

**UNIVERSIDAD DE HUANUCO**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**TESIS**

---

**“Eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Avena sativa (Avena Sativa; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco - 2024”**

---

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

**AUTOR: Marcellini Falcón, Josué**

**ASESOR: Calixto Vargas, Simeón Edmundo**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2024**

# U

**TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:**

- Tesis (X)
- Trabajo de Suficiencia Profesional ( )
- Trabajo de Investigación ( )
- Trabajo Académico ( )

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:** Biotecnología y Nanotecnología

**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN** (2020)

**CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:**

**Área:** Ingeniería, Tecnología

**Sub área:** Ingeniería ambiental

**Disciplina:** Ingeniería ambiental y geológica

**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (X)
- UDH ( )
- Fondos Concursables ( )

**DATOS DEL AUTOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 74140781

**DATOS DEL ASESOR:**

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22471306

Grado/Título: Maestro en administración de la educación

Código ORCID: 0000-0002-5114-4114

**DATOS DE LOS JURADOS:**

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Cajahuanca Torres, Raúl	Maestro en gestión pública	22511841	0000-0002-5671-1907
2	Prado Valenzuela, Sarita Déniz	Maestro en gestión del sistema ambiental	41830682	0000-0002-0641-5843
3	Campos Gonzales, Mildred Margarita	Maestro en medio ambiente y desarrollo sostenible, mención en gestión ambiental	72257793	0009-0008-0885-4883

# D

# H



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 18:00 horas del día 19 del mes de diciembre del año 2024, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

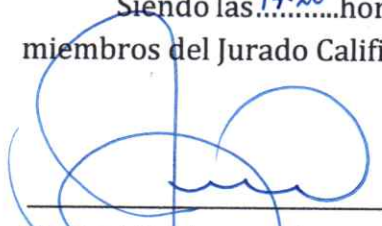
- Mg. Raul Cajahuanca Torres (Presidente)
- Mg. Sarita Deniz Prado Valenzuela (Secretario)
- Mg. Mildred Margarita Campos Gonzales (Vocal)


Nombrados mediante la **Resolución N° 2817-2024-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: "**EFICIENCIA DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN LA FITORREMEDIACIÓN CON AVENA SATIVA (*Avena sativa*; L) EN SUELO CONTAMINADO CON PLOMO Y ZINC, HUANCAMINA, HUÁNUCO - 2024**", presentado por el (la) Bach. **MARCELLINI FALCON, JOSUE**; para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) APROBADO Por UNANIMIDAD con el calificativo cuantitativo de 15 y cualitativo de BUENO (Art. 47)

Siendo las 19:20 horas del día 19 del mes de diciembre del año 2024, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

  
Mg. Raul Cajahuanca Torres  
DNI: 22511841  
ORCID: 0000-0002-5671-1907  
Presidente

  
Mg. Sarita Deniz Prado Valenzuela  
DNI: 41830682  
ORCID: 0000-0002-0641-5843  
Secretario

  
Mg. Mildred Margarita Campos Gonzales  
DNI: 72257793  
ORCID: 0009-0008-0885-4883  
Vocal



# UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: JOSUÉ MARCELLINI FALCON, de la investigación titulada "Eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco - 2024", con asesor(a) SIMEÓN EDMUNDO CALIXTO VARGAS, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 1673-2023-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 24 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 03 de diciembre de 2024



RICHARD J. SOLIS TOLEDO  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



FERNANDO F. SILVERIO BRAVO  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

# 45. Marcellini Falcon, Josué.docx

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>24%</b>	<b>24%</b>	<b>2%</b>	<b>7%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>7%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.udh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.unac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>dspace.unitru.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>



**RICHARD J. SOLIS TOLEDO**  
D.N.I.: 47074047  
cod. ORCID: 0000-0002-7629-6421



**FERNANDO F. SILVERIO BRAVO**  
D.N.I.: 40618286  
cod. ORCID: 0009-0008-6777-3370

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación está dedicado especialmente a Dios quien supo guiarnos por el camino correcto para seguir adelante ante la adversidad y hacer realidad nuestras metas.

A mis padres Jorge Marcellini Isla y Melesia Falcón Espinoza por su gran apoyo continuo e incondicional y por ser quienes me inspiran a alcanzar mis metas, mi eterno amor y agradecimiento para ustedes.

A mis hermanos por sus consejos, su apoyo moral y comprensión a lo largo de la carrera universitaria.

## **AGRADECIMIENTO**

A nuestra alma mater, la Universidad de Huánuco, institución donde nos formamos como futuros profesionales mediante las buenas costumbres y los diferentes conocimientos de nuestros maestros de la Facultad de Ingeniería Ambiental.

A mis padres por su apoyo moral y económico en todo momento, durante el proceso de desarrollo y ejecución de mi proyecto de investigación por educarme con valores para enfrentar los desafíos con una buena actitud.

A mi asesor, el Mg. Simeón Edmundo, Calixto Vargas, docente de la universidad de Huánuco, por su capacidad y fortaleza en guiarme en la redacción de la tesis.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS .....	VII
ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN.....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT.....	X
INTRODUCCIÓN.....	XI
.CAPÍTULO I.....	12
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	12
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	15
1.2.1. PROBLEMA GENERAL .....	15
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	15
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	15
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	16
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
CAPÍTULO II.....	18
MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	18
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES .....	18

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES .....	19
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES .....	22
2.2. BASES TEÓRICAS .....	23
2.2.1. ENMIENDAS ORGÁNICAS .....	23
2.2.2. FITORREMEDIACIÓN .....	31
2.2.3. CONTAMINACIÓN DEL SUELO.....	34
2.2.4. PLANTAS REMEDIADORAS.....	37
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	43
2.4. HIPÓTESIS .....	45
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	45
2.5. VARIABLES .....	45
2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE .....	45
2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE .....	45
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	46
CAPÍTULO III .....	47
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	47
3.1.1. ENFOQUE .....	47
3.1.2. ALCANCE O NIVEL .....	47
3.1.3. DISEÑO .....	47
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	49
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	50
3.3.1. RECOLECCIÓN DEL SUELO.....	50
3.3.2. PREPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS .....	50

3.3.3. ANÁLISIS DE PLOMO Y ZINC EN EL SUELO.....	51
3.3.4. ANÁLISIS DE PLOMO Y ZINC EN LA AVENA SATIVA L .....	51
3.3.5. EVALUACIÓN DEL FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y TRANSLOCACIÓN DE PLOMO Y ZINC PARA LA AVENA SATIVA ..	52
3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	52
CAPÍTULO IV.....	53
RESULTADOS.....	53
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	53
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ....	58
CAPÍTULO V.....	59
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	59
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	59
5.1.1. ENMIENDAS ORGÁNICAS Y LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y ZINC EN EL SUELO. ....	59
5.1.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y ZINC EN LA AVENA SATIVA L.....	60
5.1.3. FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y DE TRASLOCACIÓN DE PLOMO Y ZINC PARA AVENA SATIVA .....	60
CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	70

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones deseables durante el proceso de compostaje .....	30
Tabla 2 Ventajas y desventajas de fitorremediación.....	33
Tabla 3 Clasificación taxonómica de la avena sativa.....	42
Tabla 4 Tratamiento en estudio Condiciones deseables durante el proceso de compostaje.....	48
Tabla 5 Ubicación del lugar de estudio .....	49
Tabla 6 Materiales de recolección de datos.....	50
Tabla 7 Procesamiento de análisis de información.....	52
Tabla 8 Concentración de Plomo en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa. ....	53
Tabla 9 Concentración de Zinc en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa. ....	54
Tabla 10 Concentración de Plomo encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado. ....	55
Tabla 11 Concentración de Zinc encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado. ....	56
Tabla 12 Resultados de la evaluación del factor de bioacumulación y traslocación en la Avena Sativa L.....	57
Tabla 13 Prueba de normalidad de los datos. ....	57
Tabla 14 Prueba de hipótesis. ....	58

## ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

Ilustración 1 Concentración de Plomo en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa. ....	53
Ilustración 2 Concentración de Zinc en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa. ....	54
Ilustración 3 Concentración de Plomo encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado.....	55
Ilustración 4 Concentración de Zinc encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado. ....	56

## RESUMEN

La investigación titulada “Eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco - 2024” se realizó con el **objetivo** de Determinar la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc. El **método** de estudio se llevó a cabo utilizando un diseño completamente aleatorio, empleando macetas plásticas con cinco tratamientos. En cada maceta se colocaron 2 kg de sustrato compuesto por suelo y un porcentaje de enmiendas orgánicas. Se utilizaron dos tipos de enmiendas orgánicas (compost vegetal y compost animal) en dos concentraciones diferentes (10 % y 20 %), además de un tratamiento control. se sembraron 35 semillas de *Avena sativa* por maceta, permitiendo que las plantas crecieran durante un período de 40 días. Al finalizar el experimento, se analizaron muestras de suelo, así como las partes foliares y radicales de *Avena sativa* L., obteniéndose los siguientes **resultados**: La concentración del plomo inicial fue de 210.70 ppm y 120.50 ppm de zinc, al finalizar el experimento la menor concentración promedio con aplicación de compost vegetal fue de 24.39 ppm de plomo y 1.25 ppm de zinc, reduciendo la concentración de plomo al 88.42% y en el zinc 98.96%. La *Avena sativa* L. absorbió la mayor cantidad de plomo y zinc en la raíz con diferentes enmiendas, con el que mejor resultado se obtuvo en la absorción del plomo fue con compost animal; y para la absorción de zinc tuvo mejor resultado con el compost vegetal. En **conclusión**, la aplicación de enmiendas orgánicas favorece la fitorremediación con *Avena sativa* L. en suelos contaminados con plomo y zinc.

**Palabras clave:** Plomo, zinc, fitorremediación, compost vegetal, compost animal, *Avena sativa* L.

## ABSTRACT

The research entitled "Efficiency of organic amendments in phytoremediation with sativa oats (*Avena sativa*; L) in soil contaminated with lead and zinc, Huancamina, Huánuco - 2024" was carried out with the aim of determining the efficiency of organic amendments in phytoremediation with sativa oats (*Avena sativa*; L) in soil contaminated with lead and zinc. The study method was carried out using a completely randomized design, using plastic pots with five treatments. 2 kg of substrate composed of soil and a percentage of organic amendments were placed in each pot. Two types of organic amendments (vegetable compost and animal compost) were used at two different concentrations (10% and 20%), in addition to a control treatment. 35 *Avena sativa* seeds were sown per pot, allowing the plants to grow for a period of 40 days. At the end of the experiment, soil samples, as well as the leaf and root parts of *Avena sativa* L. were analyzed, obtaining the following results: The initial lead concentration was 210.70 ppm and 120.50 ppm of zinc; at the end of the experiment, the lowest average concentration with the application of vegetal compost was 24.39 ppm of lead and 1.25 ppm of zinc, reducing the lead concentration to 88.42% and zinc to 98.96%. *Avena sativa* L. absorbed the greatest amount of lead and zinc in the root with different amendments, with the best result in lead absorption being obtained with animal compost; and for zinc absorption it had a better result with vegetal compost. In conclusion, the application of organic amendments favors phytoremediation with *Avena sativa* L. in soils contaminated with lead and zinc.

**Keywords:** Lead, zinc, phytoremediation, vegetal compost, animal compost, *Avena sativa* L.

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación ha sido desarrollada por la gran evidencia de problemas en los suelos, en donde los múltiples contaminantes de los suelos han sido generados de forma antropogénica. Asimismo, la minería ha generado una modificación del suelo, pues volvió a este, inestable para la vida y un gran peligro para la sociedad, debido a los distintos elementos tóxicos presentes en el suelo y que fueron adquiridos por el ser humano de manera indirecta.

Asimismo, la contaminación minera ha traído problemas en la salud de los pobladores, debido a los desechos mineros que fueron arrojados indiscriminadamente a los suelos. Por otro lado, la concentración de los metales pesados en el suelo acarreó una gran problemática, pues de este recurso se sirven los seres vivos para subsistir como las plantas, quienes absorben sus nutrientes, pero que, por la cantidad de elementos tóxicos, producen su muerte, al igual que los animales e incluso el ser humano.

Basándose en lo expuesto, se ha considerado el siguiente planteamiento del problema: ¿Cuál es la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con *Avena sativa* (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, ¿Huancamina-Huánuco 2024? Así mismo, se ha establecido el siguiente objetivo general: Determinar la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con *Avena sativa* (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco 2024.

Además de ello, la investigación se ha visto justificada por contar con el aporte teórico del conocimiento que se ha obtenido de la *Avena sativa* L, la conciencia social, en miras de la aplicación de una medida eficiente, basada en la naturaleza y la generación del aporte técnico, llegando a mejorar los recursos del suelo

## **.CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

A nivel internacional, debido a las diversas acciones mineras, se manifiestan grandes problemas en los suelos, ya que se encuentran múltiples contaminantes, lo que genera una gran amenaza a este recurso que es vital para las personas, para un desarrollo sustentable. Se manifestó, que el 95% de los alimentos que consumimos, provienen de manera indirecta o directa del suelo, por lo que corremos el riesgo que esta contaminación traiga consigo problemas que afecten a toda la población. En México, Armendáriz (2016) evidenció que los focos de contaminación por la minería afectan principalmente a la agricultura y a las actividades industriales.

Asimismo, la minería genera una modificación del suelo, pues vuelve a este inestable para la vida y un gran peligro para la sociedad, debido a los distintos elementos tóxicos presentes en el suelo y que son adquiridos por el ser humano de manera indirecta por la contaminación presente en el suelo. Se manifiesta, que los elementos más encontrados, producto de la minería y que afecta a todo individuo son el cadmio, plomo, mercurio y el arsénico, siendo estos los elementos más contaminantes a nivel mundial.

Los suelos, generalmente, son contaminados de forma antropogénica; es decir, por la acción directa del hombre con el propósito de aprovechar o extraer los recursos valiosos que hay en ellos, debido a estos recursos que nos brinda la naturaleza, las personas podemos subsistir; por este motivo, se debe de mantener el cuidado de estos recursos; por lo que, de manera directa o indirecta, lo contaminamos de diferentes formas; por ejemplo, el uso de pesticidas, vertido incontrolado de aguas residuales, derrame de petróleo o almacenamiento de residuos mineros, que traen como consecuencia, contaminaciones de las aguas superficiales, subterráneas y las deforestaciones de los suelos. Entre algunos de los contaminantes mencionados, podríamos manifestar que, la minería es uno de las mayores fuentes de contaminación. (Mora, 2019).

También, la contaminación minera trae problemas en la salud de los pobladores, debido a los desechos mineros que son arrojados indiscriminadamente a los suelos. Esta contaminación trae grandes daños a la tierra, del mismo modo a la salud de los individuos, las personas pueden ingerir de manera indirecta; ya sea, por alimentos, por aguas contaminadas o incluso por vía respiratoria. Esto genera grandes problemas y, principalmente, afecta a los niños, en los cuales se les encontró grandes cantidades de plomo en su sangre, además de otros elementos tóxicos.

Por otro lado, la concentración de los metales pesados en el suelo acarrea una gran problemática, pues de este recurso se sirven los seres vivos para subsistir como las plantas, quienes absorben sus nutrientes, pero que, por la cantidad de elementos tóxicos, producen su muerte, al igual que los animales e incluso el ser humano. El contaminante de mayor proporción encontrado en los suelos fue el hierro. Este elemento, en grandes cantidades, ocasiona la destrucción de la flora; así mismo, otros elementos que poseen gran peligrosidad, derivados de minas, tienen gran potencial para dañar el ecosistema.

En la región de Huánuco, a nivel local, se identificó la presencia de minería informal e ilegal, caracterizada por una alta concentración de actividades no reguladas en la Provincia de Puerto Inca, que día a día depredan sus bosques y contaminan sus quebradas y ríos. Esta realidad no es ajena en las regiones altoandinas, donde también se manifiesta la actividad minera donde se viene trabajando durante largos periodos de años, lo cual ha generado desmontes de relaves. Del mismo modo, según el Anuario Minero actualizado por el Ministerio de Energía y Minas en mayo de 2019, Huánuco es una región productora de cobre, oro, zinc, plomo y plata. Además, es de las 21 regiones en las que se han identificado pasivos ambientales mineros, ocupando el noveno lugar con trescientos treinta y dos pasivos ambientales mineros.

Las actividades mineras, sin cargo de conciencia ambiental en los suelos del centro poblado de Huancamina, han causado grandes problemas que alteran el ecosistema, debido a los tres depósitos de relaves que existen, los

cuales influyen en la disminución de la cobertura vegetal y la extinción de animales propios del lugar. Asimismo, este problema afecta a los pobladores aledaños, que se dedican a la agricultura, dañando sus cosechas e incluso pone en riesgo su salud. En épocas de invierno, se puede observar que los relaves mineros que contienen metales pesados son arrastrados, debido a la escorrentía de la lluvia, afectando al área del suelo más cercano de esta fuente contaminante, producto de las escorrentías las aguas llegan al río Isipampa que se encuentra a un aproximado de 70 metros y que por sus riberas viven animales de los pobladores que también vienen siendo afectados, ya que es la única fuente de consumo de agua para ellos.

La fitorremediación se considera una alternativa sostenible, segura y respetuosa con el medio ambiente para abordar la contaminación. Este proceso aprovecha ciertas plantas con la capacidad de eliminar, retener o reducir contaminantes en los suelos, restaurando e incrementando sus funciones biológicas, físicas y químicas. Además, la implementación de métodos que no representen riesgos para la salud de las personas ofrece numerosas ventajas, tanto en términos de eficacia como de economía, al evitar el uso de reactivos químicos peligrosos que podrían dañar la estructura del suelo.

El conocimiento que se tiene sobre la existencia de plantas con respuestas fisiológicas y bioquímicas a alta exposiciones de efectos tóxicos, busca solubilizar los elementos químicos que existen en los suelos contaminados por plomo y zinc, elaborando una estrategia de saneamiento y mejoramiento ambiental, mediante la utilización de la especie avena sativa.

Las razones que me motivaron a realizar mi investigación titulada Eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Avena sativa en suelo contaminado con plomo y zinc están vinculadas a la problemática de la localidad de Huancamina, ubicada en el distrito de Jacas Chico, provincia de Yarowilca, la cual ha estado abandonada desde el año 2012. El objetivo principal de este trabajo es determinar la eficacia de las enmiendas orgánicas en el proceso de fitorremediación utilizando Avena sativa en suelos contaminados con plomo y zinc en Jacas Chico, Huánuco, para el año 2024.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco 2024?

### **1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

- ¿Cuál es la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en la concentración de plomo y zinc en el suelo después de la aplicación de la avena sativa (*Avena sativa*; L)?
- ¿Cuál es la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en la concentración de plomo y zinc en avena sativa (*Avena sativa*; L)?
- ¿Cuál es la eficiencia del compost vegetal y compost animal en el factor de bioacumulación y de translocación de plomo y zinc para avena sativa (*Avena sativa*; L)?

## **1.3. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco 2024.

## **1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en la concentración de plomo y zinc en el suelo después de la aplicación de la avena sativa (*Avena sativa*; L).
- Determinar la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en la concentración de plomo y zinc en avena sativa (*Avena sativa*; L).
- Evaluar la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en el factor de bioacumulación y de translocación de plomo y zinc para Avena Sativa L.

## **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Esta investigación propone soluciones de fitorremediación para los suelos contaminados de la localidad de Huancamina, caracterizados por altas concentraciones de plomo y zinc que afectan la fertilidad y alteran las propiedades químicas y biológicas del suelo. Los resultados obtenidos buscan aportar una alternativa efectiva para la recuperación de estos suelos mediante el uso de Avena sativa L. en combinación con enmiendas orgánicas. Este enfoque permitirá restaurar la salud del suelo, devolviéndole la capacidad de cumplir sus funciones de manera sostenible y respetando los procesos ecológicos presentes en el territorio.

Los resultados de esta investigación servirán como base para futuros estudios relacionados con la fitorremediación utilizando enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos agrícolas contaminados por metales pesados. Esto beneficiará directamente a los agricultores de la localidad de Huancamina, quienes dependen mayoritariamente de la agricultura como principal fuente de ingresos. Además, los hallazgos serán útiles para entidades públicas y privadas como referencia confiable y efectiva, facilitando la ejecución de proyectos de remediación en el futuro. De esta manera, se contribuirá al bienestar de la población, la protección del medio ambiente y la promoción de un desarrollo sostenible.

La disminución de la concentración de plomo y zinc en los suelos de la localidad de Huancamina, a través de la fitorremediación con Avena sativa L. y la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y compost animal), representa una solución económica y accesible para la población. Esta técnica puede ser implementada fácilmente por los agricultores sin comprometer su capital agrícola. Además, contribuye a mejorar los ingresos económicos de los agricultores al incrementar la producción y garantizar cosechas de mejor calidad.

## 1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación, fue realizado de forma profunda, logrando medir el nivel de contaminación causado a los suelos por los metales pesados, y poder lograr una mejora utilizando la fitorremediación, lo cual es un proceso complejo. Uno de los factores que hace que la investigación esté limitada, fue el tiempo, esto porque el proceso de fitorremediación es de periodo largo y relativamente lento, y más cuando se trata de eliminar metales pesados. Así mismo, otro factor limitante para ejecutar esta investigación fue el aspecto económico, debido a que este proyecto abarca mayores egresos significativos a los que se tiene planificado para su ejecución.

## 1.7. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto de investigación propuesto fue factible por las siguientes razones:

- **Ámbito económico:** Se contó con los recursos financieros necesarios para la planificación y ejecución del proyecto.
- **Ámbito social:** Los investigadores poseían un nivel adecuado de conocimientos profesionales y técnicos, además de la capacidad para difundir los resultados y generar nuevos aportes a partir de la investigación.
- **Ámbito teórico:** Hubo viabilidad en los procesos de recopilación de información y análisis de datos, así como en la aplicación de los conocimientos tanto del investigador principal como del asesor del proyecto.
- **Ámbito ambiental:** Existe una creciente preocupación global, nacional y regional sobre los efectos de la contaminación del suelo por residuos mineros. El desarrollo de la investigación no generó daños ni alteraciones en los individuos, la comunidad o el entorno, sino que se enfocó en comprender y abordar la problemática social y ambiental que ha persistido durante años.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Álvarez (2019) en su tesis titulado “Tratamiento de suelos contaminados por metales con combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar”, El **objetivo** del estudio fue evaluar el impacto de la incorporación de biochar, derivado de desechos ganaderos, en suelos contaminados con metales, combinándolo con técnicas de fitorremediación. La **metodología** incluyó la preparación y caracterización del biochar obtenido a partir de tres tipos de residuos ganaderos, así como el análisis de su efecto durante la producción. Además, se examinó el tipo de materia prima presente en el biochar y sus propiedades para su uso como enmienda orgánica en suelos contaminados por actividades mineras. Los **resultados** indican que tanto la temperatura de pirólisis como el tipo de residuo empleado influyen en las propiedades físicas y químicas del biochar, destacándose que una mayor temperatura de pirólisis reduce la fitotoxicidad de los residuos. En **conclusión**, se determina que la colza reduce su Factor de Translocación y bioacumulación en sus tejidos. La planta posee la capacidad de incrementar su biomasa vegetal y acumula arsénico principalmente en sus hojas, mientras que, con el tratamiento BEC 450/3, estabiliza el arsénico en sus raíces mediante el proceso de Fitoestabilización.

Cervera, (2022) en su investigación titulada: Uso de residuos de la industria cafetalera como enmienda orgánica de suelo para mejorar los alimentos de origen vegetal. El **objetivo** principal fue examinar el uso de SCG y sus bioproductos de segunda generación, como vermicompost, biochar e hidrochar, como enmiendas orgánicas para el suelo y en la biofortificación de plantas comestibles, abordando aspectos químicos, físicos, biológicos, ambientales, entre otros. El **método** de trabajo

consistió en emplear todos los bioproductos mencionados en pruebas agronómicas in vitro, realizadas en una cámara climática. Antes de la incubación, se realizaron análisis de las propiedades químicas, físicas, fisicoquímicas y biológicas de los suelos. En algunos casos las pruebas se realizaron en incubación, pero se realizaron sin las plantas y en otros, con cultivos con *Lactuca sativa* var. *Longifolia*, donde se utilizaron las plantas se midieron los parámetros fisiológicos como contenidos de elementos minerales. Obtuvo como **resultado**, que al añadir el SCG aumentaron significativamente la cantidad de carbono en el suelo, también mejoraron las propiedades químicas y fisicoquímicos del suelo. En **conclusión**, los SCG representan una oportunidad para implementar un modelo de economía circular, dado su potencial para generar productos valiosos a partir de residuos. Para maximizar su uso como enmienda orgánica, es crucial realizar ensayos adicionales para transformar estos residuos y mitigar su fitotoxicidad. El estudio destaca que los SCG son especialmente valiosos en regiones con déficit de carbono en los suelos mediterráneos, donde su aplicación puede contribuir a mejorar la calidad del suelo y aumentar la productividad agrícola.

### 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Carbajal y Landauro (2023) en su tesis titulado: Compostaje de cáscara de naranja como una solución para mejorar la calidad de suelos degradados contaminados por metales pesados, específicamente plomo (Pb) y zinc (Zn), en la cuenca del río Rímac 2023. El **objetivo** principal fue emplear compost derivado de cáscaras de naranja para la eliminación de metales tóxicos en el suelo. La **metodología** incluyó el diseño de nueve tratamientos diferentes utilizando recipientes de madera. Cada tratamiento consistió en aplicar distintas combinaciones de suelo degradado y compost, utilizando 4, 8 y 12 kg de muestras de suelos degradados, a los que se añadieron 1, 2 y 3 kg de compost de cáscara de naranja. Los tratamientos se realizaron durante períodos variables de 50, 55 y 60 días. Los **resultados** más significativos se

obtuvieron en el tratamiento 3, que consistió en aplicar 3 kg de compost durante 60 días, logrando una remoción destacada del 91.3% de Pb y del 89.33% de Zn. Se **concluyó** que el uso de compost de cáscara de naranja no solo mejora la calidad del suelo, sino que también constituye una solución viable para reducir los efectos negativos de los metales pesados en la cuenca del río Rímac.

De La Cruz, J. (2023). En su proyecto de investigación: Efecto del biochar en la fitorremediación de plomo (Pb) utilizando la planta Plantago mayor (llantén) en suelos contaminados en Mito, Concepción 2021. El **objetivo** principal fue determinar cómo el biochar influye en la capacidad de Plantago mayor para absorber plomo en un suelo contaminado. En la **metodología** realizaron ensayos con seis dosis de biochar: 0%, 2%, 4%, 6%, 8% y 10%. Las plantas de Plantago mayor se cultivaron en un suelo agrícola contaminado con plomo durante 63 días, utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA) para organizar los tratamientos. **Resultados:** La mayor absorción de Pb en la parte aérea de Plantago mayor se observó con una dosis de 8% de biochar, alcanzando 671.17 mg.kg<sup>-1</sup>. En las raíces, el contenido más alto de Pb fue de 347.673 mg.kg<sup>-1</sup> con una dosis de 6% de biochar, aunque no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El mejor valor se obtuvo con la dosis del 8% de biochar, mientras que el más bajo correspondió al 4%. Los factores de translocación fueron mayores que uno, lo que sugiere que Plantago mayor actúa como una planta fitoextractora eficaz. En cuanto a la remoción de Pb del suelo, el tratamiento con 10% de biochar mostró una eficiencia del 30.827%, atribuida a la menor disponibilidad de Pb debido a la adsorción por el biochar. Se **concluyó** que la mayor absorción de Pb por Plantago mayor se logró con la dosis de 8% de biochar, mientras que el tratamiento de 6% presentó la menor absorción, sin diferencias significativas entre los tratamientos.

Indigoyen y Ninamango (2023), en su tesis titulada Aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación en suelos agrícolas contaminados por plomo en la margen izquierda de la cuenca media del

río Mantaro. Tuvieron como **objetivo** investigar cómo varía la concentración de plomo en suelos tras la aplicación de biochar y compost. El **método** consistió en recolectar muestras de suelo a una profundidad de 30 cm en áreas agrícolas irrigadas con agua del río Mantaro, específicamente en las localidades de Ataura, El Mantaro, Matahuasi y Concepción. Los suelos fueron tratados con biochar derivado de residuos de madera de *Eucalyptus globulus* y compost en dosis de 0, 25, 50 y 75 g/kg. Se utilizó un diseño experimental factorial 4 x 4 con tres repeticiones. Los análisis de suelo, plantas, agua y fertilizantes se llevaron a cabo en la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los **resultados** iniciales indicaron una concentración promedio de plomo (Pb) de 2,014.57 ppm, mientras que al finalizar el experimento, el tratamiento T7 presentó la menor concentración promedio de 1,308.89 ppm, logrando una reducción del 35.03%. Asimismo, se determinó que el maíz (*Zea mays*) fue una planta indicadora eficaz para la fitorremediación, **concluyendo** que *Zea mays* es útil como indicador en investigaciones de fitorremediación.

Vizconde J. (2024) desarrolló un proyecto de investigación titulado Eficiencia de la fitorremediación con *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum* del relave de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas – Huaraz. Cuyo **objetivo** fue evaluar la capacidad de estas dos especies vegetales para rehabilitar suelos contaminados por relaves mineros. El estudio se realizó bajo condiciones controladas en un invernadero, empleando una mezcla de arena, tierra agrícola y relave minero. La **metodología** incluyó una mezcla control (MC) compuesta por cinco partes de tierra agrícola (TA) y una parte de arena (A) sin relave (5TA: 0R: 1A) y tres tratamientos experimentales: M1 (1TA: 4R: 1A), M2 (3TA: 2R: 1A) y M3 (4TA: 1R: 1A). Se evaluaron el Factor de Bioconcentración y el Factor de Translocación para entender los mecanismos de fitorremediación. Los **resultados** revelaron que tanto *Dactylis glomerata* como *Pennisetum clandestinum* tienen una alta capacidad de acumular metales pesados en sus raíces, especialmente

en el tratamiento M3, donde se observó acumulación de cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu) y zinc (Zn), mientras que metales como plata (Ag), níquel (Ni) y arsénico (As) fueron excluidos. Se **concluyó** que ambas especies presentan un elevado potencial para la fitorremediación en condiciones controladas como las de un invernadero.

### 2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Fernández (2019) en su tesis titulada “Identificación de especies vegetales nativas que acumulan cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto”, Distrito de Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco – Perú. El **objetivo** principal de esta investigación fue identificar las especies de plantas con capacidad de acumulación de cadmio en el caserío de Picuruyacu Alto. **Metodología**, se recolectaron cuatro individuos de cada especie vegetal herbácea encontrada para realizar un análisis morfológico y fisicoquímico. Las muestras incluyeron tanto el vástago (semillas, tallo, hojas y flores) como el sistema radicular (raíces). Cada muestra fue prensada para identificación botánica y se realizó una consulta con un especialista de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Las muestras restantes se almacenaron en bolsas de papel etiquetadas para determinar el contenido de cadmio y realizar la caracterización morfológica. Los **resultados** mostraron que en el caserío de Picuruyacu se identificaron siete especies vegetales nativas con tolerancia al cadmio, como *Ageratina* cf *azangaroensis*, *Philoglossa* *mimuloides*, *Browallia* *americana*, *Euphorbia* *heterophylla*, *Borreria* *prostrata*, *Commelina* y *Diodia* *alata*. **Concluyó** que aparte de las especies ya identificadas, también se encontraron dos nuevas especies acumuladoras de cadmio, *Cyperus* y *prostrata*, con una altura promedio de 50 cm y raíces que alcanzan 15 cm, así como tallos delgados y una humedad promedio del 70%, las cuales son hierbas anuales.

Alcántara (2019) en su tesis titulada: Comportamiento del *Plukenetia* *Volubilis* L. y *Erythrina* *fusca* Lour bajo condiciones específicas de fertilización y densidades, El **objetivo** principal de este estudio fue

contribuir a la readecuación agroecológica de suelos alterados en el Distrito de Monzón. La **metodología** empleada fue experimental, utilizando un diseño de parcelas divididas (DPD) implementado en bloques completos al azar. Se trabajó con dos densidades de siembra: DS1 (1666 plantas/ha) y DS2 (1111 plantas/ha), y se aplicaron cuatro niveles de fertilización: N1 (0-0-0), N2 (20-30-20), N3 (25-40-20) y N4 (40-60-40), cada combinación repetida tres veces para garantizar un análisis robusto de los **resultados**. Los resultados mostraron que los niveles de fertilización N4, N3 y N2 tuvieron efectos significativos en las características vegetales de *Plukenetia volubilis* L., siendo los niveles N4 y N3 los que más influyeron en el rendimiento. En cuanto a *Erythrina fusca*, no se observó significancia en la altura de la planta ni en el número de brotes, salvo en la interacción con el número de brotes a los cinco meses. La combinación de ambas especies mejoró las propiedades químicas del suelo. El autor **concluye** que los tratamientos aplicados tuvieron un impacto significativo en las características vegetativas de *Plukenetia volubilis* L., especialmente con el nivel N4, que mostró resultados notables. Además, la interacción entre las dos especies no solo favoreció su crecimiento individual, sino que también contribuyó a la mejora general del suelo, destacando la importancia de usar ambas especies de manera combinada en la rehabilitación agroecológica.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. ENMIENDAS ORGÁNICAS**

Son sustancias que mejoran las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Entre ellas se incluyen el compost, el abono orgánico, el humus de lombriz, entre otros. Estos cambios orgánicos proporcionan nutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas y los organismos que favorecen la vida del suelo. La cantidad necesaria para su aplicación se determina según su acción microbiana, ya que, a menor actividad microbiana, se puede aplicar una mayor cantidad al suelo. Además, señala que las enmiendas orgánicas son materiales derivados de la descomposición de residuos de origen vegetal o animal que, al ser

incorporados al suelo, mejoran sus características fisicoquímicas y biológicas. Estas enmiendas contribuyen a la fertilidad del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua, favoreciendo la actividad microbiana y mejorando la estructura del suelo. Además, las enmiendas orgánicas son fundamentales en la restauración y conservación de los suelos agrícolas al proporcionar nutrientes y mejorar la capacidad de los suelos para soportar cultivos (Coronado, 1997).

Es un sustrato que, al ser incorporado al suelo, mejora la estabilidad de los agregados y la capacidad de retención de agua. Además, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y puede crear condiciones químicas y físicas favorables para la supervivencia y el desarrollo inicial de las plantas, mejorando las propiedades químicas, físicas y microbiológicas del sustrato. De este modo, la adición de enmiendas orgánicas puede mejorar las condiciones del suelo y favorecer el establecimiento y crecimiento de las plantas, lo que a su vez mejora los procesos de fitoestabilización y/o fitoextracción de metales pesados. Además señala que las enmiendas orgánicas son materiales de origen vegetal, animal o de residuos industriales que se incorporan al suelo para mejorar sus características físico-químicas y biológicas. Estas enmiendas pueden incluir compost, vermicompost, estiércol, entre otros, y son fundamentales para incrementar la fertilidad del suelo, promover la actividad microbiana y mejorar la estructura del mismo, favoreciendo así el crecimiento y desarrollo de los cultivos. (Callirgos, 2014).

El uso de enmiendas orgánicas como el yeso agrícola, compost enriquecido con microorganismos eficaces y humus de lombriz ha demostrado ser efectivo para mejorar la calidad del suelo, prevenir su degradación y disminuir la contaminación. Estas enmiendas enriquecen el suelo con una alta cantidad de materia orgánica, microorganismos, bacterias y microelementos, lo que produce cambios notables en la estabilidad estructural del suelo y mejora su capacidad para retener agua (Huaroc, et al., 2021).

### **a. Importancia de las enmiendas orgánicas**

Las enmiendas orgánicas son cruciales porque mejoran los procesos favorecen la infiltración y la retención de agua, estimulan la actividad microbiana y contribuyen a regular el pH, convirtiéndolo en una importante fuente de nutrientes tanto para el suelo como para las plantas. Por ello, resulta esencial asegurar la procedencia del material empleado para prevenir la incorporación de patógenos o sustancias que puedan ser tóxicas. Además, señala que las enmiendas orgánicas son fundamentales porque mejoran varios aspectos del suelo, como la infiltración y la retención de agua, favorecen la actividad microbiana y ayudan a regular el pH del suelo. De esta forma, contribuyen significativamente a la salud del suelo y a la nutrición de las plantas, lo que las convierte en una fuente esencial de nutrientes. Sin embargo, destaca la importancia de evaluar el origen de las enmiendas para evitar la incorporación de patógenos o sustancias tóxicas que puedan afectar negativamente el suelo y las plantas (Murillo, 2020).

### **b. Tipos de enmiendas orgánicas**

- **Compost vegetal:** Es un método para tratar y estabilizar residuos orgánicos que depende de una compleja actividad microbiológica, llevada a cabo bajo condiciones controladas de temperatura elevada (termófilas) y con presencia de oxígeno (aeróbicas). Este proceso da lugar a un producto final que puede ser utilizado como sustrato o enmienda. También se puede describir como un procedimiento de descomposición de materia orgánica mediante fermentación en ambientes oxigenados. Además, señala que es un material orgánico obtenido a partir de la descomposición de residuos vegetales como restos de hojas, ramas, tallos y otros componentes orgánicos de origen vegetal. Este proceso de descomposición ocurre bajo condiciones controladas, utilizando microorganismos que desintegran la materia orgánica, transformándola en un producto rico en nutrientes, capaz de mejorar la estructura del suelo, aumentar su capacidad de retención de agua y promover la actividad microbiana

benéfica. El compost vegetal es considerado una enmienda orgánica valiosa debido a su capacidad para enriquecer el suelo, aportando nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, lo cual mejora la fertilidad del terreno y favorece el crecimiento de las plantas (Palmero, 2010)

- **Compost de estiércol:** Son los excrementos de los animales son productos de desecho resultante del proceso digestivo. Estos desechos, que incluyen heces fecales, son importantes para la agricultura, especialmente en regiones como Puno, donde se crían diversas especies como asnos, ovinos, llamas, alpacas, vacunos y cerdos. El estiércol que producen estos animales es un recurso valioso para mejorar la fertilidad del suelo y aumentar la productividad agrícola. Por otra parte también señala que el compost de estiércol es un tipo de abono orgánico que se obtiene mediante la descomposición de los excrementos de animales, principalmente herbívoros, como vacas, caballos y aves. Este proceso de compostaje transforma el estiércol en un material más estable y fácil de manejar, mejorando la estructura, fertilidad y capacidad de retención de agua del suelo. El compost de estiércol es especialmente útil para aportar nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son fundamentales para el crecimiento de las plantas, y también promueve la actividad biológica del suelo, favoreciendo la salud del ecosistema del suelo. (Montero, 2022).
- **Vermicompost:** El extracto acuoso de alta calidad biológica, obtenido mediante la fermentación aeróbica del vermicompost, Se genera al combinar vermicompost con agua, lo que permite que los nutrientes solubles se encuentren disponibles para ser absorbidos por las plantas. Además, fomenta el crecimiento de microorganismos beneficiosos que contribuyen a proteger los cultivos frente a diversas enfermedades. De esta manera, las plantas se mantienen más saludables y se disminuye la necesidad de aplicar fertilizantes minerales. Los tés permiten la desintoxicación del suelo, facilitando el

crecimiento de las plantas, sin embargo, existe una gran variedad amplia de gama en el método de producción de estos. (González, 2013).

- **Húmica:** Las huminas son moléculas muy grandes, insolubles en agua, independiente del PH, y por tanto tarda mucho en descomponerse. El humus en el suelo es un compuesto complejo de carbono de color marrón oscuro que se descompone lentamente bajo condiciones naturales y puede perdurar en el suelo durante muchos años. Las sustancias húmicas que componen el humus son cadenas relativamente grandes de carbono orgánico que contienen oxígeno, carbono, nitrógeno, hidrógeno y azufre. Estas sustancias, responsables del color marrón o negro de los suelos superficiales, se dividen en tres categorías principales: humina, ácidos fúlvicos y ácidos húmicos (Cooper, 2017).

#### **b. Incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost**

El uso de enmiendas orgánicas como el vermicompost y el compost en suelos dedicados al monocultivo de *Gypsophila* ha demostrado mejorar tanto las propiedades químicas como físicas del suelo. Se observó un incremento en la conductividad eléctrica y en la disponibilidad de fósforo, ambos fundamentales para el desarrollo de las plantas. Además, estas enmiendas actúan como un amortiguador del pH, ayudando a estabilizar, lo que beneficia el crecimiento vegetal al optimizar la disponibilidad de nutrientes esenciales. Disminución de la densidad aparente, la densidad aparente del suelo se redujo, lo que mejora la aireación y la retención de agua, factores importantes para el desarrollo radicular y la salud general de las plantas. (Álvarez, 2020).

- **Proceso de compostaje:** Uno de los problemas ambientales asociados a las actividades agrícolas es la generación de residuos orgánicos, como podas, cosechas, residuos poscosecha, estiércol, pasto, frutos caídos, entre otros. Por lo general, debido al desconocimiento, la falta de espacio o tiempo, las prácticas comunes

son quemar, enterrar o dejar estos residuos al aire libre hasta que se descompongan. El compostaje es un proceso que consta de varias etapas que deben llevarse a cabo correctamente para garantizar la obtención de un compost de alta calidad, aunque en algunos casos ciertos materiales podrían no descomponerse por completo. Además, se define como un proceso biológico y aeróbico en el cual los residuos orgánicos, como restos de alimentos, vegetales y estiércol, se descomponen de manera controlada gracias a la acción de microorganismos, hongos y bacterias. Durante este proceso, estos organismos descomponen la materia orgánica, transformándola en un material humificado conocido como composta, que es rico en nutrientes y puede ser utilizado como fertilizante natural en la agricultura. (Murillo, 2020).

- **Fases de compostaje:** Cuando se mantiene un nivel óptimo de humedad y temperatura, facilita la conversión de residuos orgánicos en un material uniforme y fácilmente asimilable por las plantas. Este proceso puede entenderse como una serie de complejas reacciones metabólicas llevadas a cabo por diversos microorganismos que, al estar en presencia de oxígeno, utilizan el nitrógeno (N) y el carbono (C) disponibles para generar su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos también generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, llamado compost. (Román, 2013).

Román (2013). Manifiesta que el proceso de compostaje se divide en varias fases, estas fases son :

- **Fase Mesófila:** El proceso de compostaje comienza con la materia prima a temperatura ambiente, y en cuestión de días (incluso horas), la temperatura se eleva hasta alcanzar los 45 °C. Este aumento se debe a la actividad microbiana, ya que los microorganismos aprovechan fuentes simples de carbono (C) y nitrógeno (N), generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, da lugar a la formación de ácidos orgánicos, lo que provoca

una disminución del pH, que puede llegar a ser de aproximadamente 4.0 o 4.5.

- **Fase termófila:** Cuando el material supera los 45°C, los microorganismos mesófilos, que crecen a temperaturas moderadas, son reemplazados por aquellos que prosperan a temperaturas más altas, principalmente bacterias termófilas. Estas bacterias ayudan a descomponer fuentes más complejas de carbono, como la celulosa y la lignina.
- **Fase de enfriamiento:** Cuando se agotan las fuentes de carbono y, especialmente, el nitrógeno en el material del compost, la temperatura disminuye a 40-45 °C. En esta fase, sigue la descomposición de polímeros como la celulosa y comienzan a aparecer algunos hongos visibles.
- **Fase de maduración:** Es una fase que dura varios meses a temperatura ambiente, en la cual ocurren reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados, dando lugar a la formación de ácidos fúlvicos y húmicos.

### **c. Factores físicos y químicos que influyen en el proceso de compostaje**

Rodríguez, (2020) El proceso de compostaje es fundamentalmente un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, y está influenciado por diversos factores que afectan su desarrollo. Estos factores incluyen el tipo de sustrato, la aireación, el contenido de humedad, la temperatura, el pH y la relación carbono/nitrógeno, los cuales son determinantes para el éxito del proceso y la obtención de un producto final de alta calidad. Entre las principales características de estos factores se destacan:

- **Porosidad:** Relacionada con la ventilación, afecta la resistencia del paso del aire a través de la pila.
- **Tamaño de partículas:** La actividad microbiana ocurre principalmente en la superficie de las partículas orgánicas, por lo que

su tamaño debe ser pequeño para aumentar el área superficial y favorecer la actividad microbiana y la tasa de descomposición.

- **Estructura:** Se refiere a la capacidad de las partículas para resistir la compactación. Esto subraya la importancia de obtener una mezcla inicial adecuada de materiales.
- **Temperatura:** Es una variable clave que refleja la evolución del proceso. Los cambios de temperatura se utilizan para evaluar la actividad microbiana y la estabilidad de la materia orgánica.
- **Humedad:** Debe mantenerse entre un 40% y un 60%; es esencial aplicar la cantidad correcta de agua.
- **Oxígeno de aireación:** Los microorganismos aeróbicos, que son esenciales para la producción de compost, requieren oxígeno para completar el proceso.
- **Potencia de hidrógeno:** El pH del compostaje depende de las materias primas y varía en cada etapa del proceso (de 4.5 a 8.5).
- **Relación nitrógeno / carbono:** La relación C/N es probablemente el parámetro más importante. El Carbono tiene dos funciones: Por un lado, es fuente de energía y, por otro, constituye el 50 por ciento de la masa de las células microbianas como su elemento estructural básico. El nitrógeno es un componente crucial de las proteínas. Cuando hay poco nitrógeno, la población de microorganismos no ha alcanzado su tamaño óptimo y el proceso de compostaje será más lento, más frío y tomará más tiempo en el proceso de degradación. Por el contrario, un exceso de nitrógeno, generará un crecimiento microbiano acelerado, lo que puede provocar graves problemas: descomposición acelerada, generación de malos olores y pérdidas de nitrógeno por volatilización.

**Tabla 1**

*Condiciones deseables durante el proceso de compostaje*

Características	Rango razonable	Rango óptimo
Relación carbono - 50	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Nitrógeno	-	-
Contenido de Humedad	40% - 50%	50% - 60%

<b>Concentración de oxígeno</b>	Mayor al 5%	Mucho mayor al 5%
<b>PH</b>	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
<b>Temperatura</b>	45 - 66	55 - 60

### 2.2.2. FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación son métodos capaces de asimilar, degradar, desintoxicar o metabolizar metales y compuestos orgánicos, mediante el uso de plantas para el tratamiento in situ de suelos, aguas contaminadas y sedimentos, basados en procesos naturales, que degradan y secuestran contaminantes inorgánicos y orgánicos. (Huerta, 2019).

Asimismo, se dice que es el proceso para recuperar suelos contaminados, utilizando tecnología económica y no dañina basada en favorecer la degradación de organismos de menor escala. Este proceso requiere el uso de especies vegetales y organismos de menor escala o catalizadores asociados, así como la aplicación de planificación agronómica para degradar, conservar o reducir los contaminantes ambientales a niveles seguros a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar el contaminante. (Papuico, 2018).

Este proceso facilita que los contaminantes se acumulen en el suelo y sean absorbidos por las raíces de las plantas utilizadas. El primer paso en un proceso de fitorremediación es seleccionar las plantas apropiadas, que generalmente son especies capaces de acumular contaminantes. A medida que las plantas crecen, alteran y estabilizan el suelo, reduciendo la movilidad de los contaminantes y evitando que se transfieran a otros medios, como el aire o el agua. La fitoestabilización se aplica principalmente a grandes áreas de suelo donde existen contaminantes y tiene la ventaja sobre otros métodos de remediación de suelos que es de bajo costo, fácil de aplicar y también estéticamente agradable. (Martínez, 2018).

La fitorremediación es una técnica que ha ganado relevancia a medida que la actividad industrial crece y provoca una mayor degradación de los ecosistemas naturales. Por lo tanto, se considera uno

de los métodos más efectivos y prometedores para recuperar suelos contaminados y residuos de metales pesados, utilizando diversos tipos de plantas (Hinostroza, 2018).

#### **a. Mecanismos de la fitorremediación**

Hinostroza (2018). La desintoxicación de contaminantes mediante fitorremediación se lleva a cabo mediante al menos uno de los siguientes procesos:

- **Fitoextracción:** Consiste en la absorción de contaminantes por las raíces de las plantas, que luego los acumulan en sus tallos y hojas. Este proceso es particularmente eficaz para metales pesados y ciertos compuestos radiactivos.
- **Rizofiltración:** Este mecanismo utiliza plantas cultivadas en sistemas hidropónicos. Las raíces de las plantas concentran, absorben y precipitan los contaminantes del agua.
- **Fitoestimulación:** Se basa en la producción de exudados radiculares por las plantas, lo cual favorece el crecimiento de microorganismos nativos capaces de descomponer compuestos orgánicos xenobióticos.
- **Fitoestabilización:** Las plantas, mediante un sistema radicular denso, reducen la biodisponibilidad y el movimiento de los contaminantes en el suelo, previniendo su desplazamiento hacia capas subterráneas o hacia la atmósfera.
- **Fitodegradación:** Implica la transformación de contaminantes orgánicos en compuestos más simples, los cuales en algunos casos pueden ser aprovechados por la planta para su propio crecimiento.
- **Fitovolatilización:** En este proceso, las plantas absorben agua con contaminantes solubles, que luego pueden ser liberados al aire a través de las hojas. Un ejemplo es el álamo, que puede volatilizar hasta el 90% del tricloroetileno que absorbe.

## b). Fases de fitorremediación

Flores (2018) expone que, una planta puede ejecutar cualquiera de los mecanismos de fitorremediación en tres fases:

- **Absorción:** Es una característica que las plantas deben proteger de los contaminantes del suelo, raíces y hojas que atraviesan las estomas y la cutícula del estilo textual de la epidermis.
- **Excreción:** Es una función de las plantas mediante la cual liberan contaminantes de su estructura a través de las hojas. Cuando el contacto con los contaminantes es elevado, solo se excretan pequeños trozos sin cambiar su estructura química.
- **Desintoxicación de contaminantes:** Es una de las etapas de la fitorremediación donde se mineraliza el dióxido de carbono, en caso de degradación de contaminantes orgánicos; Para fijaciones altas, se utiliza incineraciones controladas y las cenizas se eliminan en los lugares disponibles para tal fin.

## c. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Rebaza y Valverde (2019), detalla las ventajas y desventajas.

**Tabla 2**

*Ventajas y desventajas de fitorremediación*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"><li>• Es una tecnología sostenible.</li><li>• Es eficaz para tratar diferentes tipos de contaminantes in situ.</li><li>• Es adecuada para ambientes con concentraciones de contaminantes de bajas a moderadas.</li><li>• Es de bajo costo, no necesita personal especializado ni consumo de energía.</li><li>• Tiene un impacto ambiental mínimo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Es un proceso relativamente lento, especialmente cuando se utilizan especies de vida larga, como árboles o arbustos.</li><li>• Depende de las estaciones del año.</li><li>• El crecimiento de la vegetación puede verse afectado por altos niveles de toxicidad ambiental.</li><li>• No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras de contaminantes.</li></ul>

- 
- Tiene alta aceptación pública debido a su atractivo visual.
  - Evita la excavación y el uso de maquinaria pesada.
  - Posee un gran potencial para tratar una amplia variedad de materiales peligrosos.
- La solubilidad de algunos contaminantes puede aumentar, lo que puede generar mayor daño ambiental o migración de los contaminantes.
- 

### **2.2.3. CONTAMINACIÓN DEL SUELO**

En términos generales, la contaminación del suelo se refiere a la presencia de sustancias químicas que se incorporan desde el exterior o que se encuentran en concentraciones superiores a las normales, causando efectos negativos en organismos no destinados a su contacto. Las causas de la contaminación del suelo son variadas, difíciles de manejar y complican una clasificación sistemática. También señala que la contaminación del suelo tiene efectos negativos en la flora, fauna y en los ecosistemas en general, ya que los contaminantes pueden ser absorbidos por las plantas, alterando su crecimiento, desarrollo y capacidad para producir alimentos. Además, puede tener consecuencias graves para la salud humana, especialmente cuando los contaminantes ingresan a la cadena alimentaria. La gestión adecuada de los residuos, la reducción del uso de productos químicos y la implementación de prácticas de rehabilitación son esenciales para prevenir y mitigar la contaminación del suelo. (Poma y Quiñonez, 2021).

Los problemas vinculados con la acumulación de metales pesados y la contaminación ambiental son cada vez más relevantes debido a sus impactos negativos en la salud humana y en el ecosistema en general. Factores como los procesos naturales, la rápida industrialización, el uso de combustibles fósiles, la fundición de hierro y las actividades mineras intensivas son frecuentemente responsables de la contaminación global por metales pesados. Durante décadas, se ha establecido que las actividades mineras son las principales contribuyentes al aumento de la concentración de muchos metales pesados en diversos componentes del medio ambiente. (De La Cruz, 2023).

### **a. Contaminación de suelo por relave minero**

El suelo contaminado por relave minero, es un área en la que puede haber presencia de contaminantes, debido a una actividad lucrativa no regulada o debido a una infracción de las regulaciones vigentes. Una de las actividades potencialmente contaminantes es la minería y los hidrocarburos, así mismo se considera suelo contaminado por relave minero es causado por una agregación de sustancias tóxicas que, al exceder el poder de autodepuración, generan una pérdida parcial o total de productividad, reduciendo el rendimiento de las plantas cultivadas en el suelo. (Corpus, 2018).

Bejarano (2018) explicó que, el suelo contaminado por relave minero es debido a la grave explotación de minerales, que generan grandes cantidades de desechos mineros, los depósitos de relaves son particularmente importantes, presentan riesgos de que el suelo y las aguas metálicas estándar se escurran, arrastrando el material a las áreas vecinas debido a dispersión de viento y agua.

### **b. Metales pesados en el suelo**

La concentración de los metales, están presentes en el suelo como componentes naturales a consecuencia de actividades antropogénicas, causando un aumento en los niveles de metales pesados. Así mismo señala que los metales pesados pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas, lo que puede llevar a la acumulación en los tejidos vegetales. Esto no solo afecta la salud de las plantas, sino que también puede ingresar a la cadena alimentaria, afectando a los animales y seres humanos. Los metales pesados en el suelo son generalmente persistentes, ya que no se degradan fácilmente, lo que hace que la contaminación sea un problema ambiental a largo plazo. Por lo tanto, la gestión de su concentración en el suelo es crucial para la salud ambiental y humana (corpus, 2018)

- **Cadmio (Cd):** Es uno de los metales más solubles y peligrosos en el suelo, conocido por su alta movilidad y capacidad de bioacumulación. Este metal puede tener efectos nocivos incluso en bajas

concentraciones, afectando negativamente a las plantas. La presencia de cadmio en suelos y rocas es común, incluyendo fertilizantes de carbón y minerales.

- **Cobre (Cu):** Presenta una movilidad baja en el suelo debido a su afinidad por otros elementos. Este metal tiende a acumularse en los tejidos de las raíces y hojas de las plantas.
- **Níquel (Ni):** Puede ser menos absorbido en los suelos, pero puede ser rápidamente absorbido por las plantas y ligeramente tóxico, preferiblemente acumulándose en las hojas y semillas.
- **Plomo (Pb):** Es un metal pesado que generalmente se acumula en la capa superficial del suelo, donde su concentración tiende a disminuir con la profundidad.
- **Zinc (Zn):** Es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Participa en numerosos procesos metabólicos y es un componente clave de varias enzimas. Demasiado Zn en el suelo puede envenenar plantas como la clorosis.

### c. Factores que afectan la acumulación de metales en el suelo

Vilcapoma (2019) señala que varios factores influyen en la acumulación de metales en el suelo, entre ellos:

- **pH:** Este es un factor clave, ya que determina la movilidad de los cationes. La mayoría de los metales pesados tienen un pH ácido, un aumento en el pH incrementa la adsorción y retención de cationes, lo que a su vez reduce la solubilidad de los metales en el suelo.
- **Condiciones redox:** Las condiciones redox afectan el estado de oxidación de los metales, indirectamente en su movimiento en el suelo.
- **Textura:** La textura del suelo facilita la absorción, infiltración y pérdida de metales.
- **Materia orgánica:** Juega un papel crucial en los procesos de adsorción en el suelo, ya que está vinculada a complejos de intercambio.

- **Carbonatos:** Ayudan a mantener un pH alto, lo que favorece la precipitación de metales pesados.
- **Salinidad:** Aumenta el pH y favorece el movimiento de los metales.
- **Humedad:** La humedad en el suelo facilita el movimiento de los metales a través de reacciones de oxidación-reducción.

#### **d. Movilidad y biodisponibilidad de metales**

Se dispersan y se encuentran fijos a las partículas de los suelos. Asimismo, estas distribuciones pueden ser provocadas por otros factores como lo es la acción de la naturaleza, la lluvia, el aire, entre otros. Estos movimientos pueden causar grandes riesgos, ya que contaminan los recursos como el suelo, agua, generando pérdidas en la agricultura y poniendo en peligro la salud de las personas. También señala que la movilidad y biodisponibilidad de los metales determinan la cantidad de contaminantes que las plantas pueden absorber y, por ende, influyen en su potencial para bioacumular metales o ser utilizadas en procesos de fitorremediación. (Jara, 2018).

Silva (2018). Sostuvo que la movilización de los metales proviene de la acción del aire, y también de las precipitaciones que dispersan los metales por arrastre, llegando a zonas, terrenos agrícolas o aguas de ríos, provocando gran toxicidad en la población. Es decir, estos movimientos de los metales se dan gracias a una acción biológica, donde se relaciona lo sólido – líquido y el agua.

La biodisponibilidad de metales se interpreta como la forma en la cual un organismo absorbe dichos metales y que pueden acoplarse a su metabolismo. Así mismo, este proceso es fundamental pues, manifiesta el grado de toxicidad de un contaminante, además permite evidenciar la eficiencia de la fitorremediación. (Segura, 2019).

#### **2.2.4. PLANTAS REMEDIADORAS**

Huiza (2019) Se establece que, en este proceso, las plantas se eligen principalmente en función de su potencial fisiológico, la capacidad de los compuestos presentes para asimilar sustancias tóxicas, la

profundidad de sus raíces, su tasa de crecimiento y su habilidad para bioacumular y descomponer los contaminantes.

La vegetación que posee estas características se denomina plantas hiperacumulantes, debido a su capacidad para acumular uno o más elementos inorgánicos a concentraciones hasta cien veces superiores a las del entorno circundante y a las de otras especies que crecen en las mismas condiciones ambientales. Asimismo, entre las especies de plantas remediadoras más importantes, encontramos. (Huiza 2019)

- **Rye grass (*Lolium perenne*):** Se considera una especie hiperacumuladora, la forma de captar el contaminante de esta hierba la realizan sus tejidos aéreos, esta hierba crece a un pH superior a 5.5 y debe tener una buena filtración.
- **Geranio (*Pelargonium hortorum*):** Considerado especie hiperacumuladora, este arbusto tiene, tallos y hojas, se considera una especie de fitoextracción.
- **Malva (*Fuertesimalva echinata*):** Es una especie que crece a grandes alturas, se considera una especie Fito estabilizador, ya que tiende a retener contaminantes en las raíces.

#### **a. Absorción y transporte de metales en las plantas**

Tonato (2019) manifiesta que, las plantas utilizan distintos tipos de mecanismos para lograr capturar los elementos tóxicos, y esto se da gracias a los transportadores que son específicos y se localizan en sus raíces que tienen la capacidad de absorber contaminantes que se encuentren en los suelos. Además, señala que, en algunos casos, las plantas pueden acumular metales pesados en sus tejidos, un fenómeno que puede tener efectos tóxicos o, en ciertas especies, servir para procesos de fitorremediación, donde la planta actúa como un agente de limpieza del ambiente al remover metales del suelo o agua. Sin embargo, en condiciones normales, un exceso de metales pesados puede afectar negativamente el crecimiento y la salud de la planta.

Asimismo, la absorción de elementos situados en el suelo, va a depender de la propia especie vegetal y está determinada por su exploración contaminado o degradado. Además, para que esto se lleve a cabo es necesario que el elemento esté disuelto. (Huiza, 2019).

Por otro lado, Soto (2019) manifiesta que, la acción del agua, junto a los nutrientes y los metales, son llevados a las plantas por el mecanismo de sus raíces, ingresando por sus células vegetales y luego esparciéndose por todos los compartimientos celulares, trayendo consecuencias beneficiosas o graves, pues la planta puede absorber metales nocivos y ocasionar su muerte.

#### **b. Tolerancia de las plantas hacia los metales**

Una de las características clave en cualquier proceso de fitorremediación es la tolerancia de las plantas a los metales, lo que evidencia su gran capacidad para resistir los contaminantes tóxicos que de otro modo les serían perjudiciales. Así mismo, se dice que estas pueden ser resistentes o tolerantes de acuerdo a la cantidad de contaminantes que haya en el suelo. También señala que la tolerancia de las plantas hacia los metales se refiere a la capacidad de las plantas para resistir o adaptarse a la presencia de metales pesados en su entorno sin que esto afecte significativamente su crecimiento, desarrollo o reproducción. Esta tolerancia varía entre especies y está relacionada con mecanismos fisiológicos y bioquímicos que permiten a las plantas manejar la toxicidad de los metales, como el aislamiento de los metales en vacuolas, la metilación de metales o la producción de compuestos quelantes, como las metalotioneínas. (Fernández, 2019).

Asimismo, Vega (2018) manifiesta que, la tolerancia hace referencia a la cualidad que presenta cada planta para hacer frente a los elementos tóxicos. Existen diversos tipos de mecanismos de tolerancia que tiene una planta y estos van desde limitar la entrada de los metales dentro de sus células o dejar libre el metal lo cual sería capaz de originar su muerte. Esta tolerancia va a depender también de las características químicas que los metales tengan.

Por otro lado, la tolerancia puede ser heredable, es decir, van a tener características genéticamente estables para sus resistencias a los metales, lo cual serán beneficiosos pues, las semillas de plantas específicas, las cuales no se verán afectadas por estos elementos que pueden ser perjudiciales para las plantas (Larios, 2019).

### **c. Factor de bioacumulación y translocación en las plantas**

Los factores que determinan la capacidad de las plantas para absorber y traslocar metales del suelo a la parte aérea son fundamentales en el estudio de la fitorremediación. Además, señala que ambos factores son importantes para comprender el comportamiento de los metales en las plantas, y tienen implicaciones para la utilización de plantas en la remediación de ambientes contaminados, así como para la evaluación de los riesgos de contaminación en los ecosistemas agrícolas o naturales. (Poma y Quiñonez, 2022).

- **Factor de bioacumulación:** También conocido como índice de bioconcentración, coeficiente de transferencia, coeficiente de absorción biológica, coeficiente de bioacumulación o factor de concentración, este parámetro permite medir la capacidad de una planta para absorber un metal pesado, tanto en las raíces como en la parte aérea (tallo y hojas), en comparación con su concentración en el suelo. El factor de bioconcentración en las plantas se emplea como un indicador de la eficiencia con la que acumulan metales en su biomasa. Los valores superiores a 1 sugieren que las especies tienen el potencial de ser hiperacumuladoras, mientras que aquellas especies excluidoras presentan factores de bioconcentración menores a 1, y cuanto más bajos son estos valores, mayor es su capacidad para excluir los metales.
- **Factor de translocación:** El factor de translocación es el cociente entre la concentración de metales en los órganos aéreos y en las raíces. Un valor superior a 1 indica una alta capacidad de transporte de metales desde las raíces hacia los vástagos, lo que se debe principalmente a sistemas eficientes de transporte de metales y

probablemente al secuestro de estos en vacuolas foliares y en el apoplasto. Las plantas hiperacumuladoras se caracterizan por tener una mayor concentración de metales en sus partes aéreas que en las raíces, con un valor superior a 1. En cambio, las plantas no acumuladoras suelen tener mayor concentración de metales en las raíces que en los tallos y hojas.

### **2.2.5. ESPECIE AVENA SATIVA**

La especie avena sativa, es una gramínea que crece verticalmente y está más desarrollada que la cebada y el trigo. En la tierra se plantan en lugares moderados. Hoy es muy valorado por sus propiedades nutricionales, que externamente tiene una estructura llamada pericarpio; este se presenta con la cubierta de semillas y se relaciona con la combinación de las paredes ováricas, La especie avena sativa está adaptada a una amplia variedad de microclimas en el sector agrícola andino, desde 2.500 y a climas variados. El presente autor consideró que la variable será respondida con las siguientes dimensiones: Potencial de germinación de las semillas, propagación, crecimiento, biomasa y factor de bioconcentración y factor de translocación. También señala que la especie Avena sativa es una planta herbácea anual de la familia Poaceae, comúnmente conocida como avena. Es cultivada principalmente por sus granos, los cuales son utilizados tanto para la alimentación humana como animal. La avena es un cereal que se caracteriza por ser rica en fibra, vitaminas, minerales y antioxidantes, lo que le otorga propiedades nutricionales destacadas.

En términos agronómicos, Avena sativa es una especie resistente que se adapta bien a diferentes condiciones climáticas, especialmente en regiones frescas y templadas. Además de su uso alimenticio, la avena también tiene aplicaciones en la medicina tradicional, la industria cosmética y en la mejora de suelos como parte de las prácticas de rotación de cultivos. Este cereal es valorado no solo por sus beneficios nutricionales, sino también por su capacidad para mejorar la estructura del suelo y prevenir la erosión en zonas agrícolas. (Corpus, 2018).

Llatas (2018), definió que es reconocida como una hierba anual y puede alcanzar entre 40 y 150 cm de altura. Tiene raíces potentes, profundas y abundantes en relación con otros cereales, lo que le permite reducir la cantidad de fertilizante necesaria para el desarrollo y atraer más nutrientes del suelo. El estudio de esta variable es de gran importancia porque tiene propiedades restauradoras del sistema nervioso y que ayuda a reducir el colesterol en la sangre, además tiene un alto rendimiento de biomasa y un buen contenido nutricional, características que mejoran la nutrición del ganado en las zonas altoandinas. (Llatas, 2018).

### a. Taxonomía

La avena fue inicialmente descrita por Linnaeus y es un cereal que pertenece a la familia Poaceae, a la tribu Aveneae y al género Avena, que incluye dos especies cultivadas: Avena sativa L. y Avena bizantina L. La Avena sativa o avena común se adapta de manera óptima a condiciones climáticas templadas. La avena roja es más tolerante al calor y crece en las regiones de África y América. (Anaya, 2017).

En la clasificación de la avena se hacen divisiones importantes: tipo de panícula, el color del lema madura (grano), tiempo de madurez, hábito de crecimiento temprano (juvenil) y la altura de la planta. (Anaya, 2017).

**Tabla 3**

*Clasificación taxonómica de la avena sativa*

Taxonomía	
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Liliopsida
<b>Orden</b>	Poales
<b>Familia</b>	Poaceae
<b>Subfamilia</b>	Pooldeae
<b>Tribu</b>	Aveneae

<b>Género</b>	Avena
<b>Especie</b>	A. sativa
<b>Nombre Científico</b>	Avena sativa

### 2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

#### **Avena Sativa**

Es una gramínea que crece verticalmente y está más desarrollada que la cebada y el trigo, y es valorada por sus propiedades nutricionales, habiendo indicios de que puede ser una planta con grandes capacidades de fitorremediación, en cuanto a los suelos contaminados por relave minero. Así mismo se define que la Avena sativa es una planta herbácea anual de la familia Poaceae (gramíneas), comúnmente conocida como avena.

#### **Enmiendas orgánicas**

Son productos obtenidos de la descomposición de residuos vegetales, animales e industriales, que al ser incorporados al suelo mejoran sus características fisicoquímicas y biológicas, favoreciendo también la productividad de los cultivos. Entre las principales enmiendas orgánicas se incluyen los abonos verdes, los lodos de depuración, el biochar, el estiércol de diversos animales y el vermicompost.

#### **Suelos contaminados**

Suelos cuyas propiedades químicas han sido modificadas debido a la presencia de contaminantes originados por actividades humanas. Los suelos contaminados son aquellos que han sufrido alteraciones en su composición debido a la presencia de sustancias químicas, residuos industriales, metales pesados, productos tóxicos o agentes patógenos, que afectan su calidad y capacidad para sustentar vida vegetal y animal

#### **Concentración de metales**

Estos compuestos pueden ocasionar daños significativos al suelo, los cuales pueden propagarse hacia los cuerpos de agua cercanos a través de

filtraciones, y también tienen el potencial de afectar varios cultivos. La concentración de metales se refiere a la cantidad o nivel de presencia de metales en una muestra de suelo, agua, aire o en organismos vivos.

### **Fitorremediación**

Son métodos que consisten en la asimilación, degradación, detoxificación o metabolismo de metales pesados y compuestos orgánicos con las plantas. La fitorremediación es considerada una alternativa ecológica, económica y sostenible para la descontaminación de ambientes afectados por diversos tipos de contaminación.

### **Germinación de semillas**

Medio estándar por el cual se reinicia el crecimiento del embrión llamado proceso fisiológico. Este proceso es el paso inicial para que una planta de cualquier tipo, se desarrolle y tiende a ser medido basándose en datos cualitativos de observación y cuantitativos de medición. La germinación de semillas es el proceso mediante el cual una semilla comienza a desarrollarse y a transformarse en una nueva planta.

### **Minería**

Es una actividad extractiva de gran importancia para el desarrollo económico de un país. Sin embargo, bien conocido que tiene afectaciones al medio ambiente, severas, que han conllevado el rechazo por muchas comunidades andinas, sin embargo, tiene gran repercusión en el PBI. Estos recursos pueden ser metales, como oro, plata y cobre, o minerales no metálicos, como carbón, sal, piedra caliza y arcilla.

### **Relave minero**

Es causado por una agregación de sustancias tóxicas que provocan una disminución parcial o completa de la productividad. Esto trae como consecuencia que, se lleguen a contaminar parcelas o hectáreas de suelos, producto de una mala disposición final y una mala gestión de las empresas mineras que lo promueven.

## **2.4. HIPÓTESIS**

### **2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

**Ha:** Las enmiendas orgánicas son eficientes en la fitorremediación con *Avena Sativa L.* en un suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco – 2024.

**Ho:** Las enmiendas orgánicas no son eficientes en la fitorremediación con *Avena Sativa L.* en un suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco – 2024.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Eficiencia de enmiendas orgánicas

### **2.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Fitorremediación con avena sativa (*Avena Sativa L.*) en suelo contaminado con plomo y zinc

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable s	Indicadores	Unidades de medición	Tipo de variables
<b>Independiente</b>	Porcentaje por kilogramo de suelo	Gramos	Numérica continua
Eficiencia de enmiendas orgánicas	Porcentaje por kilogram o de suelo	Gramos	
<b>Dependiente</b>	Plomo y Zinc	Miligramos por kilogramos	Numérica continua
Fitorremediación con avena sativa ( <i>Avena Sativa L</i> ) en suelo contaminado con plomo y zinc	Plomo y Zinc	Miligramos por kilogramos	
	Plomo y Zinc	Miligramos por kilogramos	

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El estudio se clasificó de la siguiente manera: en cuanto a la planificación de las medidas, fue prospectivo, ya que se utilizaron datos primarios. En términos del número de variables, fue analítico. En relación con la intervención del investigador, se trató de un estudio con intervención. Respecto al número de mediciones, fue longitudinal, ya que se realizó más de una medición de la variable en cuestión. (Supo y Zacarías, 2020).

##### **3.1.1. ENFOQUE**

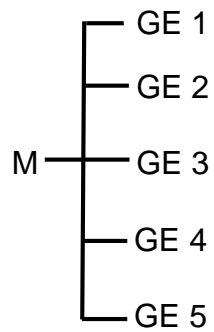
La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se hizo uso de la estadística, el cual sirvió para analizar los datos recolectados en campo. Además de ello, la representación de resultados, fueron en orden numérico. (Supo y Zacarías, 2020).

##### **3.1.2. ALCANCE O NIVEL**

El estudio corresponde al nivel descriptivo, debido a que se pretendió brindar una solución o mejora. (Supo y Zacarías, 2020). Al fitorremediar los suelos contaminados por metales pesados, esto conlleva a brindar una solución a un problema fundado y específico, el cual fue detallado y enmarcado en la situación problemática.

##### **3.1.3. DISEÑO**

El presente proyecto de investigación, tuvo un diseño: prospectivo, analítico, con intervención y longitudinal. (Supo y Zacarías, 2020).



M = Área en influencia de la comunidad de Huancamina.

GE 1 = 2 kg Suelo contaminado + 10 % compost vegetal + 0 % compost animal  
 → 35 semillas

GE 2 = 2 kg Suelo contaminado + 20 % compost vegetal + 0 % compost animal  
 → 35 semillas

GE 3 = 2 kg Suelo contaminado + 0 % compost vegetal + 10 % compost animal  
 → 35 semillas

GE 4 = 2 kg Suelo contaminado + 0 % compost vegetal + 20 % compost animal  
 → 35 semillas

GE 5 = 2 kg Suelo contaminado + 0 % compost vegetal + 0 % compost animal  
 → 35 semillas

**Tabla 4**

*Tratamiento en estudio Condiciones deseables durante el proceso de compostaje*

Tratamientos	Compost vegetal (%)	Compost animal (%)
T1	10	0
T2	20	0
T3	0	10
T4	0	20
T5	Control	Control

### 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

El estudio se centró en los suelos contaminados con plomo y zinc, donde se evaluó la efectividad de las enmiendas orgánicas en el proceso de fitorremediación utilizando avena sativa L. La investigación se llevó a cabo en el Distrito de Jacas Chico, en la Provincia de Yarowilca, Departamento de Huánuco. Ver ubicación en el plano del anexo 02.

**Tabla 5**

*Ubicación del lugar de estudio*

Vértices	Coordenadas UTM – WGS 84		Zona
	Este (E)	Norte (N)	
PM1	334059	8912431	18L
PM2	334039	8912413	18L
PM3	334021	8912432	18L
PM4	334007	8912451	18L
PM5	334016	8912469	18L
PM6	334043	8912457	18L

La muestra se seleccionó de manera conveniente e incluyó un área de 0.5 hectáreas de suelo contaminado con plomo y zinc. El muestreo del suelo se realizó de forma aleatoria, obteniendo un promedio de 18 kg de muestra compuesta. El muestreo utilizado es no probabilístico, ya que no se emplea ninguna fórmula estadística para determinar el tamaño de la muestra.

### 3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Tabla 6

*Materiales de recolección de datos*

Etapa	Equipos	Materiales
Muestreo de suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cámara digital</li><li>- GPS</li><li>- Balanza analítica</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pala</li><li>- Pico</li><li>- Tamiz #2 nm</li><li>- Costal de 50 kg</li><li>- Bolsa</li><li>- hermética 1kg</li></ul>
Análisis de zinc y plomo en el suelo	Espectrofotometría de absorción atómica	<ul style="list-style-type: none"><li>- Pala</li><li>- Papel boom</li><li>- Plumón</li></ul>
Análisis de zinc y plomo en la avena sativa l. parte foliar y radicular	Espectrofotometría de absorción atómica	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bolsa</li><li>- hermética 1kg</li><li>- Papel boom y plumón</li></ul>

#### 3.3.1. RECOLECCIÓN DEL SUELO

El muestreo de suelo se llevó a cabo en la localidad de Huancamina, en el distrito de Jacas Chico y la provincia de Yarowilca, en marzo de 2024, en un área de 0.5 hectáreas. De acuerdo con el protocolo de muestreo de suelo, se realizó un muestreo aleatorio, recolectando un total de 6 muestras simples a una profundidad de 30 cm, con un peso de 3 kg por punto de muestreo, utilizando pala y pico. Las muestras simples se homogenizaron y luego se procedió al cuarteo para obtener una muestra compuesta de 18 kg de suelo para el experimento. Además, se extrajo una muestra de 1 kg para analizar los niveles de plomo y zinc en el suelo, análisis que se llevó a cabo en la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

#### 3.3.2. PREPARACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Las muestras de suelo fueron tamizadas utilizando un tamiz de 2 mm de diámetro y luego se pesaron 2 kg de suelo para cada maceta,

que previamente había sido etiquetada según el tratamiento. El compost animal fue adquirido en el centro poblado de Ayapiteg, y el compost vegetal se obtuvo de la planta de segregación de residuos sólidos del distrito de Amarilis. El suelo se mezcló con las enmiendas orgánicas siguiendo las dosis correspondientes a cada tratamiento. Se adquirieron semillas forrajeras de Avena Sativa L., y se sembraron 35 semillas en cada maceta previamente homogenizada. Las plantas se regaron periódicamente con agua, según sus necesidades. El experimento tuvo una duración de 40 días calendario, durante los cuales se proporcionaron los cuidados necesarios para el crecimiento de las plantas, con riegos cada dos días.

### **3.3.3. ANÁLISIS DE PLOMO Y ZINC EN EL SUELO**

Al concluir el período experimental, se procedió a homogenizar el suelo de cada maceta para obtener una muestra de 1 kg, la cual fue enviada al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para analizar los niveles de plomo y zinc en el suelo, utilizando el método de digestión ácida/espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados obtenidos sobre la concentración de plomo y zinc en los suelos de Huancamina fueron comparados con los estándares de calidad del suelo de Perú y Ecuador, concluyendo que los suelos presentaban niveles de contaminación superiores a los permitidos para suelos agrícolas.

### **3.3.4. ANÁLISIS DE PLOMO Y ZINC EN LA AVENA SATIVA L**

Al finalizar el período experimental, se cortó la parte aérea de las plantas de todos los tratamientos y se colocó en bolsas de muestreo debidamente etiquetadas. De igual manera, se extrajeron cuidadosamente las raíces, las cuales fueron lavadas, secadas y empaquetadas en bolsas con las etiquetas correspondientes. Las muestras fueron enviadas al laboratorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva para el análisis del contenido total de plomo y zinc de las partes de la raíz y hoja por el método de espectrofotometría de

absorción atómica. Los resultados fueron concentración de plomo y zinc en la parte de hoja y raíz de la planta.

### 3.3.5. EVALUACIÓN DEL FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y TRANSLOCACIÓN DE PLOMO Y ZINC PARA LA AVENA SATIVA

Se evaluó el factor de bioacumulación a partir de los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos realizados en el estudio. Este factor se define como la relación entre las concentraciones del metal en las raíces o la parte aérea de la planta y en el suelo. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$FBC = \frac{(\text{METAL})\text{RAÍZ O PARTE AÉREA}}{(\text{METAL})\text{SUELO}}$$

Asimismo se evaluó el factor de translocación, este factor indica el tipo de respuesta de la planta al metal y donde se acumulan los metales. Se calcula de la siguiente manera.

$$FT = \frac{(\text{METAL})\text{PARTE AÉREA}}{(\text{METAL})\text{RAÍZ}}$$

### 3.4. TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

**Tabla 7**

*Procesamiento de análisis de información*

<b>Etapa</b>	<b>Técnica</b>
<b>Procesamiento</b>	- Recolección de los datos de campo, análisis de suelos contaminados y análisis de la avena sativa.
<b>Análisis</b>	- Procesamiento estadístico con t de Student para muestras relacionadas - Prueba de normalidad de los datos: Kolmogorov – Smimov y Shapiro - Wilk

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

**Tabla 8**

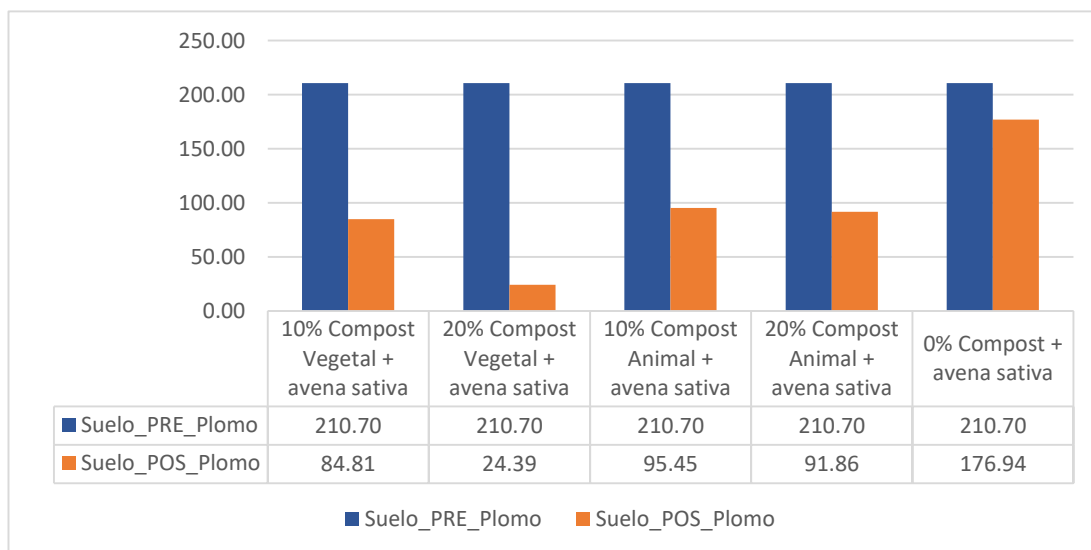
*Concentración de Plomo en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa*

	Suelo PRE Pb	Suelo POS Pb
10% Compost Vegetal + avena sativa	210.70 ppm	84.81 ppm
20% Compost Vegetal + avena sativa	210.70 ppm	24.39 ppm
10% Compost Animal + avena sativa	210.70 ppm	95.45 ppm
20% Compost Animal + avena sativa	210.70 ppm	91.86 ppm
0% Compost + avena sativa	210.70 ppm	176.94 ppm

*Nota.* Los resultados incluyen un tratamiento solo con avena sativa.

**Ilustración 1**

*Concentración de Plomo en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa*



*Nota.* Con el tratamiento de 20% Compost Vegetal + avena sativa, el suelo obtuvo la menor cantidad de Plomo luego de la experimentación, se redujo el 88.42% de Plomo inicial con respecto al final (de 210.70 ppm a 24.39 ppm).

**Tabla 9**

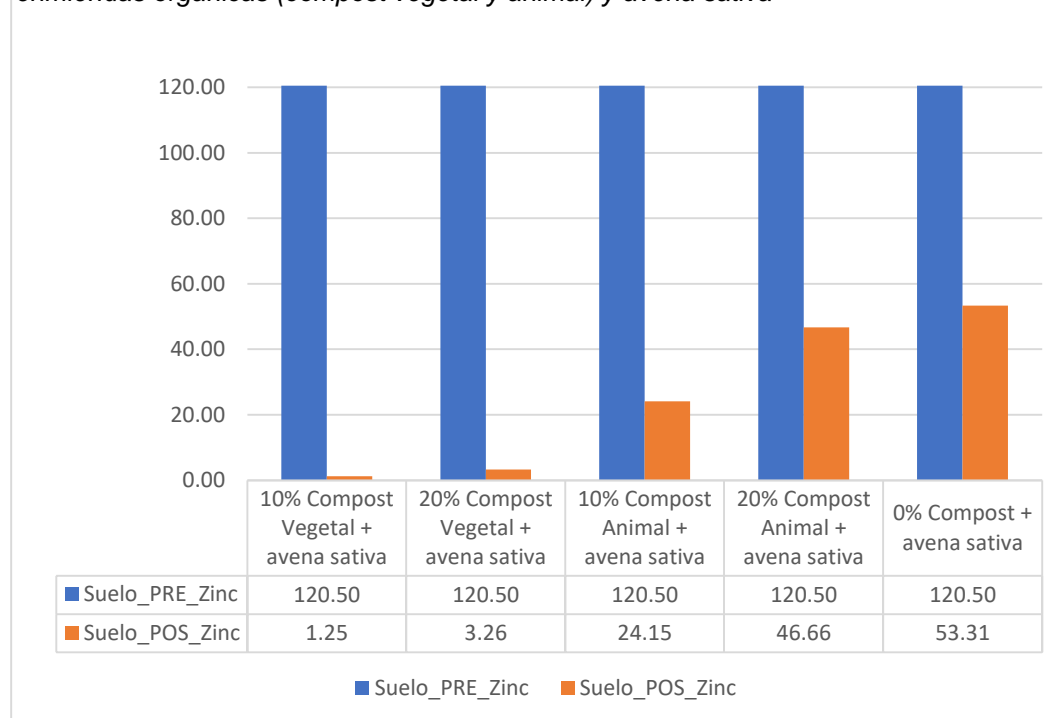
*Concentración de Zinc en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa*

	Suelo_PRE_Zn	Suelo_POS_Zn
10% Compost Vegetal + avena sativa	120.50 ppm	1.25 ppm
20% Compost Vegetal + avena sativa	120.50 ppm	3.26 ppm
10% Compost Animal + avena sativa	120.50 ppm	24.15 ppm
20% Compost Animal + avena sativa	120.50 ppm	46.66 ppm
0% Compost + avena sativa	120.50 ppm	53.31 ppm

*Nota.* Los resultados incluyen un tratamiento solo con avena sativa.

**Ilustración 2**

*Concentración de Zinc en el suelo contaminado antes y después de la aplicación de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) y avena sativa*



*Nota.* Con el tratamiento de 10% Compost Vegetal + avena sativa, el suelo obtuvo la menor cantidad de Zinc luego de la experimentación, se redujo el 98.96% del Zinc inicial con respecto al final (de 120.50 ppm a 1.25 ppm).

**Tabla 10**

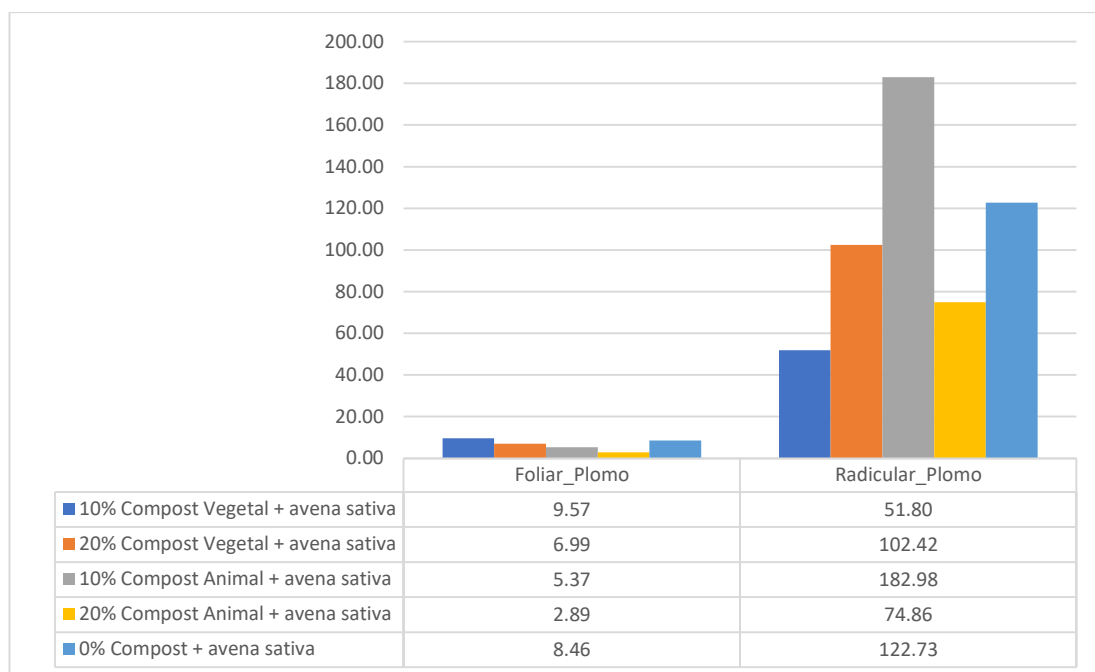
*Concentración de Plomo encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado*

	<b>Foliar Pb</b>	<b>Radicular Pb</b>
10% Compost Vegetal + avena sativa	9.57 ppm	51.80 ppm
20% Compost Vegetal + avena sativa	6.99 ppm	102.42 ppm
10% Compost Animal + avena sativa	5.37 ppm	182.98 ppm
20% Compost Animal + avena sativa	2.89 ppm	74.86 ppm
0% Compost + avena sativa	8.46 ppm	122.73 ppm

*Nota.* Los resultados incluyen un tratamiento solo con avena sativa.

**Ilustración 3**

*Concentración de Plomo encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado*



*Nota.* En el tratamiento que incluye al compost vegetal y a la avena sativa, se obtuvo una mayor extracción de Plomo en la parte foliar de la planta (9.57 ppm). Por otro lado, en el tratamiento con 10% de compost animal más avena sativa, se ha obtenido una mayor extracción de Plomo (182.98 ppm).

**Tabla 11**

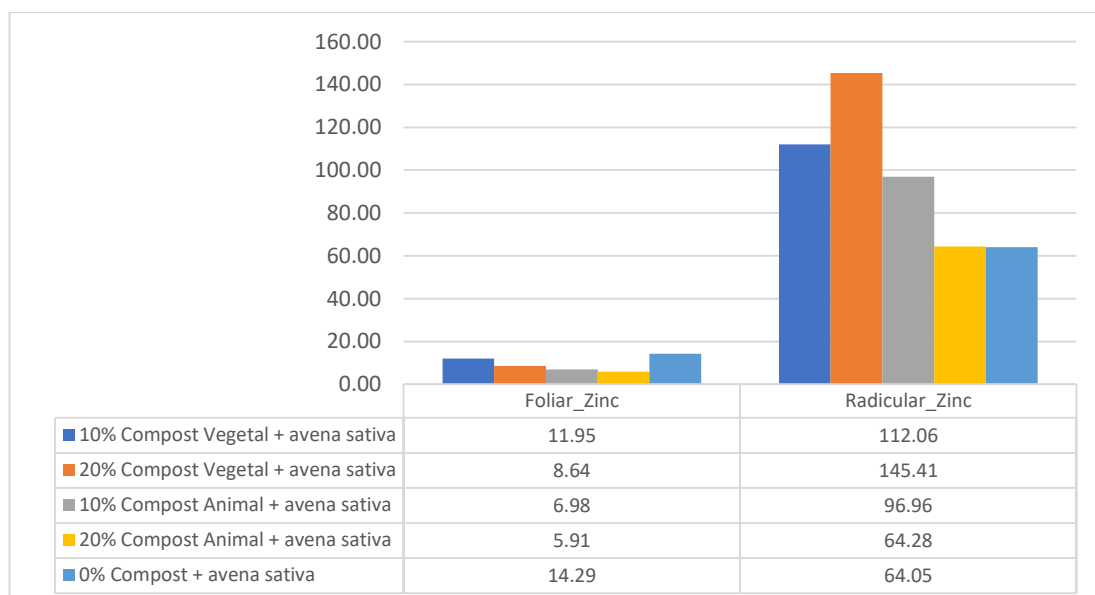
*Concentración de Zinc encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado*

	<b>Foliar Zinc</b>	<b>Radicular Zinc</b>
10% Compost Vegetal + avena sativa	11.95 ppm	112.06 ppm
20% Compost Vegetal + avena sativa	8.64 ppm	145.41 ppm
10% Compost Animal + avena sativa	6.98 ppm	96.96 ppm
20% Compost Animal + avena sativa	5.91 ppm	64.28 ppm
0% Compost + avena sativa	14.29 ppm	64.05 ppm

*Nota.* Los resultados incluyen un tratamiento solo con avena sativa.

**Ilustración 4**

*Concentración de Zinc encontrada en la avena sativa luego de la intervención realizada en el suelo contaminado*



*Nota.* En el tratamiento que solo incluye a la avena sativa, se obtuvo una mayor extracción de Zinc en la parte foliar de la planta (14.29 ppm). Por otro lado, en el tratamiento con 20% de compost vegetal más avena sativa, se ha obtenido una mayor extracción de Zinc (145.41 ppm).

**Tabla 12***Resultados de la evaluación del factor de bioacumulación y traslocación en la Avena Sativa L*

Metales	Tratamiento	Foliar	Radicular	FBC Raíz	FBC Foliar	FT
<b>Plomo (mg/kg)</b>	T1 (10 % CV)	9.57	51.80	5.18	0.96	0.18
	T2 (20 % CV)	6.99	102.42	5.12	0.35	0.07
	T3 (10% CA)	5.37	182.98	18.30	0.54	0.03
	T4 (20 % CA)	2.89	74.86	3.74	0.14	0.04
	T5 (0 % Control)	8.46	122.73	12.27	0.85	0.07
<b>Zinc (mg/kg)</b>	T1 (10 % CV)	11.95	112.06	5.60	0.60	0.11
	T2 (20 % CV)	8.64	145.41	14.54	0.86	0.06
	T3 (10% CA)	6.98	96.96	4.85	0.35	0.07
	T4 (20 % CA)	5.91	64.28	6.43	0.59	0.09
	T5 (0 % Control)	14.29	64.05	3.20	0.71	0.22

*Nota:* El factor de bioacumulación de plomo y zinc en la parte radicular de la *Avena Sativa L.* es mayor a 10 por lo que la planta es hiperacumuladora, a diferencia de la bioacumulación en la parte foliar que el valor es menor a 1 por lo que se determina que es acumuladora para la parte aérea de la *Avena Sativa L*; para el factor de traslocación los valores son menor a 1, significa que la mayor parte del contaminante se acumula en la raíz y no se transloca hacia la parte aérea.

**Tabla 13***Prueba de normalidad de los datos*

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>DIF Zinc</b>	,225	5	,200*	,881	5	,315
<b>DIF Plomo</b>	,294	5	,181	,915	5	,497

*Nota.* La prueba de normalidad nos indica que por haberse superado el nivel de significancia de 5% (0.05) en cada uno de los casos, para el Zinc, 0.315 y para el Plomo, 0.497. Los datos se aproximan a una distribución normal, por lo que es pertinente el uso de una prueba estadística paramétrica.

## 4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

**Ha:** La aplicación de enmiendas orgánicas favorece la fitorremediación con *Avena Sativa L.* en un suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco – 2024.

**Ho:** La aplicación de enmiendas orgánicas no favorece la fitorremediación con *Avena Sativa L.* en un suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco – 2024.

Nivel de significancia: 5%

Prueba estadística: t de Student para muestras relacionadas.

**Tabla 14**

*Prueba de hipótesis*

Suelo	Diferencias emparejadas			t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación estándar	Media de error estándar			
POS Zn	-94.77	24.01	10.74	-8.83	4.00	<b>0.00</b>
PRE Zn						
POS Pb	-116.01	54.34	24.30	-4.77	4.00	<b>0.01</b>
PRE Pb						

*Nota.* La prueba de hipótesis nos señala que efectivamente sí ha habido diferencias significativas en los resultados del post test respecto a los resultados del pre test, tanto en el Zinc (p-valor=0.00) como en el plomo (p-valor=0.01), por haberse obtenido un p-valor inferior al 5% convencional (nivel de significancia).

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS

##### 5.1.1. ENMIENDAS ORGÁNICAS Y LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y ZINC EN EL SUELO.

En la tabla 9 se puede evidenciar que con compost vegetal al 20% (cv=400 g) hay un nivel de absorción de plomo de 88.42%, con una concentración inicial de 210.70 ppm a una final 24.39 ppm. Por otro lado, en la tabla 10 en el tratamiento con compost vegetal al 10% (cv=200 g) hay un nivel de absorción de zinc 98.96%, con una concentración inicial de 120.50 ppm a una concentración final de 1.25 ppm. Los resultados obtenidos coinciden con los de Carvajal, F. y Landauro, J. (2023) quienes aplicando diferentes tratamientos de compost de la cáscara de naranja obtuvieron 88.53% de remoción de plomo, con una concentración inicial de 462 mg/kg y la muestra final del tratamiento de 53 mg/kg. Asimismo, en la misma investigación obtuvo 85.65% de remoción de zinc, con una concentración inicial de 3484 mg/kg y la muestra final del tratamiento es de 499.97 mg/kg, siendo este tratamiento más eficiente para la investigación.

Los datos obtenidos en nuestra investigación y comparada con el de Carvajal, F. y Landauro, J. (2023), no se obtuvieron los mismos valores por la ubicación del estudio, ya que influye el tipo de suelo y del lugar de donde se toman las muestras, nuestro estudio se realizó con muestras de suelos agrícolas a diferencias de la investigación mencionada que obtuvieron muestras de suelo de las riberas del río Rímac, solo utilizaron compost de cáscara de naranja para la remoción del plomo y zinc, no se presencia la intervención de ninguna planta, la distribución de la unidad experimental son tres repeticiones por los tres tratamientos donde varían los días, las dosis de compost y la cantidad de suelo, distinto a nuestro unidad experimental donde se usaron dos

tipos de enmiendas con la misma cantidad de dosis por los cuatro tratamientos y un grupo control.

### **5.1.2. CONCENTRACIÓN DE PLOMO Y ZINC EN LA AVENA SATIVA L.**

Los resultados obtenidos mediante la espectrofotometría de absorción atómica, como se muestra en la tabla 11 y 12, indica que la especie *Avena Sativa L.* logra absorber en la raíz la cantidad de 182.98 ppm plomo y 145.41 ppm de zinc, concordante con las investigaciones de De La Cruz, J. (2023) quien obtuvo con el tratamiento 2% de biochar 168.25 ppm de plomo en la raíz del llantén. Vizconde, J. (2024) empleando *Dactylis glomerata* y *Pennisetum* absorbieron en la raíz la cantidad de 146.3 ppm de zinc, siendo estos tratamientos con mayor similitud a lo obtenido con la *Avena sativa L.*

Se realizó la comparación de datos con las investigaciones de De La Cruz, J. (2021) y Vizconde, J. (2024), donde se obtuvieron valores similares en la absorción de plomo y zinc con diferencia mínima pese a que las investigaciones se realizaron en diferentes departamentos, con método de estudio diferente y en un periodo de tiempo mayor al de nuestro estudio, pero con cierta coincidencia en la obtención de las raíces y la parte foliar de las plantas para su análisis de la espectrofotometría de la absorción atómica.

### **5.1.3. FACTOR DE BIOACUMULACIÓN Y DE TRASLOCACIÓN DE PLOMO Y ZINC PARA AVENA SATIVA**

Los resultados de la concentración de plomo y zinc en la Avena Sativa L y en las muestras de los suelos fueron fundamental para el cálculo y el análisis de factor de bioacumulación y traslocación; así las concentraciones del plomo y zinc en las raíces de la Avena Sativa L registraron valores entre 3.20 a 18.30 ppm, mientras que la concentración de plomo y zinc en la parte radicular estuvo entre 0.14 a 0.96 ppm, observándose una mayor acumulación de plomo y zinc en las raíces de la *Avena Sativa L.* que en la parte foliar. Estos datos permiten

clasificar a la Avena Sativa L, por factor de bioacumulación (FBC) como una especie hiperacumuladora en la raíz y acumuladora en la parte foliar.

Por otro lado, los resultados de traslocación (FT) fueron entre 0.03 a 0.22 ppm, esto permitió clasificar a esta planta como alto potencial fitoestabilizador al presentar  $FT < 1$ . El análisis de la concentración de plomo y zinc en la Avena Sativa, se ha determinado poca movilidad de metal del suelo hacia la planta, reteniendo en la raíz y presentado una limitada traslocación a órganos aéreos.

El factor de bioacumulación y traslocación evaluado por Poma, A, y Quiñonez, C, (2021), es similar al que obtuvimos en nuestro estudio, pero con la intervención de plantas y el análisis de metal distinto, donde el Zea mays I absorbió el cadmio y la Avena sativa I el plomo y zinc ambos con mejores resultados en las raíces que en la parte foliar de las plantas, en ambas investigaciones se emplearon el compost vegetal y suelo agrícola, pero la ubicación, el método de investigación y el período de experimento son distintos al de nuestra investigación.

## CONCLUSIONES

Se concluye que al aplicar las enmiendas orgánicas tales como el compost vegetal y compost animal en los tratamientos aplicados al suelo contaminado contribuyen positivamente para una mejor absorción del metal pesado en los suelos agrícolas, pero los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento de 20% y 10% de compost vegetal cuyos valores obtenidos son de 24.39 ppm plomo y 1.25 ppm Zinc después de la intervención de la Avena sativa.

Se concluye que al usar la planta *Avena Sativa L* y la adición de enmiendas orgánicas (compost vegetal y animal) a los suelos agrícolas es una estrategia técnicamente factible y bajo costo para recuperación de suelos contaminados; la mejor concentración de plomo y zinc se obtuvo en la raíz que en la parte foliar de la Avena Sativa, los valores más altos que se obtuvieron en la extracción del plomo es de 182.98 ppm y 145.41 ppm zinc, pero con una diferencia que para el plomo se obtuvo con la eficiencia del compost animal que con el compost vegetal que fue para el zinc.

Se concluye que el factor de bioacumulación permiten clasificar a la Avena Sativa L, como una especie hiperacumuladora en la raíz y acumuladora en la parte foliar; el factor de traslocación clasifica a la Avena Sativa como una planta fitoestabilizadora por obtener valores menores que uno, por lo que ambos factores determina que la Avena Sativa es una especie que realiza mejor la bioacumulación que la traslocación.

## RECOMENDACIONES

- Se deberá realizar fitorremediación siempre que sea necesario para reducir la cantidad de contaminantes, tomando como referencia el LMP y ECA.
- En las técnicas de fitorremediación, si se desea utilizar una especie distinta a la *Avena sativa L.*, sería beneficioso utilizar otras especies que crecen en el entorno de la localidad de Huancamina, las cuales tengan un rápido crecimiento, una alta producción de biomasa y que sea resistente a los metales pesados que se desea evaluar.
- Evaluar la efectividad de la fitorremediación con *Avena sativa L.* y el uso de enmiendas orgánicas en diferentes tipos de suelos contaminados por metales pesados.
- Realizar pruebas in situ utilizando la planta fitorremediadora de la *Avena sativa L.* y el uso de enmiendas orgánicas (compost vegetal y compost animal), para evaluar la eficiencia en la reducción de la concentración de plomo y zinc en el suelo y la biodisponibilidad para la planta.
- Apoyar a la investigación de capacidad de acumulación de especies que sean de nuestra región, exigiendo especialmente a las entidades mineras generar conciencia y utilizar métodos naturales para el cuidado del medio ambiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara, J. (2019). Comportamiento del plukenetia volubilis l. y erythrina fusca lour. Bajo condiciones de fertilización y densidades para la readecuación agroecológica de suelos alterados en el distrito de Monzón, 2018. Huánuco: Universidad Nacional Hermilio Valdizan Huánuco, de <https://tinly.co/gkzDS>
- Álvares, M. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. Scientia Agropecuaria vol.11 no.1, de <https://acortar.link/rS2Mrr>
- Álvares, L. (2019). Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar. Universidad Politécnica de Madrid, España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=255485>
- Anuario Minero 2019, Ministerio de Energía y Minas, primera edición - Lima - mayo de 2020, de <https://tinly.co/hDVSO>
- Anaya, J. (2017). Cambio en el peso de grano afectado por la manipulación fuente - Demanda en variedades de avena (Avena sativa L.) para valles altos. Universidad Autónoma del estado de México, de <https://acortar.link/JxLgRO>
- Armendáriz, E. (2016). Áreas naturales protegidas y minería en México: perspectivas y recomendaciones. México: centro de investigaciones biológicas del noroeste, s.c. recuperado el 08 de julio de 2020, de <https://tinly.co/om5kv>
- Bejarano, J. (2018). Remoción de cobre, zinc y cadmio de suelos contaminados con relaves usando el método electroquímico, a nivel de laboratorio. (Dialnet, ed.) Dialnet, 69 - 89. Recuperado el 13 de julio de 2020, de <https://tinly.co/HGuLH>
- Callirgos, C. (2014). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie Chrysopogon Zizanioides mediante la incorporación de

enmiendas en relaves mineros.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12996/1907>

Carbajal, F. y Landauro, J. (2023). Compostaje de cáscara de naranja para la mejora de la calidad de suelos degradados por Pb y Zn, río Rímac 2023. Universidad César Vallejo. Recuperado de <https://n9.cl/dmjpb>

Cervera, A. (2022). Utilización de residuos de la industria cafetera como enmiendas orgánicas de suelos para la mejora de alimentos de origen vegetal. Universidad de Granada. España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=303382>

Corpus, M. (2018). Eficiencia de especies altoandinas como plantas fitorremediadoras de suelos contaminados con metales pesados provenientes de la planta concentradora de minerales santa rosa de Jangas, en condiciones de invernadero, 2015 - 2016. Noviembre: universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, de <https://tinly.co/Gbr6j>

Cooper, L. (2017). El valor de las sustancias húmicas en el ciclo de vida del carbón de los cultivos. Huma Gro. <https://n9.cl/lp7og>

Coronado, M. (1997). Efecto comparativo de tres enmiendas orgánicas; estiércol, compost y humus de lombriz en el cultivo de Cebada ( *Lolium vulgare* L.) variedad Yana muelo. Universidad Nacional Agraria La Molina, de <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2100>

De la cruz, J. (2023). Efecto del biochar en la fitorremediación de Pb por Llantén (*Plantago major* L.) en un suelo contaminado de Mito, Concepción 2021. Universidad Continental. Recuperado de <https://n9.cl/y1t9v>

Fernández, A. (2019). Identificación de especies vegetales nativas acumuladoras de cadmio en el caserío de Picuruyacu alto, distrito de castillo grande, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Universidad Nacional Agraria de la Selva, de <https://tinly.co/LrDcE>

- Flores, J. (2018). Propuesta de simulación de remoción parcial de cromo en suelos contaminados utilizando como fitorremediador el tagete sp marigold (Tesis de pre grado). Universidad Nacional De San Agustín, Arequipa. Recuperado de <https://bit.ly/2Yf54Wi>
- Gonzáles, K. (2013). Propiedades químicas de tés de vermicompost. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias Estado de México, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 5, 2013, pp. 901-911. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263128352004>
- Hinostroza, S. (2018). Fitoestabilización de cadmio por lupinus mutabilis en un suelo contaminado del distrito el Mantaro, Jauja 2016. Informe de pre grado, Universidad Continental, Huancayo, de <https://tinly.co/ijs3B>
- Huaroc, H., Olivar, Y., y Omonte, J. (2021). Efecto de enmiendas orgánicas e inorgánicas en el mejoramiento de suelos cultivados con maca (*Lepidium meyenii* Walp.). Carhuamayo. 2021. Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11534>
- Huerta, K. (2019). Evaluación de la biorremediación y fitorremediación para la absorción de Pb en suelos contaminados por relave minero. Informe de pregrado, Universidad Científica del sur-Lima, de <https://tinly.co/oZT1y>
- Huiza, K. (2019). Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante especies del género brassica. (Dialnet, ed.) Dialnet, 65 -89, <https://tinly.co/e9Wlf>
- Indigoyen, J. y Ninamango. K. (2023). Aplicación de enmiendas orgánicas y fitorremediación en suelos agrícolas contaminados por plomo en la margen izquierda de la cuenca media del río Mantaro. Universidad Continental. Recuperado de <https://n9.cl/aeof3>
- Jara, J. (2018). Desarrollo de una metodología de recuperación de suelos altamente contaminados con metales pesados utilizando remediación fisicoquímica y fitorremediación. (redalyc, ed.) Redalyc, 1 - 36, de <https://tinly.co/tuBd4>

- Larios, D. (2019). Efectos en los primeros estadios fenológicos de la brassica juncea cultivada en un suelo contaminado por plomo. (redalyc, ed.) redalyc, 1 - 45, de <http://repositorio.untels.edu.pe/handle/UNTELS/419>
- Llatas, L. (2018). Cualidades y composición química de silaje de avena forrajera (avena sativa) con urea y melaza. (redalyc, ed.) redalyc, 64 - 87. Recuperado el 13 de julio de 2020, de <https://tinly.co/dxsvm>
- Martinez, L. (2018). Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación. Informe de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa-Arequipa, de <https://n9.cl/8wpgm>
- Mora, G. (2019). Evaluación del relave minero y su tratamiento en la planta beneficio mvc- 2011 - ii. Sayán - Lima. 2017. Huacho: Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, de <https://tinly.co/uuQRW>
- Montero, M. (2022). Influencia del estiércol de ganado vacuno en las propiedades fisicoquímicas y metales pesados del compost doméstico, Distrito de Campo Verde, Provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali. Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa - Perú. <https://onx.la/23613>
- Murillo, S. (2020). La importancia de las enmiendas orgánicas en la conservación del suelo y la producción agrícola. Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales. Volumen 7 (1). Enero – junio. [p. 58-68]. <https://doi.org/10.23850/24220582.2503>
- Palmero, R. (2010). Elaboración de compost con restos vegetales por el sistema tradicional de pilas y montes. Servicio técnico de agricultura y desarrollo rural áreas de aguas y agricultura. <https://onx.la/1dec5>
- Papuico, K. (2018). Técnica de fitorremediación en la extracción de metales pesados con la planta yaluzai (senecio rudbeckiaefolius) en la relavera de quiulacocha del distrito de Simón Bolívar de Rancas (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Recuperado de <https://bit.ly/3aNYzyV>

- Poma, A., y Quiñones, C. (2021). Efecto de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con *Zea mays* L. en un suelo contaminado con cadmio. Leonor Ordoñez, Jauja - 2021. Universidad continental. Recuperado de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11108>
- Rebaza, D., y Valverde, K. (2019). Evaluación del potencial fitorremediador de la especie *Brassica juncea* (mostaza) en suelos contaminados con zinc y arsénico provenientes de relaves mineros - Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, de <https://tinly.co/39Vcw>
- Román, P. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile, de <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf>
- Roca, P. (2020). Fenología del girasol (*helianthus annuus*) cultivado en suelos contaminados con metales pesados de la ex minera Santa Rosa de Cata – Coaylo – Cañete. Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, de <https://acortar.link/6d9xOP>
- Rodríguez, T. (2020). Influencia de los microorganismos benéficos y biofertilizantes en la calidad de compost a partir de los residuos orgánicos del distrito de Marcará – 2020. Universidad Nacional Santiago Antúnez De Mayolo, de <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5494>
- Segura, W. (2019). Evaluación de la efectividad del biocarbón para mejorar la estrategia de fitoestabilización asistida de residuos mineros. (scielo, ed.) Scielo, 245 -269, de <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8166>
- Silva, C. (2018). Remoción de cadmio en suelos mediante lavado vertical con dos extractantes. (scielo, ed.) Scielo, 365 - 389, de <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1461>
- Soto, K. (2019). Eficiencia de la *caiophora cirsiifolia* c. presl en la fitorremediación y la acumulación de plomo en suelos contaminados por actividad minera. (scielo, ed.) Scielo, 1 -36, de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/2460>

- Supo, J. y Zacarías, H. (2020). Metodologías para la investigación científica. Seminario de investigación científica. 3ra edición. Editorial Bioestadística. Arequipa Perú.
- Tonato, E. (2019). Determinación de metales en cebolla de rama (*allium fistulosum* L.) cultivada en suelos agrícolas cercanos al volcán Tungurahua. (scielo, ed.) Scielo, 345 - 399, de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/30178>
- Vega, E. (2018). Capacidad de fitoacumulación de zinc (zn) y plomo (pb) utilizando las especies de chocho silvestre (*lupinus tomentosus*) y llantén (*plantago mayor*) del relave de la planta concentradora de minerales - Santa Rosa de Jangas; Huaraz – Ancash – 2017. (scielo, ed.) Scielo, 25 - 36, de <https://bit.ly/31XB0zq>
- Vilcapoma, D. (2019). Fitoextracción de cadmio y zinc en suelos contaminados utilizando lactuca sativa var. white boston, en la estación agropecuaria experimental el Mantaro - Junín 2019. (sciencedirect, ed.) sciencedirect, 254 - 269. Recuperado el 13 de julio de 2020, de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5460>
- Vizconde, J (2024). Eficiencia de la fitorremediación con *Dactylis glomerata* y *Pennisetum clandestinum* del relave de la Planta Concentradora de Minerales Santa Rosa de Jangas – Huaraz. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. De <https://n9.cl/5iygy>

### **COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Marcellini Falcon, J (2024). Eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con Avena sativa (*Avena sativa*; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco - 2024” [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

## **ANEXOS**

# ANEXO 1

## RESOLUCIÓN DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO Facultad de Ingeniería

#### RESOLUCIÓN N° 2734-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 20 de noviembre de 2023

Visto, el Oficio N° 964-2023-C-PAIA-FI-UDH, mediante el cual el Coordinador Académico de Ingeniería Ambiental, remite el dictamen de los jurados revisores, del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "EFICIENCIA DE ENMIENDAS ORGANICAS EN LA FITORREMEDIACIÓN CON AVENA SATIVA (*Avena sativa*; L) EN SUELO CONTAMINADO CON PLOMO Y ZINC, HUANCAMINA, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. **Josue MARCELLINI FALCON**.

#### **CONSIDERANDO:**

Que, mediante Resolución N° 006-2001-R-AU-UDH, de fecha 24 de julio de 2001, se crea la Facultad de Ingeniería, y;

Que, mediante Resolución de Consejo Directivo N° 076-2019-SUNEDU/CD, de fecha 05 de junio de 2019, otorga la Licencia a la Universidad de Huánuco para ofrecer el servicio educativo superior universitario, y;

Que, mediante Resolución N° 1673-2023-D-FI-UDH, de fecha 03 de agosto de 2023, perteneciente al Bach. **Josue MARCELLINI FALCON** se le designó como ASESOR(A) al Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas, docente adscrito al Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, y;

Que, según Oficio N° 964-2023-C-PAIA-FI-UDH, del Coordinador Académico quien informa que los JURADOS REVISORES del Trabajo de Investigación (Tesis) intitulado: "EFICIENCIA DE ENMIENDAS ORGANICAS EN LA FITORREMEDIACIÓN CON AVENA SATIVA (*Avena sativa*; L) EN SUELO CONTAMINADO CON PLOMO Y ZINC, HUANCAMINA, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. **Josue MARCELLINI FALCON**, integrado por los siguientes docentes: Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Presidente), Mg. Sarita Demiz Prado Valenzuela (Secretario) y Mg. Mildred Margarita Campos Gonzales (Vocal), quienes declaran APTO para ser ejecutado el Trabajo de Investigación (Tesis), y;

Estando a las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

#### **SE RESUELVE:**

**Artículo Primero.** - APROBAR, el Trabajo de Investigación (Tesis) y su ejecución intitulado: "EFICIENCIA DE ENMIENDAS ORGANICAS EN LA FITORREMEDIACIÓN CON AVENA SATIVA (*Avena sativa*; L) EN SUELO CONTAMINADO CON PLOMO Y ZINC, HUANCAMINA, HUÁNUCO - 2024", presentado por el (la) Bach. **Josue MARCELLINI FALCON** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental, del Programa Académico de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Huánuco.

**Artículo Segundo.** - El Trabajo de Investigación (Tesis) deberá ejecutarse hasta un plazo máximo de 1 año de su Aprobación. En caso de incumplimiento podrá solicitar por única vez la ampliación del mismo (6 meses).

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Mg. **Yonel Manuel Martínez Lozano**  
RECTOR R. O. C. E.



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
Mg. **Bartholomew Campos Rios**  
DECANO R. O. C. E.

#### Distribución:

Fac. de Ingeniería - PAIA - Asesor - Esp. Graduado - Intermedio - Archivo.  
DCH, YJML, tuc.

## ANEXO 2

### RESOLUCIÓN DE NOMBRAMIENTO DE ASESOR

#### UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO *Facultad de Ingeniería*

##### RESOLUCIÓN N° 1673-2023-D-FI-UDH

Huánuco, 03 de agosto de 2023

Visto, el Oficio N° 577-2023-C-PAIA-FI-UDH presentado por el Coordinador del Programa Académico de Ingeniería Ambiental y el Expediente N° 424801-0000005544, del Bach. **Josue MARCELLINI FALCON**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar el trabajo de investigación (Tesis).

##### **CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo a la Nueva Ley Universitaria 30220, Capítulo V, Art 45° inc. 45.2, es procedente su atención, y;

Que, según el Expediente N° 424801-0000005544, presentado por el (la) Bach. **Josue MARCELLINI FALCON**, quien solicita Asesor de Tesis, para desarrollar su trabajo de investigación (Tesis), el mismo que propone al Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas, como Asesor de Tesis, y;

Que, según lo dispuesto en el Capítulo II, Art. 27° y 28° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco vigente, es procedente atender lo solicitado, y;

Estando a Las atribuciones conferidas al Decano de la Facultad de Ingeniería y con cargo a dar cuenta en el próximo Consejo de Facultad.

##### **SE RESUELVE:**

**Artículo Primero.-** DESIGNAR, como Asesor de Tesis del Bach. **Josue MARCELLINI FALCON**, al Mg. Simeon Edmundo Calixto Vargas, docente del Programa Académico de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería.

**Artículo Segundo.** - El interesado tendrá un plazo máximo de 6 meses para solicitar revisión del Trabajo de Investigación (Tesis). En todo caso deberá de solicitar nuevamente el trámite con el costo económico vigente.

##### **REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE**



##### Distribución

Fac. de Ingeniería - PAIA - Asesor - Mat. - Reg. Acad. - Secretaría - Archivo  
BCE/EMI/ma

## ANEXO 3

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

EFICIENCIA DE ENMIENDAS ORGÁNICAS EN LA FITORREMEDIACIÓN CON AVENA SATIVA (*Avena sativa*, L) EN SUELO CONTAMINADO CON PLOMO Y ZINC, HUANCAMINA, HUÁNUCO – 2024.

Problema principal	Objetivo principal	Hipótesis Alternativa	Variable Independiente	Método
¿Cuál es la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa ( <i>Avena sativa</i> ; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco 2024?	Determinar la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa ( <i>Avena sativa</i> ; L) en suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco 2024.	Ha: Las enmiendas orgánicas son eficientes en la fitorremediación con Avena Sativa L. en un suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco – 2024.	Eficiencia de enmiendas Orgánicas	<p><b>Tipo de investigación</b> Prospectiva, analítica, con intervención y longitudinal.</p> <p><b>Enfoque</b>            Cuantitativo</p> <p><b>Alcance o Nivel</b> Descriptivo</p>
Problemas secundarios	Objetivos secundarios	Hipótesis Nula	Variable Dependiente	Población y muestra

<p>- ¿Cuál es la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en la concentración plomo y zinc en el suelo después de la aplicación de la avena sativa (<i>Avena sativa</i>; L)?</p>	<p>- Determinar la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en la concentración de plomo y zinc en el suelo después de la aplicación de la avena sativa (<i>Avena sativa</i>; L).</p>	<p>Ho: Las enmiendas orgánicas no son eficientes en la fitorremediación con Avena Sativa L. en un suelo contaminado con plomo y zinc, Huancamina, Huánuco – 2024.</p>	<p>Fitorremediación con avena sativa (<i>Avena Sativa L</i>) en suelo contaminado con plomo y zinc</p>	<p>El presente estudio considera como población de estudio a los suelos contaminados por plomo y zinc, en el cual se probará la eficiencia de enmiendas orgánicas en la fitorremediación con avena sativa, ubicada en el Distrito de Jacas Chico, Provincia de Yarowilca y Departamento de Huánuco. La</p>
<p>concentración plomo y zinc en avena sativa?</p>	<p>concentración de plomo y zinc en avena sativa.</p>			<p>muestra será elegida a conveniencia, esta comprende un área de 0.5 hectáreas de suelos agrícolas contaminados con plomo y zinc; el muestreo de suelo será al azar, obteniendo un promedio de 18 kg de muestra compuesta. El muestreo</p>
<p>- ¿Cuál es la eficiencia del compost vegetal y compost animal en el factor de bioacumulación y de translocación de plomo y zinc para avena sativa (<i>Avena sativa</i>; L)?</p>	<p>- Evaluar la eficiencia del compost vegetal y el compost animal en el factor de bioacumulación y de translocación de plomo y zinc para avena sativa.</p>			

## ANEXO 4

### UBICACIÓN DEL SUELO CONTAMINADO CON PLOMO Y ZINC





## ANEXO 6

### ANÁLISIS DEL SUELO DESPUÉS DE APLICAR LA ENMIENDA ORGÁNICA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

## ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE	MARCELLINI FALCÓN JOSUE
PROCEDENCIA	HUANUCO
RECIBO V/O FACTURA	51752
FECHA DE REPORTE	5/8/2024
OBSERVACION:	

#### RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS QUÍMICO	
			PLOMO	ZINC
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	TOTAL mg/kg	TOTAL mg/kg
1	S24-0915-1	MACETA T1	84.8125	1.2513
2	S24-0915-2	MACETA T2	24.3944	3.2625
3	S24-0915-3	MACETA T3	95.4500	24.1500
4	S24-0915-4	MACETA T4	91.8563	46.6625
1	S24-0915-5	MACETA T5	176.9380	53.3080

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María

  
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI  
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

## ANEXO 7

### ANÁLISIS DE FOLIAR Y RADICULAR EN LA AVENA SATIVA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio

de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



## ANÁLISIS ESPECIAL



SOLICITANTE	MARCELLINI FALCON JOSUE	FECHA DE RECEPCIÓN:	26/7/2024
PROCEDENCIA	HUANUCO	RECIBO N°	51752
MUESTREADO POR	EL SOLICITANTE	OBSERVACION:	

**RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO**

DATOS DE LA MUESTRA			RESULTADOS	
Código	TIPO DE MUESTRA	REFERENCIA DEL SOLICITANTE	ZINC TOTAL (mg/Kg)	PLOMO TOTAL (ppm)
E24-0108-1	FOLIAR T1	2KG SUELO + 10% COMPOST VEGETAL + 0% COMPOST ANIMAL	11.9520	9.5710
E24-0108-2	RAIZ T1	2KG SUELO + 10% COMPOST VEGETAL + 0% COMPOST ANIMAL	112.0625	51.8000
E24-0108-3	FOLIAR T2	2KG SUELO + 20% COMPOST VEGETAL + 0% COMPOST ANIMAL	8.6426	6.9916
E24-0108-4	RAIZ T2	2KG SUELO + 20% COMPOST VEGETAL + 0% COMPOST ANIMAL	145.4068	102.4237
E24-0108-5	FOLIAR T3	2KG SUELO + 0% COMPOST VEGETAL + 10% COMPOST ANIMAL	6.9813	5.3667
E24-0108-6	RAIZ T3	2KG SUELO + 0% COMPOST VEGETAL + 10% COMPOST ANIMAL	96.9565	182.9783
E24-0108-7	FOLIAR T4	2KG SUELO + 0% COMPOST VEGETAL + 20% COMPOST ANIMAL	5.9106	2.8935
E24-0108-8	RAIZ T4	2KG SUELO + 0% COMPOST VEGETAL + 20% COMPOST ANIMAL	64.2841	74.8636
E24-0108-9	FOLIAR T5	2KG SUELO + 0% COMPOST VEGETAL + 0% COMPOST ANIMAL	14.2867	8.4643
E24-0108-10	RAIZ T5	2KG SUELO + 0% COMPOST VEGETAL + 0% COMPOST ANIMAL	64.0469	122.7344

METODO: DIGESTION ACIDA / ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCION ATOMICA

Los Resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LASAE.

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

LUGAR Y FECHA DE REPORTE: TINGO MARIA 05 DE AGOSTO 2024



Carretera Central Km 1.21 - Tingo María



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

DR. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI

Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología | hys@unahs.edu.pe

CELULAR 944407951

**ANEXO 8**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



Localidad de Huancamina – Distrito de Jacas Chico



Muestreo del suelo de Huancamina –Distrito de jacas chico



Mezclado de suelo con las enmiendas orgánicas de acuerdo a las dosis (10%=200 g y 20%=400g)



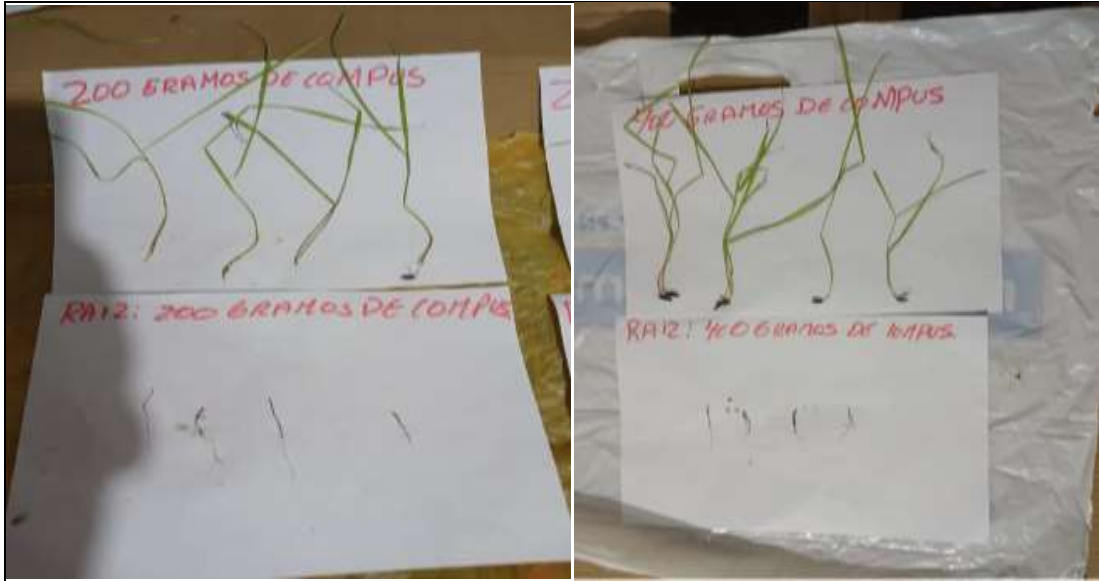
Siembra de la avena sativa L en los maceteros (35 semillas por maceta)



Cultivo de la avena sativa a los 15 días



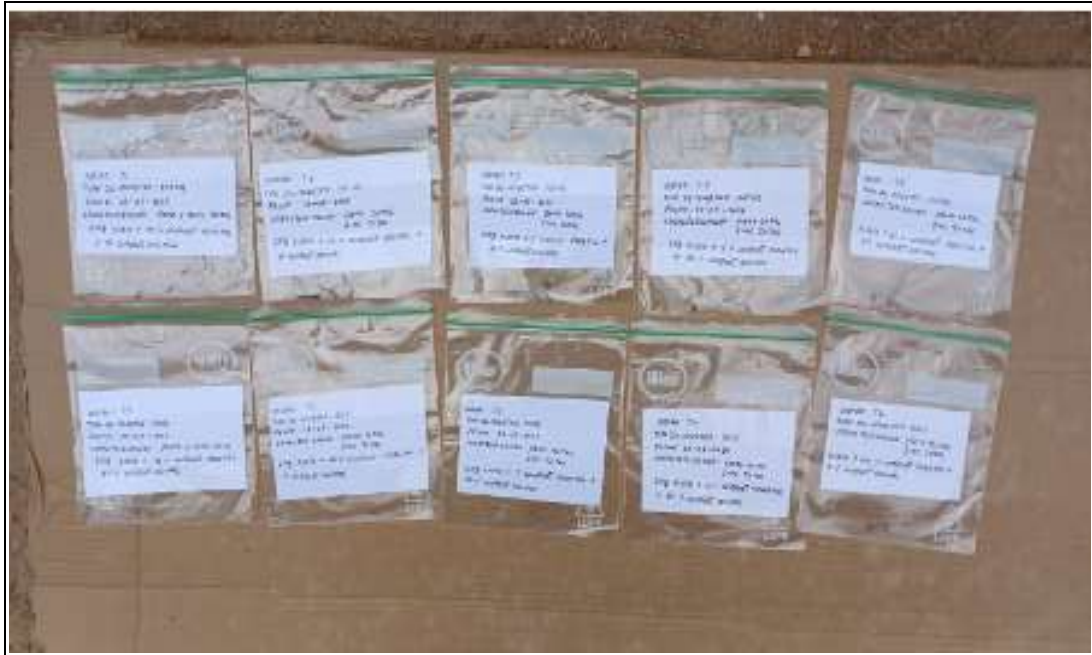
Cultivo de avena sativa a los 40 días



Muestreo de la parte foliar y radicular del tratamiento 1 y 2. (Compost vegetal)



Muestreo de la parte foliar y radicular del tratamiento 3 y 4.  
(Compost animal)



Muestras de la parte foliar y radicular de cada tratamiento experimental, para su análisis de plomo y zinc



Muestras de suelo de cada tratamiento experimental, para su análisis de plomo y zinc en el laboratorio.