

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas

Tesis

**El vermicompost, una alternativa en la  
recuperación de suelos contaminados con  
metales pesados en la Mina Yauricocha 2023**

Kenyo Luis Canchan Yapias  
Jessica Fiorella Cordova Arias  
Elmer Hector Rojas Basteres

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero de Minas

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



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

# EL VERMICOMPOST, UNA ALTERNATIVA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS EN LA MINA YAURICOCHA 2023

## INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

2%

2

es.scribd.com

Fuente de Internet

2%

3

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

2%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Activo

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos cada día la oportunidad de permanecer con vida para lograr las metas trazadas, a nuestros familiares por brindarnos su apoyo incondicional y a la Universidad Continental por la sólida formación académica como profesionales competitivos.

Los autores

## **DEDICATORIA**

A nuestros padres por el soporte que nos brindaron en todo momento, a los ingenieros que nos infundieron conocimientos para el logro de esta tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	viii
INTRODUCCIÓN .....	x
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	11
1.1. Delimitación de la investigación .....	11
1.1.1. Territorial .....	11
1.1.2. Temporal .....	12
1.1.3. Conceptual .....	12
1.2. Planteamiento del problema .....	12
1.3. Formulación del problema .....	14
1.3.1. Problema general .....	14
1.3.2. Problemas específicos.....	14
1.4. Objetivos.....	14
1.4.1. Objetivo general .....	14
1.4.2. Objetivos específicos.....	14
1.5. Justificación de la investigación .....	15
1.5.1. Justificación práctica.....	15
1.5.2. Justificación metodológica .....	15
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	16
2.1. Antecedentes de investigación .....	16
2.2. Bases teóricas .....	18
2.3. Definición de términos básicos .....	23
CAPÍTULO III HIPÓTESIS Y VARIABLES .....	28
3.1. Hipótesis.....	28
3.1.1. Hipótesis general.....	28
3.1.2. Hipótesis específicas .....	28

3.2. Identificación de las variables .....	28
3.3. Operacionalización de las variables .....	30
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA .....	31
4.1. Enfoque de investigación .....	31
4.2. Tipo de investigación .....	31
4.3. Nivel de investigación .....	31
4.4. Diseño de investigación .....	32
4.5. Métodos de investigación .....	32
4.6. Población y muestra .....	32
4.7. Técnica e instrumento de la recolección de datos.....	33
4.8. Descripción de análisis de datos.....	33
CAPÍTULO V RESULTADOS.....	34
5.1. Presentación de resultados .....	34
5.2. Contrastación de hipótesis.....	37
5.3. Discusión de resultados.....	38
CONCLUSIONES .....	39
RECOMENDACIONES .....	40
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41
ANEXOS.....	48

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes de la mina Yauricocha .....	11
Tabla 2. Investigaciones sobre la rempoción de metales pesados .....	36
Tabla 3. Investigaciones sobre la eficiencia de las biopilas .....	38



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cifras de la minería en Perú.....	12
Figura 2. Procesos de obtención de zinc.....	20
Figura 3. Clasificación taxonómica de la lombriz.....	22
Figura 4. Matriz de operacionalización de las variables .....	30
Figura 5. Diseño de investigación explicativa .....	32
Figura 6. Eficiencia de biopilas.....	35

## RESUMEN

Esta investigación se realizó en los suelos contaminados de la mina Yauricocha. El objetivo de este estudio fue describir al vermicompost como una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, para ello se realizó la búsqueda exhaustiva de estudios que comprobaron la eficiencia del vermicompost en la remediación de suelos contaminados con metales pesados como el cobre, plomo y zinc. Se recopilaron informaciones mediante las palabras claves como el vermicompost, metales pesados y biopilas, luego se eligieron los que contenían información relevante. En primera instancia sobre los metales pesados y luego las biopilas. Después, se ordenaron estas informaciones en tablas para poder analizarlos de forma sencilla. Los resultados, al igual que distintas investigaciones, comprueban que el vermicompost remueve los metales como el plomo en un 93 %, el cobre en un 86,7 % y el zinc en un 88 %, por otro lado, la eficiencia de las biopilas como técnica de biorremediación son hasta un 95 %. En conclusión, el vermicompost es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales como el plomo, cobre y zinc en la mina Yauricocha, y las biopilas resultan muy eficientes por ser una técnica fácil de aplicar.

**Palabras claves:** suelos contaminados, metales pesados, vermicompost, biopilas.

## ABSTRACT

This investigation was carried out in the contaminated soils of the Yauricocha mine. The objective of this study was to describe vermicompost as an alternative in the recovery of soils contaminated with heavy metals, for which an exhaustive search for studies that verified the efficiency of vermicompost in the remediation of soils contaminated with heavy metals such as copper, lead and zinc. Information was collected through keywords such as vermicompost, heavy metals and biopiles, then those containing relevant information were chosen, firstly on heavy metals and then biopiles. Later, this information was arranged in tables to be able to analyze it in a simple way. As a result, it was obtained that different investigations prove that vermicompost removes metals such as lead by 93%, copper by 86.7% and zinc by 88%, on the other hand the efficiency of biopiles as a bioremediation technique. They are up to 95%. In conclusion, vermicompost is an alternative in the recovery of soils contaminated with metals such as lead, copper and zinc in the Yauricocha mine, and biopiles are very efficient because they are an easy technique to apply.

**Keywords:** contaminated soils, heavy metals, vermicompost, biopiles.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el Perú, la contaminación de suelos por metales pesados se está extendiendo producto del sector minero que va aumentando al pasar de los años. Por ejemplo, en Arequipa, cerca de una mina de oro se mostró exposición a elementos peligrosos como el plomo y el cadmio, también hubo exposición de mercurio en Madre de Dios (1).

Para poder recuperar suelos contaminados, han surgido diferentes técnicas de biorremediación de suelos contaminados, entre ellas se encuentra el vermicompost, esta es una técnica muy factible y amigable con el medio ambiente, por lo cual es considerada viable. Este tipo de remediación, mejora y corrige las condiciones del suelo, utilizando microorganismos capaces de convertir sustancias complejas a simples (2).

Por tal motivo, se presenta este trabajo de investigación de nivel descriptivo, en donde se realiza el análisis de diversas informaciones y sustentan que el vermicompost mediante biopilas es una alternativa para poder recuperar suelos contaminados con metales pesados.

La presente tesis tiene como título: «*El vermicompost, una alternativa en la recuperación de metales pesados de la mina Yauricocha 2023*», busca sustentar mediante la revisión y análisis de información secundaria, que comprueba mediante experimentos en campo, la eficacia del vermicompost en la recuperación de suelos contaminados con cobre, plomo, zinc y otros elementos, ya que actualmente los suelos están contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha.

El objetivo de este trabajo de investigación es describir al vermicompost como una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Delimitación de la investigación

#### 1.1.1. Territorial

La tesis se realizó en el distrito de Laraos y Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima, lugar donde se encuentra la mina Yauricocha, que comprende 26 concesiones, con un total de una superficie de 17435.4125 Ha. Explora yacimientos polimetálicos como cobre, plomo, zinc y plata por el sistema de minado subterráneo. Sus componentes son:

**Tabla 1. Componentes de la mina Yauricocha**

N°	Descripción	Coordenadas UTM	
		Norte	Este
1	Depósito de desmonte Chumpe	8 641 690	423 413
2	Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas de los campamentos: La Esperanza y Chumpe	8 638 851	422 992
3	Bocaminas del túnel Victoria	8 638 505	422 789
4	Minas Éxito	8 634 003	424 071
5	Relleno sanitario	8 639 646	422 400
6	Depósito temporal de residuos peligrosos (aceites usados)	8 638 769	421 420
7	Tajos Amoeba y Maritza	8 638 023	421 939
8	Depósito de relaves	8 639 186	423 673
9	Planta concentradora	8 641 289	424 379
10	Planta de tratamiento de aguas de mina	8 641 040	424 372
11	Laboratorio químico	8 641 261	424 375

### 1.1.2. Temporal

La tesis se ejecutó en el año 2022.

### 1.1.3. Conceptual

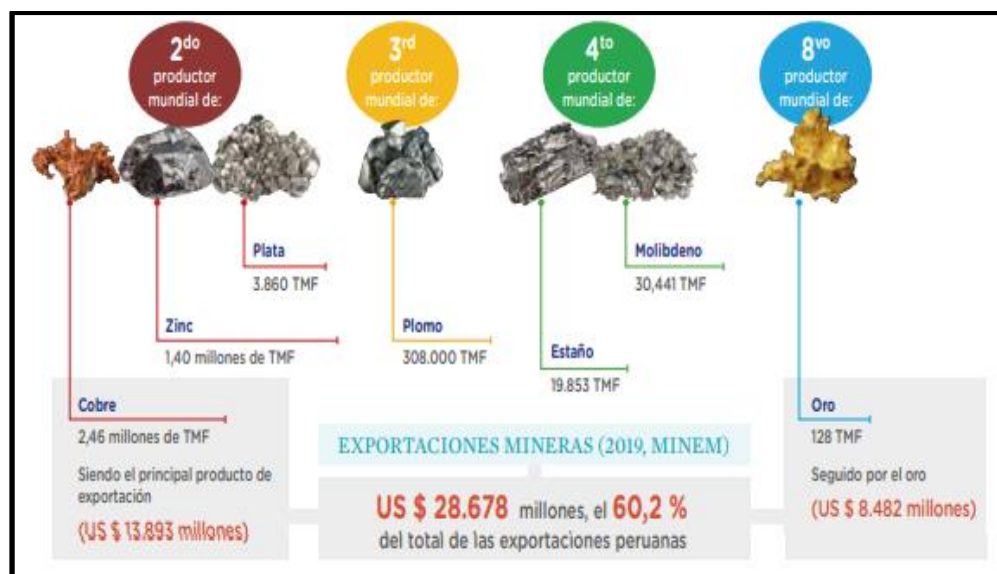
La tesis estudió las siguientes variables:

- ✓ Vermicompost
- ✓ Suelos contaminados con metales pesados.

## 1.2. Planteamiento del problema

A nivel mundial, la explotación minera está teniendo un auge jamás antes visto y los mercados globales de metales y materias primas de minerales se están incrementando exponencialmente. La producción de minerales en países como China, Rusia, Estados Unidos, Turquía, Perú, Chile entre otros, representan más del 70 % de la producción mundial (3).

Perú es considerado como uno de los 10 países más ricos en minerales a nivel mundial. Es así que, en el 2019, ha sido considerado como el mayor productor mundial de oro, estaño y plomo. Por otro lado, fue considerado como segundo productor mayor de plata, cobre y zinc en América Latina (4).



**Figura 1. Cifras de la minería en Perú**  
Tomada de Principales minerales explotados, producción anual y ranking mundial (5)

Los relaves mineros son originados de las celdas de flotación y estos son conducidos de acuerdo sea el caso: a la planta de recuperación de agua o a los espacios acondicionados especialmente para este fin.

En la actualidad los relaves mineros y su impacto sobre el medio ambiente es inevitable, principalmente en la contaminación del agua, suelo y aire. La presencia de minerales, elementos y metaloides originan alteraciones negativas en los modos de vida de los seres vivos. El mal manejo de los relaves mineros proviene de la forma en cómo se gestiona (confinamiento, recolección, transporte y tratamiento) y en la elevada toxicidad de sus componentes los cuales aumentan su peligrosidad y su potencial de causar impactos ambientales (6).

La contaminación en el Perú es causada mayormente por las actividades mineras y metalúrgicas, siendo frecuentes los elementos As, Fe, Cu, Zn, Cd, Co, Ni, Pb, Hg, Ti, Se, Te y Sb; los residuos generados en dichas actividades no se disponen adecuadamente en el área correspondiente, provocando así la contaminación de suelo, aire y agua. Por ejemplo, en La Oroya existen suelos contaminados producto de relaves mineros, que pueden emitir cantidades considerables de dióxido de azufre, ya que desde el año 1922 el complejo metalúrgico de La Oroya inicia sus actividades con la empresa Cerro de Pasco Corporation, la toxicidad del plomo ha aumentado el nivel de exposición siendo una amenaza para la salud y el medio ambiente (7).

En la mina Yauricocha, la contaminación de suelos por presencia de relaves mineros se debe principalmente a la actividad extractiva, estos desechos son producto de la metalurgia que se realiza en la minería para la depuración de los elementos de interés.

La acumulación de metales pesados en los suelos se puede reducir por medio de tecnologías de biorremediación. En esta investigación se aplicará vermicompost (lombrices) debido a su alto contenido de materia orgánica (MO) y nutrientes, lo cual reducirá las concentraciones de metales pesados como el plomo, zinc y cobre

presentes en el suelo contaminado, mediante el tratamiento de biopilas, donde las concentraciones de metales pesados son biodegradados, que serán analizados por un laboratorio antes y después del tratamiento para obtención de resultados y así verificar la diferencia de sus concentraciones.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema general**

¿El vermicompost es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en la mina Yauricocha - 2023?

#### **1.3.2. Problemas específicos**

- ✓ ¿Cuál es la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) después de la utilización del vermicompost en suelos contaminados en la mina Yauricocha 2023?
  
- ✓ ¿Cuál es la eficiencia de biopilas para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Pb, Cu y Zn) en la mina Yauricocha 2023?

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Explicar el vermicompost como una alternativa para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en la mina Yauricocha - 2023.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- ✓ Inferir la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) después de la utilización del vermicompost en suelos contaminados en la mina Yauricocha 2023.
  
- ✓ Revisar la eficiencia de biopilas para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Pb, Cu y Zn) en la mina Yauricocha 2023.



## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1. Justificación práctica**

La presente investigación tuvo como propósito recuperar suelos contaminados con metales pesados, por ello se aplicó el vermicompost y se redujo la concentración de metales pesados previo análisis de dichas concentraciones, antes y después del tratamiento.

### **1.5.2. Justificación metodológica**

Esta tesis permite conocer a profundidad el grado de contaminación en los suelos que generan los metales pesados en el Perú. En el presente estudio se aplicaron metodologías propias para la toma de información que consistió en la elaboración del compost y la construcción de biopilas con el fin de reducir las concentraciones de metales pesados. Esta metodología podrá servir de base para futuras investigaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de investigación**

- Tesis titulada: «*Análisis de los métodos más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros producto de la actividad minera*». El objetivo de la investigación fue analizar la recuperación de suelos, analizar la actividad minera, analizar la contaminación. Se tuvo como conclusión que el suelo con relave está contaminado con acidez y contiene concentraciones de metales pesados (8).
  
- Artículo científico titulado: «*Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú*». El objetivo de la investigación fue reducir suelos contaminados con relave en la planta concentradora Santa Rosa de Jangas. La conclusión indica la existencia de drenaje ácido. Lo genera el relave, el mismo que debe de ser tratado y evacuado, aparte que contamina afecta al río Santa (9).
  
- Tesis titulada: «*Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (Kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en las minas de la región Central del Perú*». El objetivo de la investigación fue establecer influencia del relave minero contaminado con plantación de gramíneas (Kikuyo), en las minas de la región central del Perú. En la conclusión se demuestra la presencia de relave minero contaminado y requiere de tratamiento considerando experiencias

de otros países que emplean alta tecnología basada en la experiencia de plantación de Kikuyo (10).

- Tesis titulada: «*Influencia de la Putacca y Tatora para la fitoestabilización en los depósitos de relaves mineros en la Compañía minera Tambo del Cóndor S.R.L - Ayacucho - 2017*». El objetivo fue establecer la incidencia de la putacca y totora para la fitoestabilización en los depósitos de relaves mineros. En la conclusión se indica la presencia de incidencia significativa de la planta putacca en la concentración de plomo. Putacca y totora resultan favorables para absolver altas concentraciones de plomo (11).
- Tesis titulada: «*Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales mineros de Huamantanga - Canta*». El objetivo de la investigación fue evaluar el tratamiento eficiente de compostaje y vermicompostaje por la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales. La indicación indica que el vermicompostaje es altamente eficiente y favorece el tratamiento con compostaje para la disminución de plomo y cadmio en suelos contaminados con metales pesados (12).
- Tesis titulada: «*Aplicación de Vermicompost para la remediación de suelos contaminados por metales pesados: Revisión Sistemática*». El objetivo de la investigación fue revisar de manera sistemática la aplicación de vermicompost para la mejora de los suelos contaminados por metales pesado. Conclusión: Los residuos de las plantas y el estiércol del ganado vacuno, generan nutrientes que favorecen las propiedades del vermicompost (13).
- Tesis titulada: «*Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante girasol y vermicompost*». El objetivo de la investigación fue desarrollar una evaluación para medir efecto del girasol (*Helianthus annuus*) y el vermicompost en la remediación de suelos agrícolas contaminados artificialmente con Pb. La

conclusión indica que el vermicompost como tratamiento reduce presencia de plomo, así como recuperación de Pb significativamente (14).

## 2.2. Bases teóricas

- **Relaves mineros:** es el material descartado de las celdas de flotación, esto se conduce a la planta de recuperación o a lugares en donde son almacenados. Si la planta de recuperación no es abastecida de agua, suele hacerse una recuperación de agua (15).
- **Metales pesados:** son componentes naturales de la corteza terrestre. Pueden actuar como productos tóxicos para los seres humanos y para los ecosistemas de acuerdo con la dosis absorbida, las vías de exposición y la naturaleza química del metal. Las fuentes de origen son de la corteza terrestre y de origen antropogénico, en las actividades de las industrias y en las mineras, debido a que los metales pesados son acumulativos y permanentes pueden encontrarse en el suelo, aire, agua, flora y fauna y hasta en el organismo humano (16).
- **Plomo (Pb):** los minerales del plomo son: anglesita, cerusita y galena. El plomo es extraído y sometido a flotación para separar la mena del plomo. Después el concentrado es llevado a fundición para realizar la operación de tostado. Luego en el horno de fundición se mezcla los trozos aglomerados con coque. El plomo es moldeado formando ánodos de plomo impuro para pasar a la etapa de refinación en donde se separa electrolíticamente del zinc, cobre, arsénico y otros elementos.

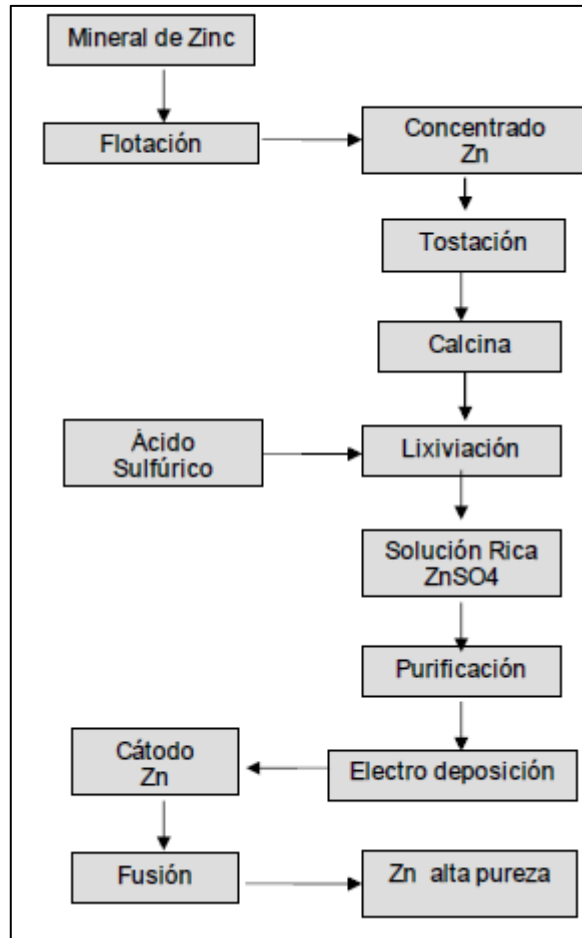
El plomo es utilizado en la fabricación de las baterías, también se adiciona a las gasolinas de alto octanaje como plomo tetraetilico (17).

- **Cobre (Cu):** es un metal que fue empleado por el hombre desde la antigüedad ya que este se encontraba en su estado nativo. En la actualidad el cobre se obtiene a partir de dos formas de minerales. Estos son:

- Obtención de cobre a partir de sus óxidos: el proceso de obtención del cobre empieza con la lixiviación en donde se rocía al mineral con ácido sulfúrico. logrando obtener el sulfato de cobre e impurezas. El siguiente proceso es la purificación, el mineral es sometido a solventes orgánicos. Finalmente, el electrolito cargado se descompone por acción de la corriente eléctrica, obteniéndose un cobre de alta pureza.
- Obtención del cobre a partir de sulfuros: existen etapas como el chancado, molienda y flotación en donde se obtiene un concentrado de cobre, luego se someten a procesos de tostación, fundición y refinación.

El cobre es utilizado en tuberías, en la industria de las comunicaciones y manufacturera, etc. (18).

- **Zinc (Zn):** la mayor parte de este se encuentra en la naturaleza en forma de sulfuros, también en minerales denominado blenda o esfalerita. El proceso de obtención es el siguiente:



*Figura 2. Procesos de obtención de zinc  
Tomada de Manual de minería*

Este metal es usado para cubrir el acero mediante el proceso de galvanización. El óxido de zinc es empleado en cemento dental, vidrio, pinturas, esmalte, etc. (19).

- **Contaminación del suelo en la minería:** es la alteración de la calidad del suelo producto de las actividades mineras. Por ejemplo, en el proceso de extracción, aumenta la cantidad de los microelementos en el suelo y se convierten en macroelementos, estos afectan de manera negativa la calidad del suelo y la biota, los cuales inhiben la descomposición de la materia orgánica y afectan el crecimiento de las plantas. Después de una explotación minera los suelos contienen todo tipo de residuos y las características más afectadas son:
  - ✓ Clase textural desequilibrada.
  - ✓ Baja presencia o ausencia de la estructura edáfica.
  - ✓ Propiedades químicas anómalas.

- ✓ Disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales.
- ✓ Ruptura de los ciclos biogeoquímicos.
- ✓ Baja profundidad efectiva.
- ✓ Dificultad de enraizamiento.
- ✓ Baja capacidad de cambio.
- ✓ Baja retención de agua.
- ✓ Presencia de compuestos tóxicos (20).

- **Contaminación del suelo por metales pesados:** es la excesiva concentración de los metales en el suelo, los cuáles causan la alteración de la calidad del suelo. Las plantas en el suelo contaminado pueden absorber los metales pesados impactando la seguridad de la producción de cultivos, la salud y el medio ambiente (21).

- **Biorremediación de suelos contaminados:** es una técnica de tratamiento en donde se utiliza la microbiota exógena o autóctona. Estos se encargan de biodegradar los compuestos tóxicos. Existen factores internos y externos que influyen en esta tecnología:

- ✓ Factores internos: el genotipo de los microorganismos se destaca en este factor.
- ✓ Factores externos: temperatura, aireación, tipo y concentración de contaminantes, fuentes y concentraciones de los macronutrientes.

Esta tecnología es económica y eficiente en comparación con otras alternativas físicas y fisicoquímicas convencionales de tratamiento de suelos (22).

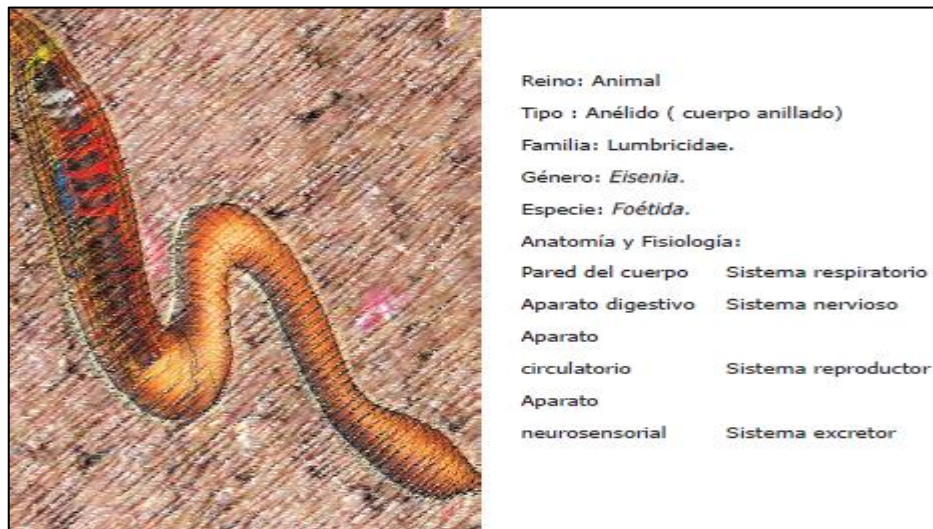
- **Vermicompost:** es el producto que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica realizada por ciertas especies de lombrices. Estas lombrices junto con la acción de microorganismos transforman la materia orgánica en vermicompost, también es llamado humus de lombriz.

La presencia del humus en el suelo:

- ✓ Reserva sustancias nutritivas para las plantas

- ✓ Absorbe y retiene agua en el suelo.
- ✓ Limita los cambios bruscos de temperatura y humedad.
- ✓ Bloquea muchos compuestos tóxicos.
- ✓ Provee alimentos a incontables y minúsculos animales, los cuáles son base de la cadena alimenticia (23).

- **Eisenia foetida:** es una especie de lombriz de tierra.



**Figura 3. Clasificación taxonómica de la lombriz  
Tomada de Guía de lombricultura**

- **Factores para tener en cuenta en la plantación de Eisenia foetida:**
  - ✓ Ubicación de los canteros: se deben ubicar en lugares sombreados; por ejemplo, en enramadas, bajo árboles, en campo abierto colocado con capas altas de zacate. La superficie no debe ser mayor a 20 % de pendiente, debe tener zanjas de drenaje. Los canteros deben orientarse en la misma dirección de los vientos.
  - ✓ Iluminación: es recomendable colocar a las lombrices en lugares en donde haya sombra o lugares cubiertos, debido a que estos son sensibles a los rayos ultravioletas que le provocan la muerte.



- ✓ Humedad: es uno de los elementos que mayor influye en la reproducción y fecundidad de la lombriz. La humedad de los canteros debe mantenerse entre 75 % y 80 %.
- ✓ Temperatura: entre 15 °C y 24°C, lo ideal es 19 °C ya que es la temperatura corporal de la lombriz.
- ✓ pH: para una buena plantación el pH debe estar entre 6.5 y 7.5, y los valores óptimos van de 6.8 a 7.2 (24).

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Aire:** es una mezcla de gases compuesta principalmente por nitrógeno (78 %) y oxígeno (21 %), junto con pequeñas cantidades de vapor de agua, dióxido de carbono, y otros gases. El aire es esencial para la vida en la Tierra, ya que proporciona oxígeno para la respiración y absorbe dióxido de carbono para la fotosíntesis. También contribuye a la circulación del agua y contiene polvo y partículas que contribuyen a la nube y el clima. El aire se mueve constantemente debido a los cambios en la presión atmosférica (25).
- **Aireación:** es un factor importante en el proceso de compostaje, se refiere al proceso de airear periódicamente el material orgánico en descomposición para promover la descomposición más rápida. Esto se hace mezclando el material orgánico con aire para aumentar el oxígeno disponible para los microorganismos que descomponen los materiales. Esto es importante para asegurar que los microorganismos tengan suficiente oxígeno para descomponer los materiales orgánicos de manera eficiente. Esto también aumenta el calor interno del material en descomposición, lo que acelera la descomposición (26).
- **Biopilas:** son un sistema biológico de tratamiento de residuos orgánicos que utiliza microorganismos para descomponer la materia orgánica. Para ello, los suelos contaminados con estos compuestos orgánicos son apilados en montones o pilas sucesivas y se estimula la actividad microbiana aerobia

mediante aireación y adición de nutrientes, minerales y agua, obteniendo la degradación a través de la respiración microbiana. Las biopilas también se utilizan para tratar los residuos orgánicos, reduciendo los efectos negativos que pueden tener en el medio ambiente (27).

- **Compostaje:** el compostaje es un proceso mediante el cual se transforman los desechos orgánicos en un fertilizante natural. Esta técnica se realiza mediante la descomposición de los desechos orgánicos a través de un proceso biológico. Esto se hace a través de la acción de los microorganismos que se encuentran en el suelo y los desechos orgánicos. La materia orgánica se descompone y se transforma en un fertilizante conocido como abono o compost. Esta técnica es muy útil para aumentar la fertilidad del suelo, mejorar la estructura del suelo, reducir la cantidad de desechos orgánicos y ayudar a conservar el medio ambiente (28).
- **Contaminación:** es la presencia en el medio ambiente de una sustancia (generalmente una sustancia química) o de energía (ruido, luz, radiación) en cantidades mayores a las que naturalmente se encuentran en el mismo. Esta presencia anormal puede ser perjudicial para la salud humana, la fauna y la flora, y en general para la calidad de vida de los seres vivos. Estos desequilibrios pueden ocasionarse por actividades humanas como la emisión de gases tóxicos, la tala indiscriminada de árboles, la producción de basura y la extracción de recursos naturales (29).
- **Contaminante:** son sustancias o energía presentes en el medio ambiente que, por su composición, cantidad o concentración, pueden ser perjudiciales para la salud humana o el entorno. Estos pueden ser productos químicos, como el dióxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, metales pesados, pesticidas, residuos industriales, productos de combustión, productos radiactivos, entre otros. La contaminación puede tener diferentes efectos sobre el medio ambiente, como el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, la acidificación de los océanos y los efectos en la salud humana. La contaminación puede ser prevenida mediante la adopción de buenas prácticas

de producción, la inversión en tecnologías limpias y la regulación de los contaminantes (30).

- **Humedad:** es la cantidad de vapor de agua presente en el aire. Se mide el porcentaje de contenido de agua relativo al aire. Una humedad relativa alta significa que el aire contiene mucha humedad, mientras que una humedad relativa baja significa que el aire contiene poca humedad. La humedad influye en la temperatura y el comportamiento de los materiales, y también es importante para el bienestar general. El nivel óptimo de humedad para la salud y el bienestar depende de la temperatura y la ubicación. La humedad óptima se puede situar alrededor del 55 % aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje (31).
- **pH:** es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución. En el proceso de descomposición de los materiales orgánicos, el pH puede variar dependiendo de los microorganismos, el medio ambiente y otros factores. En general, el pH tiende a disminuir a medida que los materiales orgánicos se descomponen, ya que los productos de descomposición son generalmente ácidos. El pH también puede afectar la velocidad de la descomposición, ya que los microorganismos descomponedores tienen un rango de pH óptimo para su desarrollo (33).
- **Remediación:** es el proceso de restauración de la calidad ambiental de suelos, sedimentos o aguas subterráneas afectadas por la presencia de compuestos tóxicos o potencialmente peligrosos. Esto se logra mediante el uso de una variedad de técnicas, como la excavación, el reciclado, la cobertura, la inyección, la deshidratación, la adsorción, la fitorremediación y la biorremediación. Estas técnicas se utilizan para eliminar, controlar o reducir el impacto ambiental de la contaminación, incluida la eliminación de la exposición a los contaminantes (34).
- **Suelo:** es la capa superficial del terreno que se encuentra entre la atmósfera y la roca madre. Está compuesto por materiales minerales, materia orgánica, agua y aire. Estos materiales se encuentran en diferentes proporciones dependiendo del lugar. El suelo es fundamental para la vida en la Tierra, ya que es un

suministrador de nutrientes para las plantas y alberga una variedad de microorganismos y organismos más grandes. Además, el suelo regula el flujo de agua y evapotranspiración y es una fuente de almacenamiento de carbono (35).

- **Suelo contaminado:** es una situación en la que los componentes químicos, biológicos o físicos del suelo están presentes en cantidades o concentraciones superiores a los niveles naturales. Esto se debe a la presencia de sustancias tóxicas o nocivas, como desechos industriales, productos químicos o residuos domésticos. El suelo contaminado puede ser dañino para la salud humana, así como para el medio ambiente, ya que estas sustancias tóxicas pueden contaminar el agua, la tierra y el aire, lo que puede tener consecuencias graves. Muchos gobiernos regulan el suelo contaminado para reducir los efectos nocivos que puede causar (36).
- **Tratamiento:** es un proceso que consiste en la remoción, tratamiento y disposición final de materiales contaminantes de un suelo para reducir los niveles de contaminación al nivel que sea adecuado para su uso actual o previsto. Estos procesos pueden incluir la extracción, reciclaje, tratamiento, disposición final y monitoreo de los suelos contaminados. Las técnicas más comunes de tratamiento de suelos contaminados incluyen la separación mecánica, la separación física, la separación química, la fitorremediación, la bioremediación y la incineración. El objetivo del tratamiento de suelos contaminados es reducir los niveles de contaminación para permitir que el sitio se vuelva a usar o sea adecuado para la disposición final segura de los materiales (37).
- **Temperatura:** en el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. Así mismo se refiere al aumento de la temperatura de un suelo contaminado para promover el desarrollo de microorganismos que aceleran la descomposición de los contaminantes en formas menos tóxicas. La temperatura óptima para la remediación de suelos varía dependiendo del tipo de contaminante y de los microorganismos involucrados. Además, la temperatura se puede ajustar para lograr los mejores resultados en la remediación (38).

- **Valorización:** es una forma de gestión de residuos que busca maximizar el valor de los materiales y recursos que contienen los residuos mediante la reutilización o reciclado para producir bienes, energía o servicios. Esta técnica reduce la cantidad de residuos que se envían a los vertederos, ayuda a reducir el impacto ambiental y contribuye a la economía circular. La valorización de residuos también puede reducir los costos de gestión de residuos para las empresas y las comunidades (39).

## **CAPÍTULO III**

### **HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **3.1. Hipótesis**

##### **3.1.1. Hipótesis general**

El vermicompost es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha – 2023.

##### **3.1.2. Hipótesis específicas**

- ✓ La concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) en los suelos contaminados disminuye después de la aplicación del vermicompost en la mina Yauricocha 2023.
  
- ✓ La aplicación de biopilas para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados alcanza valores altos de eficiencia (superiores al 80 %) en la mina Yauricocha 2023.

#### **3.2. Identificación de las variables**

##### **a) Variable independiente: Vermicompost**

Definición conceptual: el vermicompost es un tipo de compostaje que involucra el uso de lombrices para descomponer la materia orgánica y producir un fertilizante orgánico. Las lombrices comen desechos orgánicos y producen un fertilizante rico en nutrientes y fácilmente asimilable por las plantas (40). El vermicompost contiene

una gran cantidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, al igual que microorganismos benéficos como bacterias, hongos y lombrices. Estos elementos aseguran que las plantas tengan los nutrientes que necesitan para un crecimiento saludable. El vermicompost también ayuda a mejorar la estructura y la fertilidad de los suelos (41).

- **Indicadores:**

- ✓ Humedad
- ✓ pH
- ✓ Temperatura
- ✓ Materia Orgánica
- ✓ Conductividad Eléctrica
- ✓ Relación C/N
- ✓ Potasio
- ✓ Fósforo

**b) Variable dependiente: Suelos contaminados con metales pesados**

Definición conceptual: es un proceso de remediación de suelos contaminados con metales pesados. Esta técnica se utiliza para reducir la cantidad de metales pesados presentes en el suelo y mejorar la calidad ambiental. Se lleva a cabo mediante una variedad de métodos, como la extracción física, la extracción química, la inyección de sustancias químicas, la inyección de aire, la inyección de agua y la inmovilización de los contaminantes (42). Estos procesos pueden ayudar a reducir la concentración de metales pesados en el suelo y mejorar la calidad de vida de los seres humanos y otros organismos (43).

- **Indicadores:**

- ✓ Pb
- ✓ Cu
- ✓ Zn
- ✓ Humedad
- ✓ pH

✓ Temperatura

### 3.3. Operacionalización de las variables

A continuación, se observa la matriz de operacionalización.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES
VERMICOMPOST	El vermicompost es un tipo de compostaje que involucra el uso de lombrices para descomponer la materia orgánica y producir un fertilizante orgánico. Las lombrices comen desechos orgánicos y producen un fertilizante rico en nutrientes y fácilmente asimilable por las plantas. El vermicompost contiene una gran cantidad de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, al igual que microorganismos benéficos como bacterias, hongos y lombrices. Estos elementos aseguran que las plantas tengan los nutrientes que necesitan para un crecimiento saludable. El vermicompost también ayuda a mejorar la estructura y la fertilidad de los suelos.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Humedad</li><li>• pH</li><li>• Temperatura</li><li>• Materia Orgánica</li><li>• Conductividad Eléctrica</li><li>• Relación C/N</li><li>• Potasio</li><li>• Fósforo</li></ul>
SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS	Es un proceso de remediación de suelos contaminados con metales pesados. Esta técnica se utiliza para reducir la cantidad de metales pesados presentes en el suelo y mejorar la calidad ambiental. Se lleva a cabo mediante una variedad de métodos, como la extracción física, la extracción química, la inyección de sustancias químicas, la inyección de aire, la inyección de agua y la inmovilización de los contaminantes. Estos procesos pueden ayudar a reducir la concentración de metales pesados en el suelo y mejorar la calidad de vida de los seres humanos y otros organismos.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pb</li><li>• Cu</li><li>• Zn</li><li>• Humedad</li><li>• pH</li><li>• Temperatura</li></ul>

**Figura 4. Matriz de operacionalización de las variables**



## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1. Enfoque de investigación**

La tesis pertenece al enfoque cuantitativo. Según Valderrama y Jaimes (2019) (44), los estudios cuantitativos emplean los números para medir hallazgos y/o resultados en la investigación.

#### **4.2. Tipo de investigación**

La tesis es de tipo aplicada, debido a que se basó en conocimientos y teorías de fundamentación científica para la aplicación, y a futuro servir como base para su implementación. Según Ñaupas, Valdivia, Palacios y Romero, (2018) (45), la investigación aplicada lleva a la práctica la teoría y lo demuestra.

#### **4.3. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es explicativo, porque demuestra que el vermicompost influye en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha. Según Hernández y Mendoza (2018) (46), las investigaciones explicativas cumplen una relación causal, y la variable independiente influye o incide en la variable dependiente.

#### 4.4. Diseño de investigación

La tesis es de diseño experimental. Según Vara (2015) (47), estos diseños miden la causa y el efecto en los resultados. El diseño es el siguiente:



*Figura 5. Diseño de investigación explicativa*

Donde:

X1 = Variable independiente

X2 = Variable dependiente

#### 4.5. Métodos de investigación

La tesis emplea como método general al método científico. Según Palomino et. al. (2019) el método científico comprende: 1) observación; 2) hipótesis; 3) recolección de datos; 4) verificación; 5) conclusiones (48), es decir los procesos para demostrar un nuevo conocimiento científico. Asimismo, la tesis ha considerado como métodos específicos a los siguientes:

- ✓ Método hipotético-deductivo, porque buscó comprobar la hipótesis del estudio.
- ✓ Método descriptivo, porque describe los hallazgos de la investigación.
- ✓ Método comparativo, porque compara resultados.

#### 4.6. Población y muestra

##### 4.6.1. Población

La población del estudio está conformada por el suelo contaminado de la mina Yauricocha.

✓ Criterios de selección:

- a) Criterios de exclusión. Se excluye a las minas que no sean Yauricocha.
- b) Criterios de inclusión. Se incluye a la mina Yauricocha.

- **Unidad de análisis**

La unidad de análisis es la mina Yauricocha.

#### **4.6.2. Muestra**

La muestra de investigación de la tesis está conformada por 6 muestras de suelo contaminado, cada uno de 1 kg, esto se obtendrá de forma aleatoria.

#### **4.7. Técnica e instrumento de la recolección de datos**

##### **4.7.1. Técnica**

Las técnicas de investigación constituyen las herramientas de apoyo al método científico de investigación. En la tesis se emplea la técnica de análisis documental, ésta permite estudiar distintas informaciones de las investigaciones.

##### **4.7.2. Instrumento**

El instrumento de recolección de datos es la ficha de análisis de contenido. En el anexo 2 se adjunta la ficha indicada.

#### **4.8. Descripción de análisis de datos**

Se analizó al vermicompost como una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados, en este caso el plomo, cobre y zinc.

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS**

#### **5.1. Presentación de resultados**

A continuación, se presentan los resultados:

- **Plomo (Pb):** para el caso del plomo se han encontrado muchas investigaciones que comprueban la disminución de este metal en el suelo cuando son tratados con vermicompost como es el caso del estudio un suelo agrícola contaminados con plomo donde se hicieron tratamientos con girasol y vermicompost, el que se logró disminuir en un 81,21 % al usar el estiércol de lombriz. Esto a su vez incrementó el contenido de materia orgánica, los niveles de N, P y K, el pH y la capacidad de intercambio catiónico (49). Otro estudio en donde se ve la remoción del plomo es en el suelo impactado por mina en el que se logró reducir en 76,99 %. Este tipo de biorremediación es más eficiente que el compostaje (50).
  
- **Cobre (Cu):** los estudios demuestran que el cobre disminuye con la aplicación del vermicompost. Por ejemplo, en la investigación en donde el suelo estaba contaminado con metales pesados, se logró la reducción del cobre en un 85,18 %. Este demuestra que los extractos de vermicompost de muestras gruesas, ejerció una remediación alta, también exhibieron mayores propiedades de eliminación en contraste con los extractos de compost derivados de muestras gruesas (51).

- **Zinc (Zn):** investigaciones como el caso de suelo impactado por mina, lograron reducir un 88 % la concentración de zinc al aplicar vermicompost. Esto produce cambios significativos en las principales propiedades del suelo. Por otro lado, logra modificar movilidad y disponibilidad de los contaminantes como este metal. Se produce una reducción significativa de las formas solubles e intercambiables con la adición del vermicompost. Además, aumenta el contenido de materia orgánica y el pH. (52).

Título de la investigación	Resultado de la eficiencia de las biopilas
Biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz usados mediante sistema de biopilas (35)	Se logró la remoción de la fracción aromática en 94.8 % y en la fracción alifática en un 90.43 % en la biopila número 2.
Monitoring of biopile composting of oily sludge.	La remoción de hidrocarburos fue en un 68%, utilizando biopilas estáticas con inyección de aire.
Ex situ bioremediation of a soil contaminated by mazut (heavy residual fuel oil) a field experiment. (36)	La biopila con aireación mecánica logró reducir hidrocarburos de 83 % a 95%.
Influencia del compost de estiércol animal en la biorremediación de metales pesados en suelos contaminados con relaves mineros, Huari - La Oroya, 2019 (37)	La eficiencia de las biopilas en la biorremediación de metales alcanzó un valor de 91.99 %.
Eficiencia entre dos agentes biodegradables en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5 (38)	La eficiencia de las biopilas en la remoción de hidrocarburos fue de 57 % a 82,8 %.

**Figura 6. Eficiencia de biopilas**

Las biopilas son una técnica para biorremediar suelos contaminados como en este caso por metales pesados. Diferentes estudios demuestran que las biopilas tiene una eficiencia muy alta en la recuperación de suelos contaminados por diferentes elementos. Además, hay distintas formas de crear estas biopilas. El estudio en donde se demostró la mayor eficiencia es en el suelo contaminado con relaves, esto logró un 91.99 %.

- **Disminución de metales pesados después de la aplicación del vermicompost**

En la siguiente tabla, se menciona la disminución de metales pesados con efecto de la aplicación del vermicompost.

**Tabla 2. Investigaciones sobre la remoción de metales pesados**

Título de la investigación	Autor de la investigación	Unidad analizada	Plomo (Pb) %	Cobre (Cu) %	Zinc (Zn) %	Cadmio (Cd) %
Remediation potential of metalliferous soil by using extracts of composts and vermicomposts from Municipal Solid Waste <b>(22)</b>	Soobhany et al.,2018	Suelo contaminado con metales pesados	-	85,18	79,02	81,42
Vermicomposting manure-paper mixture with igneous rock phosphate enhances biodegradation, phosphorus bioavailability and reduces heavy metal concentrations <b>(23)</b>	Mupondi et al.,2018	Suelo de laboratorio	40	35	45	35
Remoción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros a través del vermicompostaje <b>(24)</b>	Canales et al., 2022	Relave minero	53,7	-	-	-
Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales mineros de Huamantanga –Canta <b>(12 )</b>	Contreras,Vilcapoma y Rojas, 2020	Suelo impactado por mina	76,99	-	-	75,14
Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ) y estiércol de lombriz roja ( <i>Eisenia foetida</i> ) en condiciones controladas <b>(25)</b>	Febres, 2019	Suelo agrícola	81,21	-	-	-
Influencia del vermicompostaje en la recuperación de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Santa Clara - Lima 2022 <b>(26)</b>	Tito, 2022	Lodos residuales	16 %	-	-	19 %
Growth and elemental uptake of Rhodes grass ( <i>Chloris gayana</i> ) grown in a mine wastecontaminated soil amended with fly ash-enriched vermicompost. <b>(27)</b>	Lukashe, Mnkeni y Mupambwa, 2020	Suelo impactado por mina	8,5	16,8	-	-
Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. <b>(28)</b>	He et al., 2016	Suelo de montaña	11,08	81,09	38,5	-
Is vermicompost the possible in situ sorbent? Immobilization of Pb, Cd and Cr in sediment with sludge derived vermicompost, a column study <b>(29)</b>	Zhang et al., 2019	Suelo agrícola y doméstica	93	-	-	97
Detoxification of chromium-rich tannery industry sludge by <i>Eudrillus eugeniae</i> : Insight on compost quality fortification and microbial enrichment. <b>(30)</b>	Goswami et al., 2018	Suelo agrícola	-	-	79	88
Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter <b>(31)</b>	Wu et al., 2018	Suelo de laboratorio	32,8	22,98	84,39	6,02
Phytoremediation of heavy metal-contaminated soil by switchgrass: A comparative study utilizing different composts and coir fiber on pollution remediation, plant productivity, and nutrient leaching. <b>(32)</b>	Shrestha, Bellitürk Gorres, 2019	Suelo de bosque	43,2	-	39,71	24,18
The role of organic amendment in soils affected by residual pollution of potentially harmful elements. <b>(34)</b>	Sierra Aragón et al., 2019	Suelo impactado por mina	-	86,7	88	90,8

## **5.2. Contratación de hipótesis**

De los diferentes estudios realizados sobre el vermicompost, se tiene la certeza de que esta es una alternativa que sirve como biorremediación de suelos contaminados con metales pesados, además que ayuda a mejorar las propiedades del suelo. El vermicompost muestra mejores índices de calidad, por ejemplo, incrementa el porcentaje de materia orgánica en el suelo, baja la salinidad del suelo, hay una mayor humedad retenida y una menor concentración de sodio (52).

La recuperación de suelos contaminados con metales como el cobre, plomo y zinc se lleva a cabo gracias a la aplicación del vermicompost. El uso del vermicompost reduce la disponibilidad o inmoviliza estos metales pesados en el suelo, debido a que este presenta materia orgánica en un espacio humificado, nutrientes fitoregulatoras de desarrollo, condiciones físicas óptima, además que pueden ser almacenados sin ser procesados posteriormente o alterados (53).

El uso de biopilas es altamente eficiente como técnica de biorremediación. Esta tecnología logra controlar los factores que son necesarios para que los microorganismos puedan actuar, tales como el pH, la aireación, el equilibrio de nutrientes y la humedad, logrando así disminuir los contaminantes existentes en el suelo y mejorando la calidad de este (54).

### 5.3. Discusión de resultados

**Tabla 3. Investigaciones sobre la eficiencia de las biopilas**

Título de la investigación	Resultado de la eficiencia de las biopilas
Biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz usados mediante sistema de biopilas <b>(35)</b>	Se logró la remoción de la fracción aromática en 94.8 % y en la fracción alifática en un 90.43 % en la biopila número 2.
Monitoring of biopile composting of oily sludge.	La remoción de hidrocarburos fue en un 68%, utilizando biopilas estáticas con inyección de aire.
Ex situ bioremediation of a soil contaminated by mazut (heavy residual fuel oil) a field experiment. <b>(36)</b>	La biopila con aireación mecánica logró reducir hidrocarburos de 83 % a 95%.
Influencia del compost de estiércol animal en la biorremediación de metales pesados en suelos contaminados con relaves mineros, Huari - La Oroya, 2019 <b>(37)</b>	La eficiencia de las biopilas en la biorremediación de metales alcanzó un valor de 91.99 %.
Eficiencia entre dos agentes biodegradables en la remediación de los suelos contaminados con diésel B5 <b>(38)</b>	La eficiencia de las biopilas en la remoción de hidrocarburos fue de 57 % a 82,8 %.

Se puede apreciar en la tabla 3 que en cinco estudios encontrados, los resultados de la eficiencia de las biopilas tienen porcentajes elevados.



## CONCLUSIONES

1. Las investigaciones demuestran que el vermicompost reduce la inmovilización y disponibilidad de los metales pesados en el suelo, esto se considera altamente eficiente porque es fácil de obtener el producto, no es costoso y es amigable con el medio ambiente.
2. La reducción de los metales como el cobre, plomo y zinc presentes en los suelos son reducidas en porcentajes altos de acuerdo con los estudios realizados, entonces se infiere que estos metales presentes en los suelos contaminados en la mina Yauricocha pueden ser recuperados utilizando el vermicompost.
3. La revisión de distintas investigaciones en donde utilizaron la técnica de biopilas señalan altas eficiencias al biorremediar distintos tipos de suelos, además es fácil de manejarlo para obtener resultados esperados

## RECOMENDACIONES

1. Aplicar el vermicompost directamente a los relaves mineros para comprobar su eficiencia de remoción de los metales presentes.
2. Realizar investigaciones del compostaje con *Eisenia Foetida* como organismo directo de la degradación de los metales, puesto que es capaz de convertir sustancias complejas a simples mediante su metabolismo.
3. Realizar la búsqueda de estudios del vermicompost en la aplicación de otros suelos contaminados con distintos materiales que comprueben su eficacia ya que este es un producto rico en materia orgánica capaz de mejorar las propiedades del suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ROMÁN, Y. et al. 2021. Heavy metal contamination and health risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru. *Chemosphere*. 2021, 274. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.129792.
2. LIM M., LAU E. y POH P. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil - Present works and future directions. *Marine Pollution Bulletin* [en línea]. Agosto, 2016, 109 (1), 14-45. ISSN 0025326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2016.04.023. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.023>.)
3. BROWN T. et al., World Mineral Production. *British Geological Survey*, 2014. ISSN 978085727676. Disponible en: <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/507092/1/WMP2008-2012.pdf>
4. BANCO MUNDIAL / Oxfam Internacional. Construyendo desde el conflicto: Lecciones aprendidas de las mesas de diálogo en Tintaya y Moquegua (Perú), 2016. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/country/peru/publication/diagnostico-del-sector-minero-peru>
5. MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM). Principales minerales explotados, producción anual y ranking mundial. 2019.
6. MENÉNDEZ, J. y S. MUÑOZ. Contaminación del agua y suelo por los relaves mineros. *Paidea XXI*. Enero - junio, 2021, 141 - 154. ISSN 2221 - 7770.
7. CEDERSTAV, A. y A. BARANDIARÁN. La Oroya no espera. Perú: s.n., 2002.
8. TARRILLO, M. y NUÑEZ. E. Análisis de los métodos más eficientes para la recuperación de suelos contaminados con relaves mineros producto de la actividad minera. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte, 2022, 40 pp.
9. PÉREZ J., RUIZ A. y ARAMBURÚ V. Reducción de contaminantes del relave ácido de mina en planta concentradora de Jangas, Perú. Jangas - Perú. *Avances*, 22(2), 2020. Recuperado de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/534/1607>

10. ROMERO, A. Tratamiento de relaves mineros contaminados con plantación de gramíneas (Kikuyo) para convertirlos en áreas verdes en la mina de la región central del Perú. Tesis (Grado académico de Maestro en Seguridad y Medio Ambiente en Minería). Huancayo - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015, 232 pp.
11. ASTO, J. Influencia de la Putacca y Totora para la fitoestabilización en los depósitos de relaves mineros en la compañía minera Tambo del Cóndor S.R. L - Ayacucho - 2017. Tesis (Título de Ingeniero de Minas). Huancavelica - Perú: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2018, 96 pp.
12. CONTRERAS, M., CUBA, S. y ROJAS, A. Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales mineros de Huamantanga - Canta. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales). Callao: Universidad Nacional del Callao, 2021.
13. VALDIVIEZO, L., Aplicación de Vermicompost para la remediación de suelos contaminados por metales pesados: Revisión Sistemática. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Cesar Vallejo, 2021.
14. SARMIENTO, G. y S. FEBRES. Recuperación de plomo en suelo agrícola contaminado artificialmente como estrategia de remediación mediante girasol y vermicompost. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 27. Agosto, 2021. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2021.04.007>
15. ESTUDIOS MINEROS DEL PERÚ S.A.C. Manual de minería. s.n. Disponible en: [https://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual\\_de\\_Mineria.pdf](https://www.iestpoyon.edu.pe/web/documentos/Manual_de_Mineria.pdf)
16. FERRÉ, N., SCHUHMACHER M. y DOMINGO J. Metales pesados y salud. Barcelona, 2007. s.n.
17. PUGA S. et al. Contaminación por metales pesados en suelo provocado por la industria minera. *Ecología aplicada*. Diciembre, 2006, 5(1,2), 149 - 155. ISSN: 1726 - 2216.
18. FERREIRA T., SANTOS F. y PESSOA F. Biorremediación de un suelo tropical contaminado con residuos aceitosos intemperizados. *Rev. Int. Contam. Ambie*. Noviembre, 2012, 29(1), 21 - 28.
19. FERRÉ, N., SCHUHMACHER, M., y DOMINGO, J. (2007). *Ibídem*

20. FERRÉ, N., SCHUHMACHER, M., y DOMINGO, J. (2007). *Ibídem*
21. FERRÉ, N., SCHUHMACHER, M., y DOMINGO, J. (2007). *Ibídem*
22. AYUNTAMIENTO DE SAN SEBASTIAN DE LOS REYES. Manual básico para hacer vermicompost. Disponible en : [https://www.compostaenred.org/documentacion/Manuales/2Manual\\_Vermicompostaje\\_SanSebastiandelosReyes.pdf](https://www.compostaenred.org/documentacion/Manuales/2Manual_Vermicompostaje_SanSebastiandelosReyes.pdf)
23. SOMARRIBA R. y F. GUZMÁN. Guía de lombricultura. Nicaragua, 2004. Disponible en: [https://www.compostaenred.org/documentacion/Manuales/2Manual\\_Vermicompostaje\\_SanSebastiandelosReyes.pdf](https://www.compostaenred.org/documentacion/Manuales/2Manual_Vermicompostaje_SanSebastiandelosReyes.pdf)
24. SOOBHANY, N. Remediation potential of metalliferous soil by using extracts of composts and vermicomposts from Municipal Solid Waste. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], 2018, 118, pp. 285-295. ISSN 09575820. DOI 10.1016/j.psep.2018.07.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.07.005>.
25. MUPONDI, L. et al. Vermicomposting manure-paper mixture with igneous rock phosphate enhances biodegradation, phosphorus bioavailability and reduces heavy metal concentrations. *Heliyon* [en línea], 2018, 4, no. 8, pp. e00749. ISSN 24058440. DOI 10.1016/j.heliyon.2018.e00749. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00749>.
26. CANALES, A. et al. Remoción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros a través del vermicompostaje. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*. Noviembre, 2022, 48, 267 - 273. s.n.
27. FEBRES, S. Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en condiciones controladas. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2019. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/20.500.12773/12074>
28. TITO, M. Influencia del vermicompostaje en la recuperación de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Santa Clara - Lima 2022. Tesis (Título de Ingeniera Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2022, 113 pp.

29. LUKASHE, N., MNKENI, P. y MUPAMBWA, H. Growth and elemental uptake of Rhodes grass (*Chloris gayana*) grown in a mine wastecontaminated soil amended with fly ash-enriched vermicompost. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020, 27 (16), pp. 19461-19472. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-020-08354-7.
30. HE, X. et al. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. *Bioresource Technology* [en línea], 2016, 218, pp. 867-873. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2016.07.045. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.045>.
31. ZHANG, Y., et al. Is vermicompost the possible in situ sorbent? Immobilization of Pb, Cd and Cr in sediment with sludge derived vermicompost, a column study. *Journal of Hazardous Materials*. 2019, 367, pp. 83-90. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2018.12.085.
32. GOSWAMI, L. et al. Detoxification of chromium-rich tannery industry sludge by *Eudrillus eugeniae*: Insight on compost quality fortification and microbial enrichment. *Bioresource Technology* [en línea]. 2018, 266, pp. 472-481. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2018.07.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.001>.
33. WU, D. et al. Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter. *Science of the Total Environment* [en línea], 2018, 633, pp. 71-80. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.03.167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.167>.
34. SHRESTHA, P., BELLITÜRK, K. y GÖRRES, J. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soil by switchgrass: A comparative study utilizing different composts and coir fiber on pollution remediation, plant productivity, and nutrient leaching. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019, 16 (7). ISSN 16604601. DOI 10.3390/ijerph16071261.
35. SIERRA, M. et al. The role of organic amendment in soils affected by residual pollution of potentially harmful elements. *Chemosphere*, 237. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.124549.

36. ANZA, H. et al., Biorremediación de suelos contaminados con aceites automotriz usados mediante sistema de biopilas. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*. Octubre, 2016, 5 (12) 49-77. doi: 10.31644/IMASD.12.2016.a04.
37. KRIIPSALU, M., y D. NAMMARI. Monitoring of biopile composting of oily sludge. *Waste Management and Research*. 2010, 28(5): 395-403.
38. BESKOSKI, V. et al. Ex situ bioremediation of a soil contaminated by mazut (heavy residual fuel oil) a field experiment. *Chemosphere*. 2011, 83(1): 34-40.
39. HORMAZA, A. Influencia del Compost de estiércol animal en la biorremediación de metales pesados en suelos contaminados con relaves mineros, Huari - La Oroya, 2019. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2020.
40. CASIMIRO, V. Eficiencia entre dos agentes biodegradables en la remediación de los suelos contaminados con Diésel B5. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental). Lima: Universidad Continental, 2019.
41. VAZQUEZ, J. y O. LOLI. Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*. 2018, vol.9, n.1, pp.43-52. ISSN 2077-9917. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05>.
42. LIÑÁN, D. Desarrollo de Biofiltros de residuos orgánicos para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. Tesis (Magister en Ingeniería Química). Universidad Miguel Hernandez de Elche, 2015.
43. ROJAS, N. A field trial for an ex-situ bioremediation of a drilling mud-polluted site. *Chemosphere*. 2007, 66(9): 1595-1600.
44. VALDERRAMA, S. y JAIMES, C. *El desarrollo de la tesis. Descriptiva-Comparativa, Correlacional y Cuasiexperimental*. Lima, Perú: San Marcos S.A. (2019)
45. ÑAUPAS, H.; VALDIVIA, M. R.; PALACIOS, J. J.; y ROMERO, H. E. *Metodología de la investigación: Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la tesis*. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U. (2018)
46. HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R. y MENDOZA, C.P. *Metodología de la Investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Libro digital. Derechos reservados respecto a la primera edición por McGraw-Hill

Interamericana Editores, S.A. de C.V. ISBN: 978-1-4562-6096-5. México. (2028). Recuperado de <https://www.ebooks7-24.com/stage.aspx?il=6443&pg=&ed=https://aulavirtual.continental.edu.pe/course/view.php?id=20123#section-5>

47. VARA, A. *7 Pasos para elaborar una tesis: Cómo elaborar y asesorar una tesis para Ciencias Administrativas, Finanzas, Ciencias Sociales y Humanidades*. Lima, Perú: MACRO. (2015)
48. PALOMINO, J.A.; PEÑA, J.D.; ZEVALLOS, G.; L.A. *Metodología de la investigación. Guía para elaborar un proyecto en Salud y Educación*. Lima, Perú: San Marcos S.A. (2019)
49. FEBRES, S. Remediación de suelos contaminados con plomo (Pb) mediante el empleo de girasol (*Helianthus annuus*) y estiércol de lombriz roja (*Eisenia foetida*) en condiciones controladas. *Ibídem*.
50. CONTRERAS, M., CUBA, S. y ROJAS, A. Eficiencia del compostaje y vermicompostaje en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio y plomo por pasivos ambientales mineros de Huamantanga - Canta. *Ibídem*.
51. SOOBHANY, N. Remediation potential of metalliferous soil by using extracts of composts and vermicomposts from Municipal Solid Waste. *Process Safety and Environmental Protection. Ibídem*.
52. SIERRA, M. et al. The role of organic amendment in soils affected by residual pollution of potentially harmful elements. *Ibídem*. HORMAZA, A. Influencia del Compost de estiércol animal en la biorremediación de metales pesados en suelos contaminados con relaves mineros, Huari - La Oroya, 2019. *Ibídem*.
53. CASIMIRO, V. Eficiencia entre dos agentes biodegradables en la remediación de los suelos contaminados con Diésel B5. *Ibídem*.
54. VAZQUEZ, J. y O. LOLI. Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*. 2018, 9 (1), pp.43-52. ISSN 2077-9917. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05>. *Ibídem*.



## **ANEXOS**

## Anexo 1

### Matriz de consistencia

Título: El vermicompost, una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha 2023

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	INDICADORES	METODOLOGÍA
¿El vermicompost es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en la mina Yauricocha - 2023?	Explicar el vermicompost como una alternativa para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados en la mina Yauricocha - 2023.	El vermicompost es una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha – 2023.	<b>Variable independiente:</b> <b>VERMICOMPOST</b> <b>INDICADORES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Humedad</li> <li>• pH</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Materia Orgánica</li> <li>• Conductividad Eléctrica</li> <li>• Relación C/N</li> <li>• Potasio</li> <li>• Fósforo</li> </ul> <b>Variable dependiente:</b> <b>SUELOS CONTAMINADOS CON METALES PESADOS</b> <b>INDICADORES:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pb</li> <li>• Cu</li> <li>• Zn</li> <li>• Humedad</li> <li>• pH</li> <li>• Temperatura</li> </ul>	<b>Enfoque de investigación</b> Enfoque cuantitativo  <b>Tipo de investigación</b> Investigación aplicada  <b>Nivel de investigación</b> Nivel Explicativo  <b>Diseño de investigación</b> Investigación Experimental  <b>Población</b> Suelo contaminado de la mina Yauricocha.  <b>Muestra</b> 6 muestras de suelo contaminado, cada uno de 1 kg, esto se obtendrá de forma aleatoria  <b>Método de investigación</b> Método científico  <b>Técnica de investigación</b> Análisis documental  <b>Instrumento de investigación</b> Ficha de Análisis de contenido
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál es la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) después de la utilización del vermicompost en suelos contaminados en la mina Yauricocha 2023?</li> <li>• ¿Cuál es la eficiencia de biopilas para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Pb, Cu y Zn) en la mina Yauricocha 2023?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inferir la concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) después de la utilización del vermicompost en suelos contaminados en la mina Yauricocha 2023.</li> <li>• Revisar la eficiencia de biopilas para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados (Pb, Cu y Zn) en la mina Yauricocha 2023</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La concentración de metales pesados (Pb, Cu y Zn) en los suelos contaminados disminuye después de la aplicación del vermicompost en la mina Yauricocha 2023.</li> <li>• La aplicación de biopilas para la recuperación de suelos contaminados por metales pesados alcanza valores altos de eficiencia (superiores al 80%) en la mina Yauricocha 2023.</li> </ul>		

**Anexo 2**  
**Instrumento de investigación**

**FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO**

TITULO DEL ARTÍCULO:	
LUGAR DE PUBLICACIÓN	
AÑO DE PUBLICACIÓN	
AUTOR	
ANÁLISIS	
PALABRAS CLAVES	
MATERIA PRIMA EMPLEADA	
LOMBRIZ DE TIERRA EMPLEADA	
METALES PESADOS ANALIZADOS	
TÉCNICAS DE BIORREMEDIACIÓN	
PRINCIPALES HALLAZGOS	