; CHICO, Luis.** *Capacidad remediadora y bioacumuladora de los órganos de Helianthus annuus L. “girasol” cuando son sometidas a diferentes concentraciones de plomo.* Universidad Nacional de Trujillo, 2009.

22. **REÁTEGUI, Lucerito; REÁTEGUI, Carolina.** *Capacidad de absorción del Helianthus annuus en suelos agrícolas contaminados con cadmio.* Universidad Nacional del Callao, 2018.
23. **MUNIVE CERRÓN, Víctor.** *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de estevia y fitorremediación.* [online]. 2018. [Accessed 30 May 2021]. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3770>
24. _____. *Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de estevia y fitorremediación.* Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018.
25. **MENDOZA ORELLANA, Edith; GUILLERMO GÓMEZ, Carlos.** Riesgo ambiental por pasivo de relaves de la explanta metalúrgica de Yauris, Huancayo. *Convicciones.* 2015. 2(1) p. 26–35.
26. **LÓPEZ NÚÑEZ, Roberto Aurelio; VONG MEAS, Yunny.** *Fundamentos y aplicaciones.* [online]. 2004. p. 15. Available from: https://www.ciaorganico.net/documypublic/390_Fitorremediacion.pdf
27. **DELGADILLO, Angélica Evelin; GONZÁLEZ, César Abelardo; PRIETO, Francisco; VILLAGÓMEZ, José Roberto; ACEVEDO, Otilio.** Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems* [online]. 2011. 14(2), p. 597–612. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es
28. **PILON SMITS, Elizabeth.** Phytoremediation. *Annual Review of Plant Biology* [online]. 2005. Vol. 56, p. 15–39. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15862088/>
29. **DCBC.** Fitoextracción | *Dean Carter Binational Center for Environmental Health Sciences.* [online]. 2003. [Accessed 21 February 2021]. Available from: <http://binational.pharmacy.arizona.edu/content/43121-fitoextracci%C3%B3n>
30. **PRASAD VARA, Majeti Narasimha; DE OLIVEIRA FREITAS, Helena María.** Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for

- phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology* [online]. 2003. 6(3), p. 15. Available from:
<http://www.ejbiotechnology.info/index.php/ejbiotechnology/article/view/309>
31. **MULAS, Rafael.** Fitorremediación de suelos. *Studylib* [online]. [Accessed 21 February 2021]. Available from:
<https://studylib.es/doc/7998333/fitorremediación-de-suelos>
 32. **LÓPEZ MARTÍNEZ, Sugey; GALLEGOS MARTÍNEZ, Margarita E.; FLORES PÉREZ, Laura J.** *Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas.* 2005. p. 10.
 33. **PIVETZ, Bruce E.** *Phytoremediation of contaminated soil and ground water at hazardous waste sites.* [online]. 2001. p. 36. Available from:
https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/epa_540_s01_500.pdf
 34. **LIN, Jinxing; JIANG, Wusheng; LIU, Donghua C.** Accumulation of copper by roots, hypocotyls, cotyledons and leaves of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Bioresource Technology.* 2003. 86(2), p. 151–155.
 35. **CABEZAS, Alonso.** *Absorción y acumulación de metales pesados en tres especies vegetales en suelos enmendados con lodos de depuradora.* 2004. p. 13.
 36. **OLIVA LÓPEZ, Jennyfer Darlin; GÓMEZ CONTRERAS, Estefanía.** *Estudio de factibilidad del uso de la fitorremediación como alternativa para la remoción de metales pesados en el suelo usado como botadero a cielo abierto en Utopía-Yopal.* 2017. p. 105.
 37. **NAVARRO-AVIÑÓ, J. P.; ALONSO AGUILAR, I.; LÓPEZ-MOYA, J. R.** Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas* [online]. 2007. 16(2) [Accessed 21 April 2021]. Available from:
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/125>
 38. **BAKER, Alan; BROOKS, R.** Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements, a review of their distribution. *E. Ecol. Phytochem. Biorecovery.* 1989. Vol. 1.

39. **AUDET, Patrick; CHAREST, Christiane.** Heavy metal phytoremediation from a meta-analytical perspective. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*. May 2007. 147(1), p. 231–237. DOI 10.1016/j.envpol.2006.08.011.
40. **HERNÁNDEZ BARANDA, Yenisei; RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ, Pedro; PEÑA ICART, Mirella; MERIÑO HERNÁNDEZ, Yanitza; CARTAYA-RUBIO, Omar.** Toxicidad del cadmio en las plantas y estrategias para disminuir sus efectos. Estudio de caso: el tomate. *Cultivos Tropicales* [online]. 2019. 40(4) Available from:
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S02585936201900040009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
41. **HUARACA FERNÁNDEZ, Jhon N.; PÉREZ SOSA, Lourdes; BUSTINZA CABALA, Leonor S.; PAMPA QUISPE, Noé B.; HUARACA-FERNÁNDEZ, Jhon N.; PÉREZ SOSA, Lourdes; BUSTINZA CABALA, Leonor S.; PAMPA QUISPE, Noé B.** Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica* [online]. 2020. 31(4) p. 139–152. Available from:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S071807642020000400139&lng=es&nrm=iso&tlng=es
42. **GALÁN, Emilio.** Contaminación de suelos por metales pesados. [online]. 2015. Vol. 2, p. 13. Available from:
http://www.ehu.eus/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
43. **ZENG, Fanrong; ALI, Shafaqat; ZHANG, Haitao; OUYANG, Younan; QIU, Boyin; WU, Feibo; ZHANG, Guoping.** The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants. *Environmental Pollution* [online]. 2011. 159(1) p. 84–91. [Accessed 4 April 2021]. DOI 10.1016/j.envpol.2010.09.019. Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749110004240>
44. **CLEMENTE, Rafael; ESCOLAR, Ángeles; BERNAL, M. Pilar.** Heavy metals fractionation and organic matter mineralization in contaminated calcareous soil amended with organic materials. *Bioresource Technology* [online]. 1 October 2006. 97(15) p. 1894–1901. [Accessed 4 April 2021].

- DOI 10.1016/j.biortech.2005.08.018. Available from:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405004153>
45. **ALLOWAY, Brian.** *Heavy metals in soils, trace metals and metalloids in soils and their bioavailability.* 3. UK: Springer, 2013.
 46. **GARCÍA VARGAS, Diana.** *Efectos fisiológicos y compartimientos radiculares en plantas de Zea mays L. expuestas a la toxicidad por plomo.* 2006. [Accessed 30 May 2021]. Available from:
<https://es.scribd.com/document/464013689/dgv1de1-pdf>
 47. **SpringerLink.** Measurement of Pb 2+, Cu 2+ and Cd 2+ binding with mucilage exudates from maize (Zea mays L.) roots | [online]. [Accessed 4 April 2021]. Available from: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00638958>
 48. **SALAZAR M., Julieta; MENOYO, Eugenia; FAGGIOLI, Valeria; GEML, Jozsef; CABELLO, Marta; RODRÍGUEZ, Judith H.; MARRO, Nicolás; PARDO, Alejandro; PIGNATA M., Luisa; BECERRA, Alejandra G.** Pb accumulation in spores of arbuscular mycorrhizal funghi. *The Science of the Total Environment.* 2018. Vol. 643, p. 238–246. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.06.199.
 49. **GARCÍA, D.** *Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de Zea mays L. Expuestas a la toxicidad por plomo.* España: Universidad Autónoma de Barcelona, 2006.
 50. **SEREGIN, I. V.; SHPIGUN, L. K.; IVANOV, V. B.** Distribution and Toxic Effects of Cadmium and Lead on Maize Roots. *Russian Journal of Plant Physiology* [online]. 2004. 51(4), p. 525–533. [Accessed 11 April 2021]. DOI 10.1023/B:RUPP.0000035747.42399.84. Available from:
<https://doi.org/10.1023/B:RUPP.0000035747.42399.84>
 51. **JONES, L. P.; CLEMENT, C.; HOPPER, M. J.** Lead uptake from solution by perennial ryegrass and its transport from roots to shoots. *Plant and Soil.* 2004. DOI 10.1007/BF00779022.
 52. **BROYER, T. C.; JOHNSON, C. M.; PAULL, R. E.** Some aspects of lead in plant nutrition. *Plant and Soil* [online]. 1972. 36(1), p. 301–313. [Accessed 11 April 2021]. DOI 10.1007/BF01373485. Available from:

<https://doi.org/10.1007/BF01373485>

53. **GARCÍA, Antonio; ARDISANA, Héctor Eduardo; CUÉ GARCÍA, Jorge; VALLEJOS, Marcelo.** Volumen I: Nutrición hídrica y mineral de las plantas. *Fisiología Vegetal*. 2018. ISBN 978-9942-948-16-8.
54. **VARGAS, Diana.** *Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de Zea mays L. expuestas a la toxicidad por plomo* [online]. <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>. Universidad Autònoma de Barcelona, 2007. [Accessed 30 May 2021]. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=5620>
55. **WIERZBICKA, M.** How lead can easily enter the food chain — a study of plant roots. *Science of The Total Environment* [online]. 1993. Vol. 134, p. 423–429. [Accessed 11 April 2021]. DOI 10.1016/S0048-9697(05)80043-9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969705800439>
56. **RODRÍGUEZ, M.** *Toxicidad del cadmio en plantas*. [online]. 2008. [Accessed 30 May 2021]. Available from: <https://1library.co/document/yrdx0o8q-toxicidad-del-cadmio-en-plantas.html>
57. **BENAVIDES, María P.; GALLEGRO, Susana M.; TOMARO, María L.** Cadmium toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* [online]. 2005. 17(1), p. 21–34. DOI 10.1590/S1677-04202005000100003. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S167704202005000100003&lng=en&nrm=iso&tlng=en
58. **KRZESŁOWSKA, Magdalena.** The cell wall in plant cell response to trace metals: polysaccharide remodeling and its role in defense strategy. *Acta Physiologiae Plantarum* [online]. 1 January 2011. 33(1), p. 35–51. [Accessed 21 April 2021]. DOI 10.1007/s11738-010-0581-z. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0581-z>
59. **THOMINE, S.; WANG, R.; WARD, J. M.; CRAWFORD, N. M.; SCHROEDER, J. I.** Cadmium and iron transport by members of a plant metal transporter family in Arabidopsis with homology to Nramp genes. *Proceedings of the National*

- Academy of Sciences of the United States of America*. 2000. 97(9), p. 4991–4996. DOI 10.1073/pnas.97.9.4991.
60. **CLEMENS, S.** Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006. 88(11), p. 1707–1719. DOI 10.1016/j.biochi.2006.07.003.
 61. **TENECELA YUQUI, Xavier.** *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos*. [online]. 2012. Available from: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3252> Accepted: 2013-06-19T17:08:43Z
 62. **GONZÁLEZ SAAVEDRA, G.; AQUILES, Manuel.** *Biodegradación de alperujo utilizando hongos del género Pleurotus y anélidos de la especie Eisenia foetida*. [online]. 2007. [Accessed 24 February 2021]. Available from: <https://digibug.ugr.es/handle/10481/1453> Accepted: 2009-10-16T07:00:41Z
 63. **MOHAMED, Ibrahim; AHAMADOU, Bocar; LI, Ming; GONG, Changxiu; CAI, Peng; LIANG, Wei; HUANG, Qiaoyun.** Fractionation of copper and cadmium and their binding with soil organic matter in a contaminated soil amended with organic materials. *Journal of Soils and Sediments* [online]. 2010. 10(6), p. 973–982. [Accessed 24 February 2021]. DOI 10.1007/s11368-010-0199-1. Available from: <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0199-1>
 64. **PARK, Jin Hee; LAMB, Dane; PANEERSELVAM, Periyasamy; CHOPPALA, Girish; BOLAN, Nanthi; CHUNG, Jae-Woo.** Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials* [online]. 2011. 185(2), p. 549–574. DOI 10.1016/j.jhazmat.2010.09.082. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410012434>
 65. **DIEZ, Javier.** *Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados*. [online]. [Accessed 15 April 2021]. Available from: https://www.todostuslibros.com/libros/fitocorreccion-de-suelos-contaminados-con-metales-pesados_978-84-9887-202-6
 66. **GARCÍA, Inés; DORONSORO, Carlos.** *Tecnología de suelos: contaminación por metales*. [online]. 2016. [Accessed 15 April 2021]. Available from:

- <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>
67. **NOLAN, Annette L.; MCLAUGHLIN, Mike J.; MASON, Sean D.** Chemical Speciation of Zn, Cd, Cu, and Pb in Pore Waters of Agricultural and Contaminated Soils Using Donnan Dialysis. *Environmental Science & Technology* [online]. 2003. 37(1), p. 90–98. [Accessed 4 April 2021]. DOI 10.1021/es025966k. Available from: <https://doi.org/10.1021/es025966k>
 68. **Ecured.** *Suelo contaminado*. [online]. 2018. [Accessed 25 February 2021]. Available from: https://www.ecured.cu/Suelo_contaminado
 69. **Ecured.** *Girasol*. [online]. 2011. [Accessed 5 March 2021]. Available from: <https://www.ecured.cu/Girasol>
 70. **Ministerio del Ambiente, Minam.** *Decreto Supremo N.º 003-2017*. [online]. 2017. [Accessed 25 February 2021]. Available from: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2017-minam/>
 71. **RODRÍGUEZ HEREDIA, Dunia.** Intoxicación ocupacional por metales pesados. *Medisan* [online]. December 2017. 21(12), p. 3372–3385. [Accessed 5 March 2021]. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1029-30192017001200012&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 72. **FAO.** *Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas*. [online]. 2002. [Accessed 5 March 2021]. Available from: <http://www.fao.org/3/w1309s/w1309s04.htm>
 73. **DÍAZ GARCÍA, Luis Javier.** *Espectrometría*. [online]. 2014. [Accessed 11 March 2021]. Available from: https://www.academia.edu/36695024/Espectrometr%C3%ADa_Lectura_N_1_LECTURA_N_1_RADIACION_ELECTROMAGNETICA
 74. **TOVAR, Aracely.** *Espectroscopia Atómica*. Facultad de Química [online]. [Accessed 11 March 2021]. Available from: <https://quimica.unam.mx/investigacion/servicios-para-la-investigacion/usaii/espectroscopia-atmica/>

75. **LUNA, José.** *Metales pesados y su toxicología.* [online]. 2019. [Accessed 5 March 2021]. Available from: <https://estrucplan.com.ar/metales-pesados-y-su-toxicologia/>
76. **AMAP.** *Bioacumulación.* [online]. [Accessed 5 March 2021]. Available from: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/glosario/abc/bioacumulacion-bioacumular.htm
77. **VÁZQUEZ, Jacinto; LOLI, Oscar.** Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*. 2018. 9(1), p. 43–52. DOI 10.17268/sci.agropecu.2018.01.05.
78. **GONZÁLEZ LABAJO, Elena.** *El método científico.* [online]. 2016. P. 58. Available from: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/107-2016-02-17-EI%20M%C3%A9todo%20Cient%C3%ADfico.pdf>
79. **GARCÍA, Austreberto.** Capítulo 5. Hernández. *Metodología de la Investigación* [online]. 2011. [Accessed 30 September 2021]. Available from: <https://sites.google.com/site/metodologiadelainvestigacionb7/capitulo-5-sampieri>
80. **DIAZ, Lidia.** *Observación.* 2011. Vol. 1, p. 29.
81. **Minam.** *Guía para el muestreo de suelos.* 2014.
82. **MALKOWSKI, E.** Accumulation of Pb and Cd and its Effect on Ca Distribution in Maize Seedlings (*Zea Mays L.*). *Polish Journal of Environmental Studies* [online]. 14(2), p. 203–207. [Accessed 15 April 2021]. Available from: <http://www.pjoes.com/Accumulation-of-Pb-and-Cd-and-its-Effect-on-Ca-Distribution-in-Maize-Seedlings-Zea,87749,0,2.html>
83. **MARMIROLI, Marta.** Evidence of the involvement of plant ligno-cellulosic structure in the sequestration of Pb: an X-ray spectroscopy-based analysis. *Environmental Pollution* [online]. 2005. 134(2), p. 217–227. [Accessed 15 April 2021]. DOI 10.1016/j.envpol.2004.08.004. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749104003471>

84. **RODRÍGUEZ, Callirgos; MIRELLA, Cristina.** *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie Chrysopogon zizanioides mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros.* Universidad Nacional Agraria La Molina [online]. 2014. [Accessed 21 April 2021]. Available from: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1907>Accepted: 2016-09-15T22:40:39Z

ANEXOS

Anexo 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA									
TÍTULO: REDUCCIÓN DE PLOMO EN SUELOS CONTAMINADOS POR RELAVES METALÚRGICOS EN LA PLANTA UNCP-YAURIS MEDIANTE FITOEXTRACCIÓN CON GIRASOL Y ENMIENDA DE VERMICOMPOST									
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTO	FUENTE			
GENERAL:	GENERAL:	GENERAL:	INDEPENDIENTE						
<p>¿Cuál es la capacidad de fitoextracción del girasol para la disminución de concentración plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP?</p>	<p>Evaluar la capacidad de fitoextracción del girasol para la disminución de la concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP.</p>	<p>La capacidad fitoextractora del girasol influye positivamente en la absorción de plomo en los suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP.</p>	<p>fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost</p>	Tamaño de la planta (cm)	<p>ficha de observación y Espectrometría de absorción atómica</p>	<p>(8)</p>			
				Tamaño de raíz (cm)					
				Numero de hojas y longitud (cm, unidad)					
				Plomo absorbido en las hojas					
				Plomo absorbido en el tallo					
				plomo absorbido en la raíz					
				plomo absorbido con 25% de vermicompost					
plomo absorbido con 50% de vermicompost									
ESPECÍFICOS:	ESPECÍFICOS:	ESPECÍFICOS:	DEPENDIENTE	plomo absorbido con					
<p>- ¿De qué manera la adición del vermicompost al 20%, 50% y al 75% influyen en la absorción de plomo mediante el girasol en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP? - ¿En qué medida las características morfológicas del girasol influyen en la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos?</p>	<p>- Evaluar qué manera la adición del vermicompost al 20%, 50% y al 70% influye en la absorción de plomo mediante el girasol en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP. - Determinar en qué medida las características morfológicas del girasol influyen en la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP</p>	<p>La incorporación de vermicompost en los distintos niveles de aplicación favorece positivamente en la disminución de concentración de plomo en suelos contaminados por relaves metalúrgicos en la planta de la UNCP. Las características morfológicas del girasol favorecen positivamente en la en la disminución de concentración de cadmio en suelos contaminados con relaves metalúrgicos de la planta de la UNCP</p>	<p>reducción de plomo</p>	Cantidad de metal inicial (mg/kg)	<p>fichas de observación</p>	<p>(11)</p>			
				Cantidad de metal final (mg/kg)					
				humedad inicial y final %					
				PH inicial y final					
						INTERVINIENTE			

Anexo 2

Ficha de observación

FICHA DE OBSERVACION								
Título de la investigación		REDUCCIÓN DE PLOMO EN SUELOS CONTAMINADOS POR RELAVES METALÚRGICOS EN LA PLANTA UNCP-YAURIS MEDIANTE FITOEXTRACCIÓN CON GIRASOL Y ENMIENDA DE VERMICOMPOST						
Investigador		CERRON MELLADO, Sairah						
Lugar de la investigación		Huancayo						
Variable	Tratamientos	Repeticiones	Hora	Fecha	Características morfológicas			
fitoextracción con girasol y enmienda de vermicompost	Testigo	Rep. 1			Tamaño de la raíz	Tamaño de la planta	Longitud de la raíz	Numero de hojas
		Rep. 2						
		Rep. 3						
		Rep. 4						
	T1	Rep. 1						
		Rep. 2						
		Rep. 3						
		Rep. 4						
	T2	Rep. 1						
		Rep. 2						
		Rep. 3						
		Rep. 4						
	T3	Rep. 1						
		Rep. 2						
		Rep. 3						
		Rep. 4						

Anexo 3

Fotografías



Calicata del proceso de muestreo de suelo de la planta de metalurgia de la UNCP



Muestra de vermicompost de elaboración propia.



Muestra de suelo contaminado de la planta de metalurgia de la UNCP



Muestra de semillas de girasol.



Siembra de las semillas de girasol.



Germinación del girasol en el T2



Germinación del girasol en el testigo



Crecimiento del girasol en el tratamiento 1



Crecimiento del girasol en el testigo



Crecimiento del girasol en el tratamiento 2



Crecimiento del girasol en el tratamiento 3



Crecimiento de la raíz del girasol en el tratamiento 2



Crecimiento de la raíz del girasol en el testigo



Crecimiento de la raíz del girasol en los distintos tratamientos



Medición de las características morfológicas

Anexo 4

Informe de ensayo de la concentración de plomo inicial



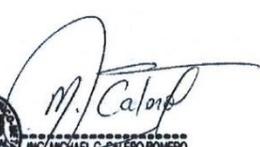
INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME - 21 - 0495

REV. 2.1

Página 1 de 1

A solicitud de	: CERRON MELLADO SAIRAH	Cantidad de Muestras	: 4
Por cuenta de	: CERRON MELLADO SAIRAH	Fecha de Recepción	: 15/06/2021
Tipo de muestra	: Muestra de Suelo	Fecha de Ensayo	: Del 16/06/2021
Procedencia	: Junín / Huancayo / Yauris		: Al 17/06/2021
Referencia	: Nota de Servicio		

Métodos : Absorción Atómica




ING. MICHAEL G. CALERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Químico

Anexo 5

Informe de ensayo de la concentración de plomo final



INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME - 21 - 0509

REV. 2.1

Página 1 de 1

<p>A solicitud de Por cuenta de Tipo de muestra Procedencia Tipo de Análisis</p>	<p>: CERRON MELLADO SAIRAH : CERRON MELLADO SAIRAH : Muestra de Suelo : Junín / Huancayo / Yauris : Reconocimiento</p>	<p>Cantidad de Muestras Fecha de Recepción Fecha de Ensayo</p>	<p>16 : 13/09/2021 : Del 14/09/2021 Al 15/09/2021</p>
---	--	---	---

Métodos : Absorción Atómica

ID. Laboratorio	ID. Cliente	Pb AAS mg/Kg 0.001	ELEMENTOS					
MIN-21/01252	TE-REP.1	1086.65						
MIN-21/01253	TE-REP.2	1088.68						
MIN-21/01254	TE-REP.3	1082.17						
MIN-21/01255	TE-REP.4	-						
MIN-21/01256	T1-REP.1	995.78						
MIN-21/01257	T1-REP.2	1005.77						
MIN-21/01258	T1-REP.3	1000.74						
MIN-21/01259	T1-REP.4	997.00						
MIN-21/01260	T2-REP.1	1145.22						
MIN-21/01261	T2-REP.2	1147.75						
MIN-21/01262	T2-REP.3	1156.29						
MIN-21/01263	T2-REP.4	1151.79						
MIN-21/01264	T3-REP.1	1090.66						
MIN-21/01265	T3-REP.2	1069.13						
MIN-21/01266	T3-REP.3	1086.44						
MIN-21/01267	T3-REP.4	1081.60						

NOTA DE ALMACENAJE:
 Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para remanentes o pulpas y 30 días para Rechazos o gruesas, se procederá a descartar. Favor no considerar esta información si se presentan instrucciones al inicio del servicio.

Huancayo, 15 de septiembre de 2021



M. Calero

ING. MICHAEL G. CALERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Químico

RCJ LABS UNIVERSAL - Carretera Central KM. 8.9 N° 525 San Agustín de Cajás - Teléfono: (064)589-932 - www.rcjlabuniversal.com

Anexo 6

Informe de ensayo de la concentración de plomo en las hojas, tallos y raíz del girasol



INFORME DE ENSAYO
RCJ-INFORME - 21 - 0521

REV. 2.1

Página 1 de 1

Asoliditud de	: CERRON MELLADO SAIRAH	Cantidad de Muestras	: 4
Por cuenta de	: CERRON MELLADO SAIRAH	Fecha de Recepción	: 20/09/2021
Tipo de muestra	: Muestra de Suelo	Fecha de Ensayo	: Del 21/09/2021
Procedencia	: Junín / Huancayo / Yauris		: Al 23/09/2021
Referencia	: Nota de Servicio		

Métodos : Absorción Atómica

ID. Laboratorio	ID. Cliente	ELEMENTOS					
Elemento		Pb	Pb	Pb			
Método		AAS	AAS	AAS			
Unidad		mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg			
Limite de Cuantificación		0.001	0.001	0.001			
Zona foliar		raíz	hojas	Tallo			
MN-21/01280	Testigo	24.50	5.43	4.87			
MN-21/01281	T-1	54.32	13.78	10.34			
MN-21/01282	T-2	167.56	17.32	15.23			
MN-21/01283	T-3	154.76	38.35	12.16			

NOTA DE ALMACENAJE:
Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para remanentes o pupas y 30 días para Redrazos o gruesas, se procederá a descartar. Favor no considerar esta información si se presentan instrucciones al inicio del servicio.

Huancayo, 23 de septiembre de 2021




ING. MICHAEL G. CALERO ROMERO
CIP N° 233781
Responsable Lab. Químico

RCJ LABS UNIVERSAL - Carretera Central KM. 8.9 Nº 525 San Agustín de Cajos - Teléfono: 0194589-832 - www.rcjlabuniversal.com

Anexo 7

informe de laboratorio del pH inicial



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA - JUNIN



SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS

Teléfonos: 24-6206 y 24-7011

NOMBRE: CERRON MELLADO SAIRAH

LUGAR : YAURIS - HUANCAYO - JUNIN

N°	CODIGO	Lugar	Parcela	pH
1	0156-2051	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	Testigo	5.21
2	0157-2052	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T1	5.07
3	0158-2053	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T2	5.86
4	0159-2054	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T3	5.02

ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA
SANTA ANA - JUNIN
Sairah Mellado Sairah
INIA - Est. Exp. Santa Ana - Junin
(a) Laboratorio de Suelos

Anexo 8

Informe de laboratorio del pH final



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA - JUNIN



SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS

Teléfonos: 24-6206 y 24-7011

NOMBRE: CERRON MELLADO SAIRAH

LUGAR : YAURIS - HUANCAYO - JUNIN

N°	CODIGO	Lugar	Parcela	pH
1	0176-2011	YAURIS-HUANCAYO-JUNIN	Testigo	6.47
2	0177-2012	YAURIS-HUANCAYO-JUNIN	T1	7.76
3	0178-2013	YAURIS-HUANCAYO-JUNIN	T2	7.93
4	0179-2014	YAURIS-HUANCAYO-JUNIN	T3	7.87

Anexo 9

Informe de laboratorio de humedad inicial



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA - JUNIN



SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS

Teléfonos: 24-6206 y 24-7011

NOMBRE: CERRON MELLADO SAIRAH

LUGAR : YAURIS - HUANCAYO - JUNIN

N°	CODIGO	Lugar	Parcela	Humedad
1	0176-2081	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	Testigo	12.3
2	0177-2082	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T1	11.4
3	0178-2083	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T2	12.16
4	0179-2084	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T3	11.5

[Handwritten signature]
Luzmila P. Flores de Guay
INIA - Estación Experimental Agraria
Santa Ana - Junín

Anexo 10

Informe de laboratorio de humedad final



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA - JUNIN



SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS

Teléfonos: 24-6206 y 24-7011

NOMBRE: CERRON MELLADO SAIRAH

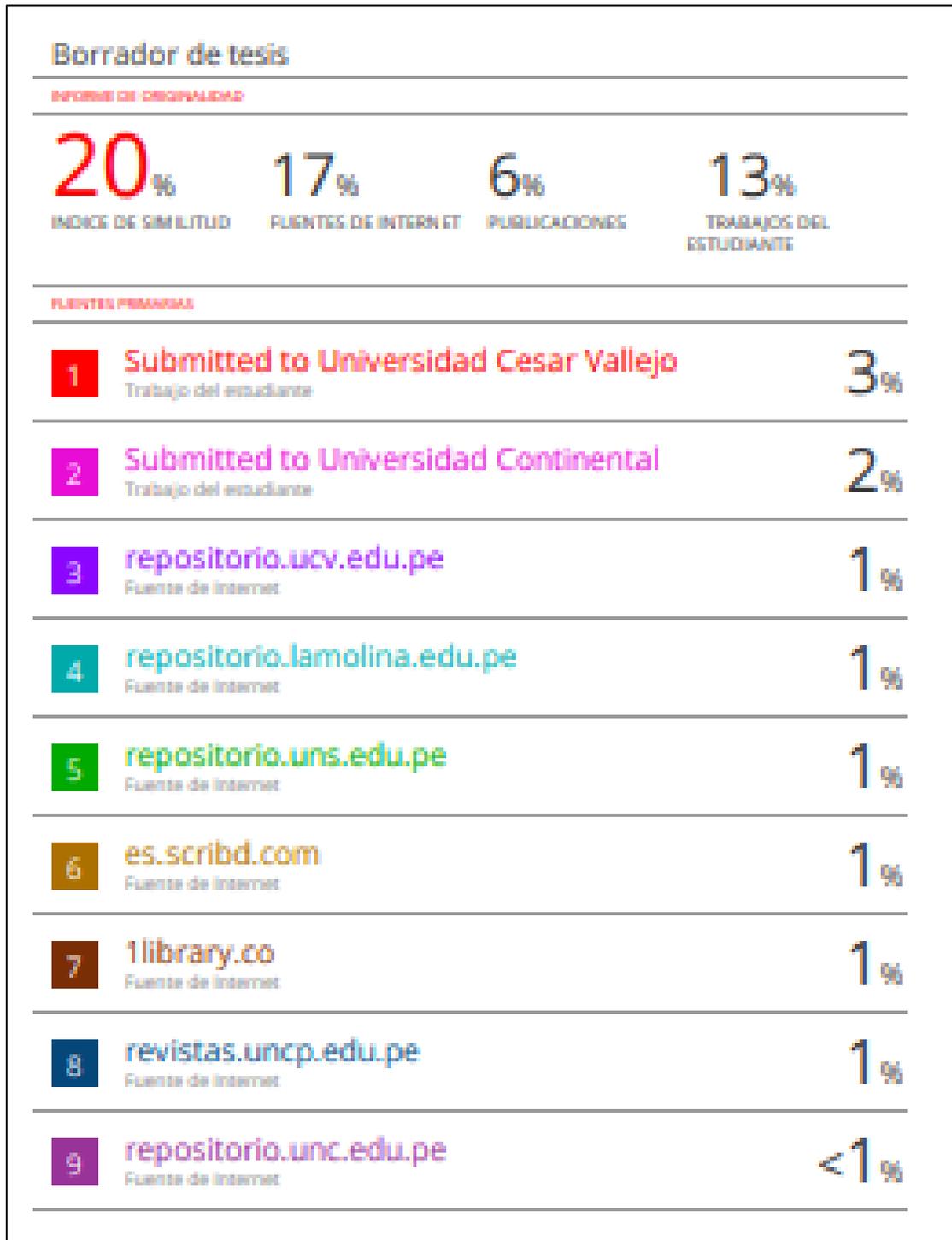
LUGAR : YAURIS - HUANCAYO - JUNIN

N°	CODIGO	Lugar	Parcela	Humedad
1	0216-2031	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	Testigo	12.31
2	0217-2032	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T1	11.82
3	0218-2033	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T2	12.36
4	0219-2034	YAURIS- HUANCAYO-JUNIN	T3	11.57

Estación Experimental Agraria
Santa Ana - Junin
Ing. Luis Flores de la Cruz
Ing. Luis Flores de la Cruz

Anexo 11

Prueba de similitud de Turnitin



Anexo 12

Recibo digital del Turnitin



Digital Receipt

This receipt acknowledges that Turnitin received your paper. Below you will find the receipt information regarding your submission.

The first page of your submissions is displayed below.

Submission author: Sairah Cerron Mellado
Assignment title: Tesis
Submission title: Borrador de tesis
File name: INFORME_DE_TESIS_CERRON_MELLADO.docx
File size: 2.25M
Page count: 89
Word count: 15,844
Character count: 84,869
Submission date: 30-May-2021 08:12AM (UTC-0500)
Submission ID: 1597068955

