

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



**TESIS**

---

**“Efectividad bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa (Medicago Sativa L.) En la biorremediación de la calidad de suelo usado como botadero, Marabamba, provincia y departamento de Huánuco-2022”**

---

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

**AUTORA: Morales Espinoza, Katherine Yahaira**

**ASESOR: Morales Aquino, Milton Edwin**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2023**

# 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:** Biotecnología ambiental

**Disciplina:** Biotecnología ambiental

# D

### DATOS DEL PROGRAMA:

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

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

### DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 48746642

### DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 44342697

Grado/Título: Maestro en ingeniería, con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible

Código ORCID: 0000-0002-2250-3288

### DATOS DE LOS JURADOS:

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Zacarias Ventura, Héctor Raúl	Doctor en ciencias de la educación	22515329	0000-0002-7210-5675
2	Calixto Vargas, Simeón Edmundo	Maestro en administración de la educación	22471306	0000-0002-5114-4114
3	Cámara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405

# 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 17:00 horas del día 26 del mes de junio del año 2023, 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:

- Dr. Hector Raúl Zacarias Ventura (Presidente)
- Mg. Simeón Edmundo Calixto Vargas (Secretario)
- Mg. Frank Erick Cámara Llanos (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1386-2023-D-FI-UDH**, para evaluar la Tesis intitulada: **"EFECTIVIDAD BIOESTIMULANTE DE LA LOMBRICOMPOSTA Y LA ALFALFA (*Medicago sativa L.*) EN LA BIORREMEDIACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELO USADO COMO BOTADERO, MARABAMBA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO-2022"**, presentado por el (la) Bach. **MORALES ESPINOZA, KATHERINE YAHAIRA**, 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 **Unanimitad** con el calificativo cuantitativo de **16** y cualitativo de **Buena** (Art. 47)

Siendo las **18:00** horas del día **26** del mes de **Junio** del año **2023**, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Hector Raúl Zacarias Ventura  
ORCID: 0000-0002-7210-5675  
Presidente

Mg. Simeón Edmundo Calixto Vargas  
ORCID: 0000-0002-5114-4114  
Secretario

Mg. Frank Erick Cámara Llanos  
ORCID: 0000-0001-9180-7405  
Vocal



**UDH**  
UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO  
<http://www.udh.edu.pe>

## UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

### CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

Yo, MILTON EDWIN MORALES AQUINO, asesor(a) del PA. INGENIERIA AMBIENTAL y designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 919-2020-D-FI-UDH del 29 de diciembre del 2020; de la Bachiller, MORALES ESPINOZA, Katherine Yahaira de la investigación titulada **“EFECTIVIDAD BIOESTIMULANTE DE LA LOMBRICOMPOSTA Y LA ALFALFA (*Medicago sativa L.*) EN LA BIORREMEDIACIÓN DE LA CALIDAD DE SUELO USADO COMO BOTADERO, MARABAMBA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUÁNUCO-2022”**.

Puedo constar que la misma tiene un índice de similitud del 23 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Antiplagio Turnitin.

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

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

Huánuco, 27 de junio de 2023

---

Mg. Milton Edwin Morales Aquino

Asesor de tesis

DNI: 44342697

Código ORCID N°

0000-0002-2250-3288

## Segunda Revisión

### INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

22%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

1

[repositorio.udh.edu.pe](https://repositorio.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

8%

2

[hdl.handle.net](https://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

3%

3

Submitted to Universidad de Huanuco

Trabajo del estudiante

3%

4

[repositorio.ucv.edu.pe](https://repositorio.ucv.edu.pe)

Fuente de Internet

2%

5

[repositorio.utc.edu.ec](https://repositorio.utc.edu.ec)

Fuente de Internet

1%

6

[distancia.udh.edu.pe](https://distancia.udh.edu.pe)

Fuente de Internet

1%

7

[images.engormix.com](https://images.engormix.com)

Fuente de Internet

1%

8

[renati.sunedu.gob.pe](https://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

<1%

9

[issuu.com](https://issuu.com)

Fuente de Internet

<1%

  
Mg. Milton Edwin Morales Aquino  
Asesor de tesis  
DNI: 44342697  
Código ORCID N°  
0000-0002-2250-3288

## **DEDICATORIA**

A Dios nuestro Señor, quien me dio la fortaleza que necesitaba para no desistir en los logros de mi vida.

Y a todas las personas que me apoyaron a lo largo de nuestra vida y han hecho que nuestros esfuerzos den frutos.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer primeramente a Dios por hacer este sueño posible y en segundo lugar agradecer a mis cuatro madres que fueron pilares muy importante en todo este proceso de vida universitaria.

Agradezco sinceramente a mi asesor el Mg. Morales Aquino, Milton Edwin, por su apoyo y conocimiento brindado en el desarrollo de mi investigación.

Agradecer a los docentes de la universidad; Ing. Calvo Trujillo, Heberto; al Blgo. Duran Nieva, Alejandro Rolando y Mg. Calixto Vargas, Simeón Edmundo, por inculcarnos a ser buenos profesionales con su ejemplo a seguir.

También quiero agradecer a mi pareja, por brindarme su apoyo incondicional y por siempre creer en mi persona.

Agradezco a nuestros colegas de la universidad, trabajo y amistades por influir de una buena manera a seguir adelante.

# ÍNDICE

DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	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.....	14
1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL.....	14
1.2.2. FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	14
1.3. OBJETIVOS.....	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.6.1. VIABILIDAD AMBIENTAL.....	17
1.6.2. VIABILIDAD OPERATIVA.....	17
1.6.3. VIABILIDAD TÉCNICA.....	17
1.6.4. VIABILIDAD ECONÓMICA.....	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.....	18
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	21
2.2. BASES TEÓRICAS.....	22
2.2.1. BIORREMEDIACIÓN POR BIOESTIMULACIÓN.....	22

2.2.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA LOMBRICOMPOSTA.....	25
2.2.3.	ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.).....	30
2.2.4.	CALIDAD DEL SUELO .....	33
2.3.	DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	42
2.3.1.	METAL PESADO .....	42
2.3.2.	BIOTECNOLOGÍA .....	42
2.3.3.	CONTAMINACIÓN .....	42
2.3.4.	LIXIVIACIÓN.....	42
2.3.5.	CARBONO.....	42
2.3.6.	FERTILIZACIÓN .....	42
2.3.7.	FILTRACIÓN .....	43
2.3.8.	MATERIA ORGÁNICA.....	43
2.3.9.	NITRÓGENO .....	43
2.3.10.	SIMBIOSIS .....	43
2.4.	HIPÓTESIS .....	43
2.5.	VARIABLES .....	44
2.5.1.	VARIABLE 1 .....	44
2.5.2.	VARIABLE 2 .....	44
2.6.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	45
CAPÍTULO III.....		46
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		46
3.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	46
3.1.1.	ENFOQUE .....	46
3.1.2.	ALCANCE O NIVEL.....	46
3.1.3.	DISEÑO .....	46
3.2.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	47
3.2.1.	POBLACIÓN.....	47
3.2.2.	MUESTRA .....	47
3.3.	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	48
3.3.1.	PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS .....	49
3.3.2.	PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS .....	50
3.4.	TÉCNICAS PARA EL PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA .....	
	INFORMACIÓN.....	50
3.4.1.	ANÁLISIS DESCRIPTIVO .....	50

3.4.2. ANÁLISIS INFERENCIAL .....	50
CAPÍTULO IV.....	52
RESULTADOS.....	52
4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	52
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS ....	55
CAPÍTULO V.....	59
DISCUSION DE RESULTADOS.....	59
CONCLUSIONES .....	62
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
ANEXOS.....	67

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Taxonómica de la alfalfa .....	31
Tabla 2 Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo ..	36
Tabla 3 Operación de variables dimensiones indicadores .....	45
Tabla 4 Coordenadas UTM de ubicación del proyecto .....	47
Tabla 5 Propiedades físicas del suelo usado como botadero antes y después de la aplicación del bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa (Medicago sativa L.), Marabamba, Huánuco, 2022 .....	52
Tabla 6 Propiedades químicas del suelo usado como botadero antes y después de la aplicación del bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa (Medicago sativa L.), Marabamba, Huánuco, 2022 .....	53
Tabla 7 Prueba de normalidad de los datos .....	54
Tabla 8 Prueba de hipótesis con ANOVA de Kruskal-Wallis .....	55
Tabla 9 Tabla interpretativa de la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador de nitrógeno de la alfalfa sobre la calidad del suelo usado como botadero .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fijación biológica de Nitrógeno atmosférico .....	29
Figura 2 Proceso cíclico donde el nitrógeno se incorpora al suelo .....	30
Figura 3 La Edafosfera en el centro de la interfase de integración de los demás sistemas.....	34
Figura 4 Los tipos de degradación del suelo .....	39
Figura 5 Propiedades físicas del suelo usado como botadero antes y después de la aplicación del bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.), Marabamba, Huánuco, 2022 .....	52

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como **objetivo** demostrar la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la biorremediación del suelo usado como botadero. La **metodología** fue de tipo experimental, con dos grupos operacionales y tres repeticiones. Verificaron el efecto y analizaron los parámetros físicos y químicos, además de dos metales pesados (plomo y cadmio). Los **resultados** demostraron que en el análisis inicial se clasifica en franco arcillo arenoso y final en franco arenoso. En los parámetros químicos muestran un pH de 7.8 medianamente básico pasando a pH 8.3 ligeramente alcalino, no fue efectivo ya que el rango es de 6.6 -7.3. Con la CE inicial tiene 2 dS/m paso a 1 ds/m, se encuentra dentro del rango. M.o 2.7% inicial paso a 3.5 % siendo efectivo, N 0.1% inicial paso a 0.2% siendo efectivo, Cadmio inicia con 0.2 ppm paso a 0.5 ppm quedando dentro del rango, plomo inicia con 143.3 ppm paso a 57.5 ppm quedando dentro del rango establecido en Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. – ECA para Suelo. Fósforo 73 ppm inicial y pasa 95.1 ppm no fue efectivo, Potasio 340.3 ppm inicial y final con 428.3ppm supera el rango, CIC 17.6 meq/100g inicial pasando a 21.1 meq/100g siendo efectivo. En **conclusión**, la lombricomposta y la alfalfa tuvieron efecto sobre los indicadores: Limo, pH, C.E, M.o, N, Cd, Pb y CIC. El plomo reduce su presencia después los tres tratamientos a excepción del cadmio incrementa, pero están dentro del rango.

**Palabras claves:** efectividad, bioestimulante, lombricomposta, calidad, suelo, botadero.

## ABSTRACT

The objective of this work was to demonstrate the biostimulant efficacy of vermicompost and symbiotic nitrogen fixer of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in the bioremediation of soil used as a dump. The methodology was experimental, with two operating groups and three repetitions. They verified the effect and analyzed the physical and chemical parameters, as well as two heavy metals (lead and cadmium). The results show that in the initial analysis it is classified as sandy clay loam and final as sandy loam. In the chemical parameters, a fairly basic pH of 7.8 is shown, passing to a slightly alkaline pH of 8.3, it was not effective since the range is 6.6 -7.3. With the initial CE it has 2 dS/m step to 1 ds/m, it is within the range. M.o 2.7% initial step to 3.5% being effective, N 0.1% initial step to 0.2% being effective, Cadmium starts with 0.2 ppm step to 0.5 ppm remaining within the range, lead starts with 143.3 ppm step to 57.5 ppm remaining within the established range in Supreme Decree No. 011-2017-MINAM. – ECA for Soil. Phosphorus 73 ppm initial and it passes 95.1 ppm was not effective, Potassium 340.3 ppm initial and final with 428.3ppm exceeds the range, CIC 17.6 meq/100g initial going to 21.1 meq/100g being effective. In conclusion, vermicompost and alfalfa had an effect on the indicators: Silt, pH, C.E, M.o, N, Cd, Pb and CIC. Lead reduces its presence after the three treatments, except for cadmium, it increases, but they are within the range.

**Keywords:** *medicago sativa*, Bioremediation, Biostimulant, vermicompost, heavy metals.

## INTRODUCCIÓN

El Proyecto de investigación titulado “Efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la biorremediación de la calidad de suelo usado como botadero, Marabamba, Provincia y Departamento de Huánuco–2022” se realizó para poder recuperar el recurso natural suelo, contaminado por residuos sólidos, el cual es muy significativo para la obtención de nuestros alimentos y de los ecosistemas que se encuentran en ellos.

A lo largo de los años, el suelo se ha visto afectado negativamente por el uso excesivo y la conversión a diversas actividades antropogénicas, incluidos los desechos sólidos, con disposición inadecuada y pasivos ambientales, un problema que cambia el ecosistema del suelo, lo degrada y reduce los servicios. asegura e incide directamente en el desarrollo social. De igual forma, debido a la acumulación excesiva de materia orgánica e inorgánica en el suelo, se producen cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que dificulta su conservación.

Los metales pesados están naturalmente presentes en el suelo, pero se ha observado acumulación antropogénica en los últimos años debido a diversas actividades industriales y agrícolas y malas prácticas de desechos sólidos. (Giuffré et al., 2005).

Las leguminosas (alfalfa) almacenan grandes cantidades de metales en sus tallos y raíces, y la diferencia es grande para cada especie utilizada para la extracción y tratamiento del suelo (Lopez, 2019).

Thieman & Palladino (2010) mencionan que la biorremediación es un método respectivamente nuevo en biotecnología y muchas unidades pequeñas están involucradas en varios aspectos de ese campo. La biorremediación es un campo multidisciplinario que requiere la colaboración de científicos diferentes, incluidos microbiólogos, químicos, científicos ambientales, hidrólogos e ingenieros.

# CAPÍTULO I

## PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La contaminación del suelo es una preocupación. Está clasificada dentro de las 3 amenazas más relevantes para el funcionamiento del suelo en Europa y Asia, cuarta en el norte de África, séptima en el noroeste del Pacífico, octava en América del Norte y novena en el África subsahariana y América Latina. La existencia de ciertos contaminantes puede causar inestabilidad en el ciclo de nutrientes y acidificación del suelo. En países de bajos y medianos ingresos, la falta de conocimiento e información hace que un problema global sea invisible para la comunidad internacional. El suelo se contamina con las concentraciones de algunos químicos o sustancias son mayores que en la naturaleza sin que necesariamente cause daño (Rodríguez et al., 2019, p. 1-3).

La crisis climática y las amenazas antropogénicas son los principales impulsores de la degradación del suelo. Se pronostican algunos efectos para América Latina con el incremento de temperaturas, que van desde los impactos en los bosques tropicales, pérdida de biodiversidad, la disminución en la producción agrícola y ganadero, cambio de patrones de precipitación y un impacto sobre la disponibilidad del agua. En Bolivia, Chile, Ecuador y Perú, alrededor del 27 al 43 por ciento del área pasan por dificultades de desertificación, afectando a una gran proporción de la población. El caso más importante es Bolivia, donde viven 6 millones de personas. es decir, el 77 por ciento de la población del país vive en las zonas afectadas. Además, la planicie costera del Perú sufrió los efectos perjudiciales de la salinidad y las inundaciones. (Comisión Europea, 2013).

En Perú la contaminación del suelo es totalmente causada por los productos químicos y otros residuos desechados por los seres humanos, a esto se suma el crecimiento del parque automotriz y mantenimiento. En el año 2018 se identificaron ocho mil 791 sitios contaminados por la liberación de

materiales o residuos, tres menos que lo registrado en el año 2017. En las últimas décadas, esto ha provocado que los bosques se reduzcan y reduzcan sus funciones ambientales, como dar cobijo y alimento a una infinidad de animales y microorganismos, proteger el suelo de los efectos de las lluvias constantes y ralentizar e impedir la velocidad del viento. el viento erosión, reduce las grandes fluctuaciones de temperatura, regula el flujo de agua y la economía (INEI, 2020).

Los servicios ecosistémicos que el suelo puede proporcionar con base en iniciativas científicas pueden reducir significativamente la contaminación del suelo. Cuanto más contaminado está el suelo, más estable es el alimento, porque afecta los rendimientos agrícolas, porque la contaminación y las toxinas son altas, y los cultivos producidos en suelo contaminado son peligrosos en la cadena alimentaria. diferentes elementos tóxicos (debido al proceso de extracción) se transportan desde el suelo a través del ciclo de agua, lo que afecta las aguas superficiales y subterráneas, provocando graves efectos ambientales y graves daños a la salud pública. Los contaminantes que ingresan al suelo también afectan directamente las características biológicas del suelo (organismos microscópicos y más grandes), reduciendo así casi toda la diversidad del suelo, minimizando los servicios a la ecología.

En Perú, el principal problema es el inadecuado manejo de los residuos sólidos, que son 19.000 toneladas diarias, de las cuales el 44 por ciento termina en vertederos, el 52 por ciento en vertederos y el 4 por ciento son utilizados. 27 de los 1,585 vertederos que se han identificado a nivel nacional fueron clasificados como áreas que pueden integrarse a una infraestructura formal de disposición de residuos sólidos. Ancash es el que más tiene con 149 rellenos sanitarios, seguido de Cajamarca con 149 y Puno con 111, pero Lambayeque (438 hectáreas) e Ica (276 hectáreas) son los más afectados por la expansión territorial. (Abanto, 2019).

En algunos casos, los rellenos sanitarios carecían de un plan de desarrollo, por lo que deben ser cerrados de acuerdo con la normativa porque continúan causando impactos socio ambientales. El organismo de vigilancia OEFA señala que los municipios presenten a las autoridades competentes los

programas para rehabilitar y manejar las áreas degradadas por residuos sólidos, para ello cuentan con ocho (8) meses a partir de la aprobación del manual. Y el plan de remoción de áreas contaminadas con residuos sólidos para aquellos municipios con vertederos aprovechables es de dos años a partir de la ordenación del instructivo para su elaboración.

Por todo lo expuesto es necesario generar estrategias que ayuden a conservar el suelo y sus servicios eco sistémicos, con tecnologías limpias y de fácil aplicación, de ahí que estimular la recuperación del suelo con la aplicación de lombricomposta por biorremediación es una alternativa biotecnológica que se plantea en esta investigación como aporte a un desarrollo sostenible.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA GENERAL**

¿Cuál es la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la biorremediación de la calidad del suelo usado como botadero?

### **1.2.2. FORMULACIÓN DE LOS PROBLEMAS ESPECÍFICOS**

¿Cuál es el diagnóstico de las propiedades físicas del suelo antes y después de la bioestimulación con lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la biorremediación del suelo?

¿Cuál es diagnóstico de las propiedades biológicas del suelo antes y después del uso del bioestimulante lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*)?

¿Cuál es el porcentaje de presencia de metales pesados del suelo antes y después de las muestras estudiadas?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Demostrar la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la biorremediación del suelo usado como botadero.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Realizar un diagnóstico de las propiedades fisicoquímicas del suelo antes y después de la efectividad bioestimulante con lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la biorremediación del suelo usado como botadero.

Realizar el diagnóstico de la efectividad bioestimulante con lombricomposta y fijador de nitrógeno en presencia de metales pesados del suelo antes y después de las muestras estudiadas.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

El ex botadero de Marabamba actualmente encuentra que la recuperación ha sido subóptima, lo que degrada la calidad del suelo, y es extremadamente importante darle una oportunidad para mitigar estos problemas y revitalizar el ecosistema.

La lombricomposta es una herramienta de aprovechamiento de desechos orgánicos y estiércol animal que se puede reciclar en el suelo y en menor tiempo. Es así como se producen los fertilizantes denominados “vermicompost” o “vermicompost”, que pueden sustituir en gran medida a los fertilizantes químicos, por lo que se han convertido en una tecnología que ayuda a conservar y mejorar los recursos del suelo (Fundación Produce Nayarit, s.f.).

Las técnicas de biorremediación in situ ofrecen una ventaja significativa sobre los sistemas ex situ debido a los costos mínimos y la baja generación de residuos para ser eliminados de la superficie. La biorremediación in situ es

la más utilizada y utiliza microorganismos originales que pueden degradar grandes cantidades de componentes del lodo en el suelo, pero su eficiencia y población se ven afectadas al presentar concentraciones elevadas de los contaminantes tóxicos. La recuperación de microorganismos aislados del sitio contaminado ayuda a resolver este problema, ya que los organismos suelen degradar los ingredientes y tienen una alta tolerancia a los contaminantes. Los métodos utilizados para biorremediación son: fitorremediación, biofiltración, bioventilación, bioaspersión, biopilas, bioestimulación, bioaumentación.

La biotecnología de fitorremediación es ecológica inofensiva que se diseñó para la limpieza de suelos contaminados. De igual forma, la restauración ambiental se vuelve necesaria para garantizar una mejor salud de la población y proteger el medio ambiente para las generaciones futuras. (Cristaldi et al. 2017). Del mismo modo, Ashraf et al. (2019) indican que “la fitorremediación es una técnica útil, no intrusiva y agradable en lo estético, que utiliza plantas herbáceas y árboles para limpiar y eliminar contaminantes del suelo”.

Zhang. et al. (2009) señala que “la alfalfa se usó para remediar suelos contaminados por metales pesados debido a su alta biomasa y extenso sistema de raíces, que se adapta bien a una variedad de entornos”. “En las últimas décadas, muchos estudios demostraron que la alfalfa si la planta es pequeña afectan al agua y al suelo porque puede absorber y acumulan metales pesados entre ellos; V, Pb, Cd, Cu, Ni, Zn.

La investigación “Efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador de nitrógeno (*rhizobium etli*) sobre el suelo contaminado permitirá determinar si los suelos contaminados son restaurados, lo que permitirá resolver hipótesis, como también, dar aporte al desarrollo sostenible y preservación del ecosistema.

Los resultados del trabajo de investigación se utilizan como material auxiliar en nuevos estudios que utilizan la biorremediación, se combinan con nuevas tecnologías y se encuentran mejores soluciones al problema de la contaminación del suelo.

## **1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

Información escasa de antecedentes locales y otras investigaciones en el tema de investigación.

No hay laboratorios especializados para los análisis de suelos por parte de nuestra universidad.

## **1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN**

La viabilidad de la investigación está sometida a los recursos disponibles para poder llevarla a cabo, las cuales se identifican de la siguiente manera:

### **1.6.1. VIABILIDAD AMBIENTAL**

El suelo contaminado con residuos orgánico e inorgánicos es un problema ambiental que puede ser estudiado y analizado para poder proponer estrategias que ayuden a su restauración de manera ecológica.

### **1.6.2. VIABILIDAD OPERATIVA**

La investigación se ve viable operativamente, ya que se plantea una solución que tenga efectos positivos y puede ser aplicada de manera sencilla.

### **1.6.3. VIABILIDAD TÉCNICA**

El asesoramiento de docentes conocedores del tema de investigación y aplicación del método científico hace viable técnicamente su desarrollo.

### **1.6.4. VIABILIDAD ECONÓMICA**

El desarrollo del proyecto de investigación es factible ya que se cuenta con los recursos financieros para cubrir el proceso de la investigación.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Coyago (2020) en su investigación titulada “Determinación de organoclorados por bioacumulación en dos especies vegetales (lactuca sativa l) y (medicago sativa) en procesos de fitorremediación en suelos agrícolas” para la Universidad Técnica de Cotopaxi de Latacunga – Ecuador. Cuyo **objetivo** fue Determinar la concentración de organoclorados por bioacumulación en dos especies vegetales de lechuga (*Lactuca sativa* L) y alfalfa (*Medicago sativa*) en procesos de fitorremediación. La **metodología** inductiva permitió conocer las propiedades generales de los contaminantes orgánicos clorados (CO) provocados por las actividades florales en campo y proporcionó información sobre el grado de contaminación del suelo. Se determinó un área de estudio para evaluar la bioacumulación de OC y se trasladó a través de los procesos a la siembra de plantas seleccionadas (*Lactuca sativa* L) y (*Medicago sativa*) sembradas en octubre. Los **resultados** muestran que el uso de plantas como lechuga *Lactuca sativa* L y alfalfa *Medicago sativa* promueve la bioacumulación de organoclorados OCs, dando valores como *Lactuca sativa* L Salado kajlt; 0 0002 *Medicago sativa* Alfalfa andlt; 0 0002 que los valores se encuentren dentro de los límites máximos de la LMP según la normatividad ambiental vigente en el Ecuador.

##### 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Bendezú (2021) en su tesis “*Remoción de Suelo Contaminado con Cadmio, mediante Fitorremediación con Helianthus annuus Y Medicago sativa*” en la Universidad Cesar Vallejo-Perú. Tuvo como **objetivo** evaluar la remoción de suelo contaminado con cadmio, mediante fitorremediación con *Helianthus annuus* y *Medicago sativa*. En la

**metodología** la investigación fue trabajada la técnica ex situ en macetas para la especie vegetal. El diseño de investigación cuantitativo con un enfoque experimental debido a que se evalúa la capacidad de las plantas *Helianthus annuus* y *Medicago sativa* para la remoción de cadmio proveniente de un suelo contaminado. Las semillas recolectadas fueron sembradas en una bandeja de germinación para su posterior trasplante a macetas. Las semillas ya germinadas se trasplantaron a 9 macetas con capacidad de 5 kg c/u. En cada macetero se agregó 30 gr de abono (humus) para ayudar al desarrollo de las plantas. este proceso tuvo una fase experimental durante 40 días. Los **resultados** obtenidos de remoción de cadmio con (95 %) en el tratamiento con 2 plantas, mientras que el (97%) con 4 plantas y (100 %) con 6 plantas de *H. annuus*. Se removi6 con *M. sativa* en (92%) con 2 plantas, con 4 plantas un (87%) y con 6 plantas un (99 %); en las plantas combinadas se obtuvieron valores de remoción en (86 %) con 2 plantas, un (87 %) con 4 plantas y un (99 %) con 6 plantas, Concluyendo que estas especies vegetales son capaces de remover de cadmio del suelo siendo de mejor manera con el *Helianthus annuus* usando 6 plantas.

Pomari y Sambrano (2019) en su tesis “Evaluación de la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*Medicago sativa*) y r6bano (*Raphanus sativus*) sobre la remoci6n de Hg en suelos contaminados por actividad minera” en la Universidad Peruana Uni6n – Per6. Tuvo como **objetivo** evaluar la capacidad fitoextractora de la alfalfa (*medicago sativa*) y r6bano (*raphanus sativus*) sobre la remoci6n de Hg en suelos contaminados por actividad minera. La **metodolog6a** fue de tipo experimental, porque las variables se manipulan bajo condiciones controladas para observar el efecto de las variables sobre la respuesta al tratamiento administrado. La determinaci6n de la germinaci6n es el m6todo m6s com6n para evaluar la calidad org6nica de las semillas. Se requirieron 2 kg de muestra para el panel # 1. Suelo contaminado (SC) y 2 kg de suelo pretratado (SP) para la siembra de alfalfa, similar al panel # 2, muestra 2 kg de suelo contaminado (SC) y 2 kg. suelo preparado (SP) para la siembra de r6bano, muestra 1 kg para el plato n6 3. de suelo contaminado (SC) y 3

kg de suelo pretratado (SP) para la siembra de alfalfa, finalmente 1 kg de muestra en el plato n° 4. de suelo contaminado (SC) y 3kg. suelo preparado (SP) para plantar rábano. El experimento constó de 4 tratamientos (T1, T2, T3 y T4) 2 de cada planta extrajeron especies de alfalfa (*medicago sativa*) y rábano (*raphanus sativus*), (T1) se tomó una muestra a 25 grados de alfalfa, (T2) a 50 grados . . . alfalfa, (T3) con 25% de rábano y finalmente (T4) con 50 % de rábano, así mismo realicé 3 ejemplares en cada tratamiento, haciendo un total de 12 unidades experimentales (macetas), las cuales fueron evaluadas después de la fase experimental. el tratamiento duró 10 semanas, al final del experimento se analizó la concentración de Hg en un laboratorio acreditado. El resultado de la fitoextracción muestra que la siembra de alfalfa cultivada en T2 elimina mayores concentraciones de mercurio, 58,72% de diferencia con los tratamientos T1, T3 y T4, por lo que podemos concluir que estos dos métodos de siembra dan resultados positivos. eliminación de suelo.

Curasi y Luque (2019) en su tesis *“Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz”* para la Universidad Peruana Unión – Perú. Cuyo **objetivo** fue comparar la efectividad de tres bioestimuladores (compost, lombricompost y abono verde) en suelos contaminados con aceite de automotriz usado. Para la **metodología** se construyó biopilas separadas de (30x25x15cm) con contenido de 80 % del suelo y 20 % del bioestimulador. Y en cada biopila se incorporó 1L de aceite de automotriz. Midiendo antes y después de los tratamientos. Cada parámetro físico (pH, conductividad eléctrica, capacidad de campo, humedad y temperatura). También, fue analizado la fracción de hidrocarburos por el Método EPA METODO 8015-C Rev. 3.2007. Obteniendo por **resultados** del pH mostraron un incremento en 13.7%, 20.2% y 8.5%, para abono verde, lombricompost y compost, respectivamente. Así mismo, se observó un aumento de 19.3% (abono verde), 15.68% (lombricompost) y 8.2% (compost) para CE. En contraste, la capacidad de campo presentó reducción del abono verde (9.14%),

lombricompost (8.92%) y compost (7.4%). En humedad, también se observaron disminución para todos los bioestimuladores. En la eliminación de hidrocarburos, el abono verde presentó mayor eficiencia con (27%) que el lombricompost en (20%) y compost (20%), **concluyendo** que el abono verde es el método más efectivo para la eliminación de hidrocarburos.

### 2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Tello (2021) en su investigación “Efecto de la fitorremediación con dos variedades de ortiga (*urtica urens* L.) y (*urtica dioica* L.) en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto” En la Universidad de Huánuco. Tuvo por **objetivo** demostrar el efecto de la fitorremediación con dos variedades de ortiga (*Urtica urens* L. y (*Urtica dioica* L.) en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto. La **metodología** fue experimental, usando 2 grupos experimentales con 4 repeticiones. Analizó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del suelo, y 3 metales pesados (plomo, cadmio y zinc) comparados con ECA-Suelo. Obtuvo por **resultados** del análisis mecánico inicial y final el suelo se cataloga en textura franco arenoso con ambas variedades de ortiga, tuvo reducción de 80.5 ppm de Pb. y de 1.64ppm Cd con *Urtica urens* L y 92.5 ppm de Pb. y 1.575 ppm de Cd con *Urtica dioica* L.; el pH pasó de ligeramente alcalino (7.39) a moderadamente alcalino (7.9) con *Urtica urens* L, mientras que con *Urtica dioica* L. el pH paso de 7.38 a 7.8, manteniéndose ligeramente alcalino. El suelo de *Urtica urens* L. tuvo valores de M.O.= 0.195, N = 0.0075%, P = 06 ppm y K = -7.5 ppm, mientras que el de *Urtica dioica* L. dtuvo M.O.=0.4975 ppm; N = 0,0075 %; P = 11.75 ppm y K = 44.25 ppm. **Concluyendo** que *Urtica urens* L. tuvo efecto sobre los indicadores químicos del suelo (pH; M.O.; P; N; K), redujo metales pesados (Pb y Cd) y estimuló a los microorganismos benéficos mientras que *Urtica dioica* L. tuvo mínimos efectos en los mismos indicadores.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. BIORREMEDIACIÓN POR BIOESTIMULACIÓN**

#### **2.2.1.1. BIORREMEDIACIÓN**

Thieman & Palladino (2010) mencionan que la biorremediación es un método biotecnológico relativamente nuevo y muchas pequeñas empresas se dedican a diversos puntos de vista de esta área. La biorremediación es un campo multidisciplinario que requiere el trabajo organizado de muchos científicos diferentes, incluidos microbiólogos, químicos, científicos de campo, científicos ambientales, hidrólogos e ingenieros. Los especialistas en microbiología y la biología molecular trabajan conjuntamente para la realización de la investigación con ello entender cada mecanismo que utilizan los organismos microbiológicos para descomponer algún contaminante. Los biólogos se asocian con ingenieros para el diseño e implementar las mejores instalaciones para limpiar los contaminantes.

Además hacen mención que usar microorganismos vivos como hongos, bacterias, y plantas que descomponen los agentes químicos se le llama biodegradación. Se beneficia de la reacción químicas naturales y métodos por lo cual cada organismo descompone los componentes en energía y nutrientes. Por ejemplo, existen bacterias capaces de metabolizar azúcares para formar trifosfato de adenosina (ATP), lo cual se usa como fuente energética para las células. Y de descomponer los ingredientes naturales para la obtención de energía, muchos organismos desarrollaron reacciones metabólicas únicos que se pueden usar para descomponer los productos químicos creados por el hombre. La biorremediación es un proceso en el cual los ambientes contaminados con agentes químicos son limpiados por microorganismos que descomponen los elementos tóxicos peligrosos en elementos menos contaminantes (p. 290).

### **2.2.1.2. BIOESTIMULACIÓN**

El incremento de nutrientes, es conocido como fertilización, tiene orientación de biorremediación en la cual se agregan fertilizantes como fósforo y nitrógeno a un ambiente contaminado, que las plantas utilizan para dar estímulos al desarrollo de microorganismos que descomponen los agentes de contaminación. Se debe a que los microorganismos buscan grandes cantidades de componentes claves como nitrógeno, fósforo, carbono, hidrógeno, y oxígeno para la construcción de macromoléculas, el fertilizante agregado proporciona a los microorganismos de biorremediación los elementos que necesitan para su reproducción y crecimiento. En diferentes ocasiones, se pueden agregar astillas de madera y pajas que proporcionan la fuente de carbono para que los microbios las usen como fertilizante. Los fertilizantes generalmente se esparcen alrededor del área contaminada bombeándolos al agua subterránea o mezclándolos con el suelo. El concepto de fertilización es simple. Con la adición de nutrientes, los organismos tienen la reproducción, multiplican y se desarrollan con rapidez, aumentando la tasa de biodegradación.

La bioaumentación también conocido por siembra, tiene otra perspectiva que agrega bacterias a un ambiente con contaminación para promover la biodegradación microbiana natural. En algunos casos, la siembra puede conducir al uso de microorganismos genéticamente modificados con capacidades singulares para la biodegradación. Al bioaumentar no siempre es la solución más eficiente, debido a que las cepas microbianas creadas en un laboratorio rara vez se desarrolla y es biodegradada como las bacterias originales, y los investigadores tienen que asegurarse de que los microorganismos sembrados no cambien la naturaleza del medio ambiente abandonados posterior a su cultivo la contaminación desaparece.

### **2.2.1.3. LOMBRICOMPOSTA**

Thieman & Palladino (2010) mencionan que el compostaje puede ser usado para descomponer los desechos de hogares, tales pueden ser restos de comida y recortes de pastos, y se utilizan métodos parecidos para descomponer los elementos químicos de la tierra contaminada. En una pila de compost, se agrega heno, paja y diferentes materiales al suelo para proporcionar nutrientes a los microorganismos ayudándoles a descomponer los químicos. Las estrategias de plantación incluyen expandir el suelo contaminado en una almohadilla para permitir que el agua y los lixiviados se drenen fuera del campo. El fin primordial de este método es recolectar los lixiviados para que el agua cargada de contaminantes ya no contamine el medioambiente. Porque el suelo contaminado se esparce en una capa más delgada que bajo tierra, el cultivo puede permitir que los químicos sean evaporados del suelo y lo airea para que los microorganismos sean capaces de descomponer eficientemente contaminantes (p. 217-218)

Por otro lado Vargas-Machuca et al. (2014) agrega que el vermicompostaje o lombricompostaje en sus diversas acepciones son procesos biotecnológicos de costo mínimo permitiendo la biodegradación y estabilización del residuo orgánico en presencia de oxígeno y mesófilas por medio de acciones con diferente especie de lombriz que son capaces de comer residuos y acelerar su descomposición. Así, en tal proceso se aprovechan las capacidades de descomposición de lombrices, que absorben, descomponen y digieren los residuos orgánicos, la descomposición se da por medio de acciones enzimáticas de su sistema digestivo y de la microflora con y sin presencia de oxígeno, lo cual se encuentra al interior de su intestino. El compost de lombrices son acciones de las lombrices en la que convierten el residuo orgánico en vermicompost, conocido también como humus de lombriz, totalmente orgánico que se caracteriza por su importancia en la agricultura además de ser una

enmienda de suelos, no debe ser confundido con el vermicultivo, lumbricultivo, o la lombricultura, cuyas finalidades son extender la crianza de lombrices y no persiguen la bioestabilización de los residuos utilizado de alimento de las mismas; aunque en ocasiones esos fines son logrados al mismo tiempo (p. 15).

## **2.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LA LOMBRICOMPOSTA**

Las principales características a evaluar según Vargas-Machuca et al. (2014) del residuo orgánico que va a ser lombricomposta son las siguientes:

### **a) Humedad**

Es necesario una humedad del residuo que supere el 50% (mejor condición de 70 a 90%) debido a que la lombriz tiene mecanismos de intercambios gaseosos que se da por medio de su epidermis. Ello implica que el residuo orgánico deba tener un alto grado para absorber y retener agua, por ello la humedad tienen que ser revisada pre inicio de los procesos de vermicompostaje, basado en los requerimientos óptimos de la lombriz de tierra que vaya a ser utilizada en tal proceso.

### **b) Estructura física**

Los residuos deben tener la estructura física lo suficiente lleno de poros para permitir el paso del aire y la evacuación del exceso de agua durante el proceso, así como el movimiento de las lombrices. Los nematodos requieren una concentración de oxígeno del 55-65 %, por lo que es importante una aireación óptima del residuo. Los residuos que no permitan el libre tránsito del aire deberán tener un acondicionamiento mezclándolos previamente con otros tipo de residuos que actúen como estructurantes.

### **c) pH**

Los valores del pH en el residuo afectan los procesos de vermicompostaje puesto que la lombriz muestra rangos de tolerancias a

este factor, con valores de pH óptimos en la que se pueden desarrollar y reproducir de manera más eficiente.

#### **d) Carbono y nitrógeno**

Diversos estudios pudieron demostrar que cuando la relación C/N de varias lombrices se acerca al valor óptimo requerido para su desarrollo, son más efectivas en el vermicompostaje de desechos orgánicos. En general, los residuos orgánicos con relaciones C/N entre 20 y 30 se consideran aceptables para el desarrollo de gran parte de especies de nematodos, pero los residuos con relaciones C/N fuera de este rango pueden afectar excesivamente el desarrollo como también la reproducción y los parásitos podrían afectarse de modo negativo. Los residuos orgánicos con bajas relaciones de Carbono/Nitrógeno o alto contenido de proteínas promueven la descomposición acelerada y el calentamiento de los materiales, lo que es letal para las lombrices de tierra. En tales casos, las mezclas de 2 residuos relacionados de C/N complementarias hace que la matriz orgánica que resulta sea más óptima para que se desarrollen las lombrices de tierra que los residuos individuales.

#### **e) Concentración de sales**

La salinidad del residuo orgánico en la que da el desarrollo de lombrices en el proceso del vermicompostaje pueden desequilibrar su composición iónica del fluido interno de estas oligoorugas. Esto se debe a que las lombrices de tierra tienen poca capacidad para osmorregular y registrar las sales que transportan a través de su piel con el agua. Por este motivo, la alta salinidad de los residuos orgánicos puede interferir en su tratamiento por parte de las lombrices.

#### **f) Concentración amoniac y amonio**

La cantidad alta de amoniac, o protonada, elión amonio, dentro del residuo resultan enormemente tóxicos para gran parte de las lombrices.

### **g) Concentración de sustancias o elementos tóxicos**

Los residuos orgánicos de vermicompostaje pueden contener, incluso en pequeñas cantidades, los siguientes elementos y sustancias: B. Metales pesados, fenoles, pesticidas, y otras. Tales sustancias causan fluctuaciones sobre la metabolización de los nematodos, lo que afecta el crecimiento, el desarrollo sexual, la formación de cápsulas como también su supervivencia de los nematodos. Pequeñas cantidades de metales absorbidos se absorben en los tejidos por medio de una absorción del intestino. Si se utiliza como proteína animal o como complemento de la alimentación animal, se recomienda ajustar los niveles de metales dentro del residuo de vermicompost. Y, gran parte de estos metales se liberan al medio ambiente a través de los excrementos de lombrices y pueden afectar negativamente la calidad del compost de lombrices resultante.

### **h) Actividad biológica**

Agrupar residuos específicos primero y humedecerlos para lograr un contenido de humedad óptimo para los nematodos conduce a una multiplicación microbiana intensiva, lo que resulta en una bioactividad intensa dentro del suelo. Es un residuo de descomposición lenta que libera sustancias nocivas para los insectos y que también puede provocar un propio calentamiento en exceso del residuo. En tal caso, los residuos deben ser pre-compostados previamente y la inoculación de nematodos debe realizarse después de que se complete esta primera etapa de activación de residuos y biodegradación intensiva.

#### **2.2.2.1. FIJADOR DE NITRÓGENO**

Fernández-Canigia (2020) sostiene que El nitrógeno es el gas más abundante en la atmósfera. Representando un 78 % de los gases que conforman el aire. Entra en el suelo de manera natural por medio de la lluvia al romper los enlaces triples con las tormentas eléctricas y el arrastre posterior, o combinándose con elementos gaseosos. Otro modo de invasión viene por el abono orgánico e inorgánico (abonos), y la fijación biológica, que sólo pueden realizar

los procariotas. Estos elementos orgánicos (estiércol animal, tocones, estiércol orgánico) son degradados por los organismos del suelo, lo que resulta en la mineralización (conversión de nitrógeno orgánico en nitrógeno inorgánico) del nitrógeno que los constituye. En primer lugar la amonificación, donde los organismos en descomposición descomponen la materia orgánica muerta para liberar amonio  $\text{NH}_4$ . El amonio  $\text{NH}_4$  tiene carga positiva y, por lo tanto, se retiene en la arcilla. El amonio es producido por ciertas bacterias como el género *Nitrobacter*. Se oxida a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ). Luego se convierte en nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) con *Nitrosomonas* y *Nitrococcus*. Juntos, de 2 procesos son denominados nitrificación. La fijación biológica es la conversión de nitrógeno atmosférico en amonio a través del proceso por organismos microscópicos de vida libre o que se asocian a raíces o por simbiosis con plantas de la superficie (p. 15).

#### **2.2.2.2. FIJACIÓN SIMBIÓTICA DE NITRÓGENO**

El proceso de simbiosis con cualidad de fijar biológicamente el  $\text{N}_2$  de gran valor agronómico se da entre plantas de la familia de Leguminosas (arvejas, lentejas, alfalfa, soja, lupino, trébole, vicia, maní, entre otros.) estas contienen bacterias del género *Rhizobiaceae* o rizobios.

Las leguminosas tienen la capacidad de vivir en simbiosis con bacterias para formar órganos especializados que realizan la fijación biológica de nitrógeno de la atmósfera, aumentando así el contenido de nitrógeno del suelo al eliminar la necesidad de adiciones de nitrógeno en el cultivo. método ecológico para Fertilizante de nitrógeno. Por ello, también se utilizan para remediar suelos degradados (Requena et al., 2002). Recientemente, también se ha propuesto como descontaminante del suelo debido a que varios géneros de leguminosas son tolerantes a los metales pesados.

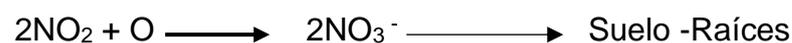
**Figura 1**  
Fijación biológica de Nitrógeno atmosférico



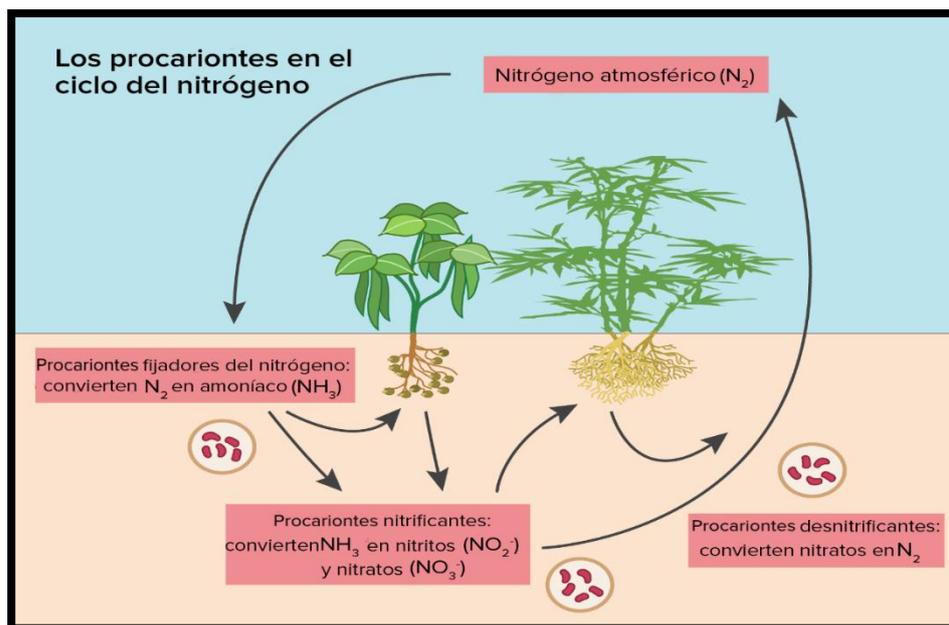
**Nota:** Los sistemas suelo-planta varían, lo que va a determinar su método de fijación de N<sub>2</sub>. Convencionalmente (Fernández-Canigia, 2020, p. 18).

La cantidad de nitrógeno fijada anualmente depende del ciclo de vida (anual o plurianual), las cantidades de biomasa aérea que se produce y la condición ambiental. Los cálculos de la disponibilidad de N debida a la fijación biológica de N<sub>2</sub> en la atmósfera es realizada por medio de diversos métodos, uno de los cuales se basa en la cuantificación del isótopo <sup>15</sup>N y considera únicamente la fracción del aire. Por lo tanto, también se debe considerar la cantidad de N debido a la fijación biológica que llega a la raíz y los nódulos. Por lo que, cada valor real es de modo significativo o más altos que los informados por varios autores y pueden variar de diferentes fuentes bibliográficas.

Reacción química



**Figura 2**  
Proceso cíclico donde el nitrógeno se incorpora al suelo



**Nota:** Fijación: Microorganismos convierten en  $N_2$  en  $NH_3$ ; Nitrificación: Microorganismos transforman el amoníaco en nitrito y nitrato; Desnitrificación: Realizado por bacterias y hongos que descomponen los nitratos, cerrando el ciclo.

### 2.2.3. ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.)

Rebuffo et al. (2000) sostiene que la alfalfa es una leguminosa que crece en verano y tiene un alto potencial forrajero. Como todas las leguminosas, satisfacen sus necesidades de nitrógeno por simbiosis con bacterias llamadas rizobios.

La alfalfa (leguminosas) acumulan grandes cantidades de metales en los tallos y raíces, dando gran variación dependiendo de las especies utilizadas para extraer y purificación del suelo (Lopez, 2019).

A lo que Basigalup, (2007) agrega que la promoción de este cultivo se sustenta en gran rendimiento de materia seca (MS) ha<sup>-1</sup>, gran calidad de forraje y excelente para adaptarse a diferentes condiciones de ambientes (suelos, climas y manejos). Para producir grandes cantidades de forraje, la alfalfa requiere suelo profundo (>1,2m), bien aireado, reacción bastante neutra (pH 6,5 - 7,5) y buena fertilidad (especialmente P, y en menor medida S). Si la condición ideal se desvía de este rango ideal, los rendimientos y la vida útil del cultivo se reducirán. Las

deficiencias de nutrientes a menudo se pueden compensar con la acidificación del suelo mediante la fertilización y la adición de calcio. La salinidad adecuada permite la siembra de variedades con cierta tolerancia y la implementación de la estructuración de áreas, incluida la construcción de canales de drenaje para el lavado del suelo.

- **Morfología de la alfalfa**

**Tabla 1**  
*Taxonómica de la alfalfa*

<b>Reino</b>	Vegetal
<b>División</b>	Magnoliophita
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Subclase</b>	Rosidae
<b>Orden</b>	Fabales
<b>Familia</b>	Leguminosae
<b>Subfamilia</b>	Papilionoideae
<b>Tribu</b>	Trifolieae
<b>Género</b>	Medicago
<b>Especie</b>	Sativa

**Nota:** La clasificación taxonómica alfalfa según (Flórez, 2015)

- **Organografía de la alfalfa**

La estructura de la alfalfa está dividida en semilla, raíz, corona, tallo, hoja, flor y fruto (Basigalup, 2007). La característica distintiva de esta especie es su elevado contenido de nitrógeno total. El nitrógeno total está presente principalmente en las hojas de manera exclusiva en forma de proteínas y aminos. En comparación con otras especies, las dietas de alfalfa tienen un mayor contenido de proteínas y, por lo tanto, mayores requerimientos de nitrógeno.

**a) Semilla**

El fruto, a este se le denomina legumbre, lo cual origina a las semillas, estas poseen por lo general una forma de riñón amarillento, sin embargo, se puede hallar semillas con forma angular y con colores que varían desde la verde oliva hasta marrón.

## **b) Raíz**

Comúnmente el sistema de raíces de la alfalfa es duro y sumergida con profundidad para aprovechar la absorción del agua. Si el perfil del suelo no está obstruido, las raíces pueden alcanzar alturas de 2 a 5 metros con una vida útil de solo 2 a 4 años. Como resultado, la alfalfa se ha ganado la reputación de ser tolerante a la sequía, ya que puede extraerse de las capas más profundas del suelo. La raíz primaria de la alfalfa se desarrolla cerca del filo y pudiendo o no dar lugar a una cantidad variable de raíces accesorias o laterales. Los sistemas de raíces de alfalfa generalmente se pueden dividir en 4 tipos. La pivotante o típica (axonal), ramificada, rizomatosa y rastrera.

## **c) Tallo y Corona**

El tallo primario tiene forma cuadrada de manera transversal y tiene estomas y pelos. Además del crecimiento primario, existe el crecimiento secundario, dando como resultado la formación del eje leñoso o parte perenne dando forma partiendo de la copa. La parte herbácea tiene nudos de los que emergen las hojas. La cantidad de tallos va depender de la tiempo y fuerza de las plantas pudiendo llegar a 20. Los tallos suelen ser enormes.

La corona es más que estructura simple o singular, es también una zona compleja formada por múltiples estructuras distintas. Una descripción morfológica exacta del dosel es de poca importancia, ya que la sequía de verano e invierno se puede suponer independientemente de las partes de la planta involucradas, el frío, los métodos de cultivo y la prevalencia de alguna plaga y enfermedad. Además, la fuerza general y la edad de la planta afectan la cantidad y la edad. Tipos de partes de la planta que pueden interferir con la estructura.

## **d) Hoja**

Las primeras hojas de las plántulas de alfalfa son simples y esféricas. El segundo y posterior son pinnados o no pinnados y surgen de la parte superior del tallo. Posterior a ello, cuando la planta se

desarrolló por completo, las hojas suelen emerger de la parte superior del tallo o de la yema lateral en el nudo del tallo. Las hojas están unidas al tallo por pecíolos y generalmente son tripetas o compuestas de 3 pecíolos. Los folíolos suelen ser oblongos u obovados, aún se presentan una variedad de formas, desde circulares hasta obovadas, oblongas e incluso lineales.

#### **e) Flor**

La flor tiene se desarrolla al llegar la etapa vegetativa al reproductivo del ápice del tallo. Tal cambio, se le conoce transición, inicia al aparecer de alguna protuberancia en las axilas del primordio foliar, cerca al ápice del tallo.

#### **f) Fruto**

Conocido como legumbre o vaina, seco, por lo general alargados y comprimidos, sus semillas están en línea a las hileras ventrales. La vaina desarrollará una espiral que por lo general poseen una espira de autofecundación y tres a cinco vueltas de fecundación cruzada. Se direcciona la espira pudiendo ser dirigida en sentido horario como también antihorario. Los frutos van a contenes diversos variables de semillas en forma de riñones: 2-3 que auto fecundan y aproximadamente nueve semillas frecuentemente cruzadas.

### **2.2.4. CALIDAD DEL SUELO**

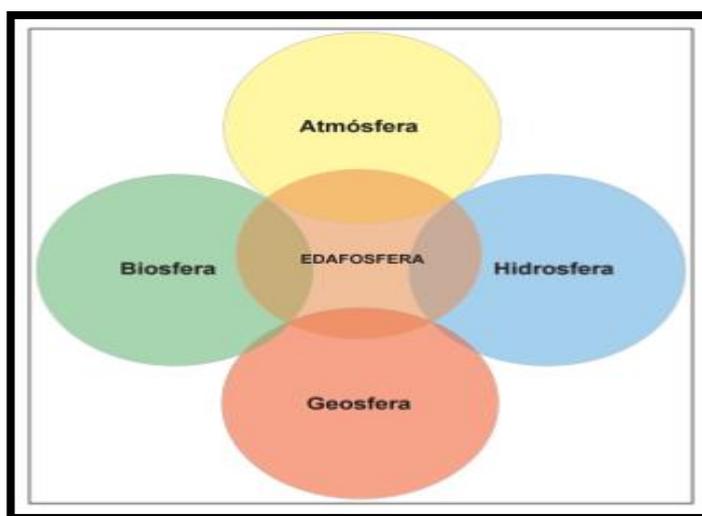
#### **2.2.4.1. SUELO**

Según Jiménez (2017) El suelo es un cuerpo natural, tridimensional y dinámico que cubre la superficie como una epidermis. Es un sistema abierto, bastante complejo, de carácter estructural y, además de ser multifuncional. Es un recurso natural muy importante ya que tiene muchas funciones que distinguen para producir alimentos. Y, juega un papel clave en el mantenimiento de la vida y siendo de suma importancia para el medioambiente. Por lo general, los suelos con contaminación o no, van a conter una amplia

variedad de compuestos naturales, incluidos metales, no metales, iones y sales inorgánicos (fosfatos, sulfatos, carbonatos, nitratos). Los orgánicos (lípidos, hidrocarburos, ácidos grasos, alcoholes, entre otros). Tal conjunto de compuestos se produce principalmente por diferentes procesos resultantes de la actividad de los microbios del suelo y para descomponer los organismos (principalmente vegetales y animales). Cuando la cantidad de algunos de estos contaminantes ocultos en el suelo excede el nivel natural, se dice que está contaminado. Por otro lado, cuando grandes cantidades de diversos compuestos ingresan al suelo desde diversas fuentes, como combustible, derrames, actividades agrícolas, etc., se denomina contaminación del suelo. De esta forma, la principal causa de la contaminación del suelo suele ser antropogénica.

**Figura 3**

*La Edafosfera en el centro de la interfase de integración de los demás sistemas*



**Nota:** La edafosfera es la capa de suelo, la interfase entre la geosfera, atmósfera, biosfera e hidrosfera en la llamada zona crítica o parte más dinámica y superficial de la Tierra (Jiménez Ballesta, 2017, p. 3).

Navarro & Navarro (2013) menciona que la calidad del suelo no tiene estabilidad. Esto puede variar en un pequeño período de tiempo va depender principalmente de los usos y la práctica cultural. Mantenerlo e incluso mejorarlo traerá favores, económicos, también en términos de producción, uso totalmente racional de agregados y

pesticidas, mejorar la calidad del aire y del agua, y reducir la emisión de gases del efecto invernadero.

La evaluación de la calidad del suelo se percibe generalmente a través del aumento o deterioro de algunas de sus propiedades. Por ejemplo, la tasa de permeación se puede mejorar aumentando el tamaño de los macroporos, lo que da como resultado una estructura mejorada y mayores cantidades de materia orgánica. Sin embargo, también se pueden reducir la densidad aparente, la resistencia de agricultura, el desarrollo de las raíces y la pérdida de nutrientes. Además de los cambios indicados, se incluyeron otros indicadores ecológicos y biológicos, como la diversidad genética, el rendimiento de los cultivos, el vigor de las plantas y el desarrollo de las raíces, y la calidad del agua de escorrentía o infiltración desde la superficie del suelo, se puede lograr una mejor calificación. a un nivel inferior.

La calidad del suelo es posible evaluar utilizando indicadores que reflejan cambios en la capacidad y función del suelo. Los indicadores comúnmente utilizados corresponden a las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

**Tabla 2***Indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad del suelo*

<b>Propiedad</b>	<b>Relación función/condición</b>
<b>Indicador físico</b>	
Textura	Retiene y transporta agua, nutrientes. Erosión del suelo
Profundidad del suelo	Estima de potencial productivo y erosión superficial.
Infiltración y densidad aparente.	Potencial de lixiviados, producción y erosión
Capacidad de retención de agua.	Relación del contenido de humedad, transporte y erosión; humedad, textura y M.O.
<b>Indicador químico</b>	
Materia Orgánica (N y C total)	Fertilidad de los suelos, estabilidad y erosión. Potencial de producción
pH	Límite para la actividad química y biológica para de crecimiento de la planta y actividades microbiológicas.
CE, P, N, K extraíbles	Actividad vegetal y microbiológica. Cantidad de nutrientes disponible Indicador de calidad ambiental
<b>Indicador biológico</b>	
C y N de la biomasa microbiana.	Potencial catalizador microbiano. Repone de C y N.
Respiración, humedad y temperatura.	Mide la actividad microbiana. Estimación de la biomasa
N mineralizable	Productividad del suelo. Cantidad de N.

**Fuente:** La identificación es complicada por diversos factores fisicoquímicos y biológicos dan control los procesos biogeoquímicos y sus cambios en intensidad respecto al tiempo y espacio. (Navarro & Navarro, 2013).

### **a. Indicadores físicos**

Las propiedades físicas del suelo son una parte necesaria para evaluar su calidad. Los indicadores de la calidad del suelo son características que muestran en modo en que el suelo absorbe, retiene y transfiere el agua a los vegetales, estos se encuentran en el desarrollo de raíces, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil, y también están relacionados con la ubicación. característica que refleja las restricciones sobre Estado de partículas y poros. El tipo estructural, la densidad aparente, la estabilidad de los agregados, la permeabilidad, lo profundo del subsuelo, la capacidad de retención de agua y la conductividad

hidráulica saturada se muestran como propiedades físicas y son estos indicadores de la calidad del suelo.

#### **b. Indicadores químicos**

Se relacionan con este tipo de condiciones que afecta la relación suelo y planta, calidad y cantidad del agua, la capacidad de amortiguación del suelo y nutrientes para los vegetales y los organismos microscópicos. Diversos indicadores incluyen los nutrientes disponibles, carbón orgánico total, el carbón orgánico lábil, potencial de hidrogeno, la conductividad eléctrica, la capacidad de adsorción de fosfato, CIC, cambios en la materia orgánica, el nitrógeno total e inorgánico que se puede convertir.

#### **c. Indicadores biológicos**

Los indicadores biológicos propuestos tienen en cuenta varios factores los cuales producen cambios en la calidad del suelo, como la cantidad y los subproductos de organismos microbianos y macromicrobianos como bacterias, lombrices, hongos, nematodos, anélidos y artrópodos. Lo que incluye características como la frecuencia respiratoria, el ergosterol y otros derivados fúngicos, la tasa de degradación de los residuos orgánicos, el N y el C de la biomasa microbiana.

### **2.2.4.2. SUELO CONTAMINADO**

Un suelo está contaminado cuando forma parte del proceso de degradación y cambios es sus características según lo sostiene Jiménez (2017) Una vez que un suelo alcanza la madurez y el equilibrio, puede mantener dinámicamente ese estado durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, tal equilibrio se puede alterar con facilidad por prácticas fundamentalmente del hombre humanas (agricultura, industria, minas, ganadería, etc.). Este impacto negativo sobre el suelo se denomina "degradación". Es todo proceso produce la reducción cuantitativa y cualitativamente la

capacidad normal y potencial del suelo para la producción de bienes y servicios. Se necesita el control de estos procesos de degradación, dado que los suelos se forman y regeneran muy lentamente, mientras que la degradación ocurre mucho más rápido y puede llegar incluso a la destrucción. (p. 5).

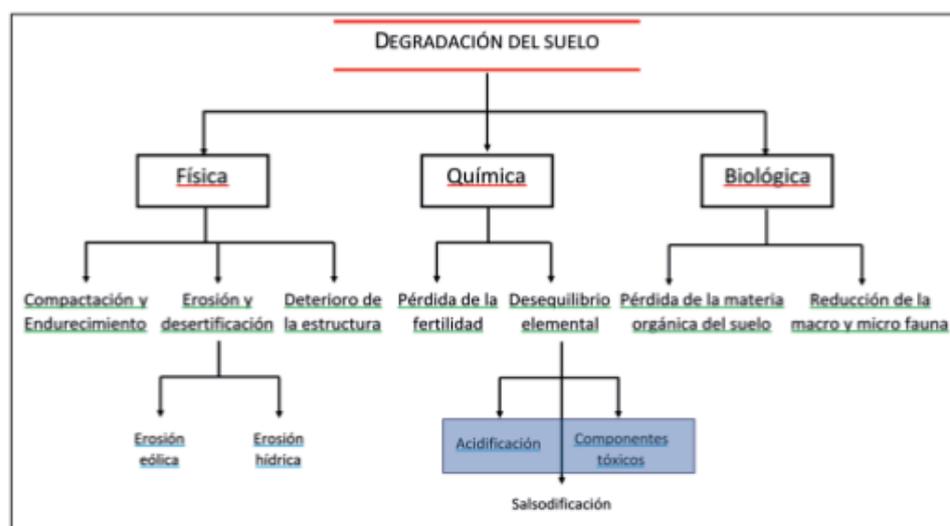
Los suelos contaminados se entienden como los cambios químicos, uno o más procesos que conducen a la pérdida de producción. Esto sucede cuando la tierra absorbe concentraciones de sustancias tóxicas que sobrepasan la capacidad propia de limpieza. Por lo cual, que se acumule sal se considerar una forma de contaminación.

Aunque no existe una definición universalmente aceptada de contaminación del suelo, la contaminación del suelo se refiere a las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del suelo que, en última instancia, afectan a las personas, la flora, fauna y el medioambiente en general. Se define como un cambio no deseado. Será un proceso que reduzca posibles usos relacionados con la calidad del suelo.

En cualquier caso, se entiende que en los suelos contaminados deben verificarse por igual lo siguiente:

- Presencia de materiales (compuesto químico) con características peligrosos.
- Estos compuestos se originan de estos compuestos peligrosos derive de una actividad fundamentalmente humana.
- La existencia del riesgo no aceptables está asociados al compuesto químico.

**Figura 4**  
 Los tipos de degradación del suelo



**Nota:** En la figura se muestra un flujograma de los parámetros del suelo según (Jiménez Ballesta, 2017, p. 5)

Cuando en un suelo se acumulan sustancias a niveles tales que en el sentido de que estas concentraciones de sustancias corresponden a concentraciones tóxicas para los organismos del suelo, afectar negativamente su comportamiento se denomina 'degradación'. Esto resulta en una pérdida parcial o total de la productividad del suelo. Dependiendo de la situación, su constitución y propiedades que definen su “capacidad autodepuradora”, pueden verse “superados” si reciben más de lo que pueden amortiguar. Es decir, el suelo es un auténtico “sumidero”, ya que sobre el mismo se puede adicionar gran parte de la carga contaminante procedente de los subproductos o residuos de la producción industrial, agrícola, ganadera, etc. De este modo, el suelo equivale a una barrera protectora, ya que actúa por ejemplo filtrando, descomponiendo, neutralizando o almacenando contaminantes, lo que puede evitar en buena medida el paso de algún contaminante a formas biodisponibles. Pero cuando se superan los límites de autodepuración, el suelo pasa a situación de contaminado, lo que supone un problema ya que ahora es fuente de contaminantes. Para conceptualizar este punto se ha introducido, en época relativamente reciente, el concepto de carga

crítica, esto es, máxima cantidad admisible de un contaminante, a partir de la que se entiende que se supera el umbral de toxicidad. Se pueden sumar al suelo diversas sustancias de contaminación, sea orgánica o inorgánica, que provienen de diversas fuentes. Pudiendo ser pesticidas que son aplicadas directo con los tratamientos aéreos o superficiales. diferentes contaminantes son depositados con la humedad o seca en formas de partículas aéreas.

Encinas (2011) menciona que el suelo contaminado es una pérdida de desequilibrio fisicoquímico o biológico causado por la acumulación de sustancias en cantidades dañinos para los organismos vivos en el suelo, lo que lleva a la pérdida de la productividad del suelo. A diferencia del aire o el agua, los contaminantes en el suelo son menos móviles. Prácticamente no hay proceso de dilución. El riego, la escorrentía y la lixiviación eliminan muy pocos contaminantes del suelo. Teniendo en cuenta que el suelo tarda unos 10.000 años en crecer por completo, se puede decir que el suelo no se regenera cuando está contaminado (p. 79).

#### **2.2.4.3. CONTAMINACIÓN DEL SUELO CON METALES PESADOS**

Los suelos se contaminan con la acumulación del suelo de elementos tóxicos, superando estos la capacidad de amortiguación natural de los suelos, lo cual empobrece de manera total o parcial la fertilidad, esa acumulación viene por consecuencias de diferentes acciones humanas como también de manera natural (Morquehuana y Valverde, 2012).

La presencia de metales pesados en el suelo es natural, pero en los últimos años se demostró la acumulación por actividades del hombre que van desde las industrias, agricultura y la inadecuada disposición de residuos sólidos (Giuffré et al., 2005).

Alkemi (2017) menciona que plomo (Pb) es un metal común de los suelos, se transporta hacia en aire por las actividades de la minería, fabricas, aleación, quema de carbón, hidrocarburos, desechos y los humos de vehículos, siendo causa principal de la contaminación del suelo por plomo.

El mercurio es un metal generado en la naturaleza teniendo diversas variedades. Similar que el plomo y cadmio, es un elemento constitutivo de la tierra. En su pureza es conocido como mercurio "elemental" o "metálico" químicamente es Hg. Pocas veces se puede ver en un estado puro (metal semilíquido); por lo común está en sales inorgánicas, (Paredes, 2015).

#### ➤ **El plomo en el suelo**

Barrio (2013) sostiene que el plomo del suelo se puede inmovilizar con la materia orgánica y la arcilla, pero si el pH es ácido, el Pb se mueve y es captado por las plantas.

Morquehuana y Valverde (2012) mencionan que el grado elevado de inmovilización de los metales se relaciona directamente con la capacidad de intercambio catiónico, siendo diferente a la proporción al pH del suelo. El equilibrio de adsorción es alcanzado rápidamente. En la actualidad se comprobó que la CIC, el pH, la MO y el nivel de fósforo disponible, afectarían de modo directo a la eliminación del Pb.

#### ➤ **Cadmio en el suelo**

El cadmio es un metal que no tiene una función biológica y por lo que es tóxico incluso en un nivel bajo. El cadmio es capaz de modificar los componentes de los microorganismos en el suelo, por lo tanto también minimiza la capacidad de descomponer la materia orgánica. Es posible la acumulación en plantas y en los animales del suelo, como también animales superiores con pastos o aguas contaminadas por medio de su consumo. (Rabago, 2011).

## **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

### **2.3.1. METAL PESADO**

“Se refiere a elementos químicos metálicos que tienen de modo relativo densidad alto y se hace tóxico o letal inclusive en muy bajas concentraciones. Se considera de ellos el, talio (Tl), plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr) entre otros” (Álvarez, 2005).

### **2.3.2. BIOTECNOLOGÍA**

“Es un campo de la ciencia la que está dentro de diversas disciplinas diseñadas en la utilización de organismos vivos o sus productos para la realización de procesos industriales de mucho valor, para fabricación como también en aplicación de resolución de problemas (Thieman & Palladino, 2010)”.

### **2.3.3. CONTAMINACIÓN**

“Suceso en la que se altera las características fisicoquímicas o biológicas de algún factor del medio ambientales en grados que suponen riesgos inaceptables para los ecosistemas y la salud humana” (Sabroso y Pastor, 2014, p. 12).

### **2.3.4. LIXIVIACIÓN**

“Es un mecanismo en la que sucede la adsorción y precipitación de algún elemento en las que pueden ser la textura, la materia orgánica, el pH, los carbonatos, etc.” (Guzmán, 2007).

### **2.3.5. CARBONO**

“Componente principal de la materia orgánica del suelo, por ello, es un factor importante de la calidad de los suelos. Ayuda en diferentes procesos fisicoquímicos y biológicos de los suelos” (Silva, 2014, p. 23).

### **2.3.6. FERTILIZACIÓN**

“Es la suma de nutrientes (abono nitrogenados y fosfatados) sobre un entorno contaminado con el fin bioestimular el desarrollo y la actividad

microobiana, que se encuentran de manera natural sobre la tierra, los cuales ayudan a la biorreparación” (Thieman & Palladino, 2010).

### **2.3.7. FILTRACIÓN**

“Líquidos aceitosos que están en movimiento (se filtran) por el suelo en la superficie o cerca de ella con dirección a las capas de la profundidad, alterando sus características” (Thieman & Palladino, 2010).

### **2.3.8. MATERIA ORGÁNICA**

“Es el producto no vivo, que se genera de la descomposición de los restos de plantas y animales. La materia orgánica del suelo es producida en proporciones que varían de región a región, por diversos factores, algunos se relacionan con la formación del suelo. Está constituida por variable espacial y temporalmente, por su influencia” (Silva, 2014, p. 17).

### **2.3.9. NITRÓGENO**

“Componente se suma importancia para la materia orgánica del suelo, se necesita para sintetizar la proteína, ácido nucleico, clorofilas, hormona y otros compuestos importantes para que las plantas se desarrollen. En ausencia o con déficit en el suelo, se hará una limitante que las plantas puedan desarrollarse” (Silva, 2014, p. 24).

### **2.3.10. SIMBIOSIS**

“Suceso de convivencia que se da entre dos organismos que no son semejantes, tal relación es beneficioso para ambos por lo que se genera la interdependencia fisiológica, es considerada una forma de mutualismo, puesto que el provecho es mutuo. La relación es estable en los dos organismos” (Fernández-Canigia, 2020, p. 24).

## **2.4. HIPÓTESIS**

**Ha** La bioestimulación con lombricomposta y fijadora simbiótica de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L*) tienen efectividad en la biorremediación en la calidad del suelo usado como botadero.

**Ho** La bioestimulación con lombricomposta y fijadora simbiótica de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L*) no tienen efectividad en la biorremediación en la calidad del suelo usado como botadero.

## **2.5. VARIABLES**

### **2.5.1. VARIABLE 1**

Biorremediación por bioestimulación con lombricomposta y fijadora simbiótica de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L*)

### **2.5.2. VARIABLE 2**

Calidad del suelo

## 2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Título:** “Efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la biorremediación de la calidad de suelo usado como botadero, Marabamba, Provincia y Departamento de Huánuco–2022”

**Tabla 3**  
Operación de variables dimensiones indicadores

<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidad</b>	<b>Tipo de variable</b>	<b>Instrumento</b>
<b>Variable Independiente:</b> Biorremediación	Técnicas biológicas utilizadas para remediar suelos, comprende con la estimulación de la actividad microbiana así aumentar la tasa de degradación de los contaminantes (Brutti et al., 2018).	Se usará la técnica de bioestimular el suelo contaminado por residuos sólidos y peligrosos, con la lombricomposta y fijador de nitrógeno de la alfalfa ( <i>Medicago savita L</i> ) para acelerar su recuperación.	Lombricomposta	composición	%	Cuantitativa	Balanza
			Fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa	<i>Medicago sativa L.</i>	Tamaño de tallo, hoja y raíz		metro
<b>Variable Dependiente:</b> Calidad del suelo	Es una condición del suelo que se relaciona con los requerimientos de las especies bióticas o con las necesidades humanas.	Suelo sometido a sobrecarga de residuos sólidos y peligrosos, afectando estos las características y servicios ecosistémicos que brinda.	Características fisicoquímicas	Textura, pH, N, P, K, CE, CIC	%	Cuantitativa	
			Metales pesados	Plomo, Cadmio	ppm		

## CAPÍTULO III

### MÉTODOLÓGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación tuvo un desarrollo de tipo experimental, como la acción del investigador; Prospectivo, por el control de las mediciones; es longitudinal, por la cantidad de mediciones en la variable de estudio y es Analítico, por la cantidad de variables analíticas (Supo y Zacarías, 2020).

##### 3.1.1. ENFOQUE

La investigación presento un enfoque cuantitativo, puesto que las hipótesis fueron generadas antes de la recolección y análisis de datos. La recolección se llevó a cabo utilizando procesos estandarizados y aceptados por una comunidad científica. Los datos fueron encontrados de forma numérica y se hizo uso de la estadística (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018, p. 6).

##### 3.1.2. ALCANCE O NIVEL

La presente investigación tuvo un alcance correlacional, porque posee como finalidad entender el grado de asociación entre las variables en la muestra, para lo cual se midieron cada una de éstas, y después se cuantificaron, analizaron y estableció las vinculaciones (Hernández-Sampieri et al., 2014, p. 93).

##### 3.1.3. DISEÑO

La investigación tuvo un diseño experimental, haciendo uso del método científico, el cual se resume de la siguiente manera:

GE: O1 – B1 – O2
------------------

**Donde:**

**GE:** Grupo experimental

**O<sub>1</sub>:** Observación inicial

**B<sub>1</sub>:** Intervención con la lombricomposta y la alfalfa

**O<sub>2</sub>:** Observación final

### **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

#### **3.2.1. POBLACIÓN**

La población tomo el conjunto de cada casos que concuerda con determinada especificación la cual se situaron de manera concreta por sus características de contenido, lugar, tiempo y la accesibilidad (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2018 p. 199). La población en estudio de la investigación estuvo conformada por el suelo recolectado del botadero de Marabamba, el cual fue seleccionado a partir de una pre selección en las que se verificaron escenarios de contaminación que presentaron los suelos de mala calidad, los cuales se vieron reflejados en la variación de sus propiedades fisicoquímicos y microbiológicos.

**Tabla 4**  
*Coordenadas UTM de ubicación del proyecto*

<b>VERTICE</b>	<b>NORTE</b>	<b>ESTE</b>	<b>ALTITUD</b>
<b>Vo.</b>	8900226	359971	3195

#### **3.2.2. MUESTRA**

La muestra fue no probabilística siendo el tipo de muestreo intencionado o por conveniencia debido a que prevalecieron los criterios de mi persona. Se realizó una evaluación inicial y en la que se diagnosticó las características físicas, químicas, microbiológicas y la

concentración de metales pesados. Luego se sometieron a tratamiento, por tres meses, para volver a diagnosticar sus características y efectos.

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

VARIABLE	INDICADOR	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	INSTRUMENTOS Y/O RECURSOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
-Biorremediación -Lombricomposta	-Bioestimulación -Fijador de nitrógeno	-Observación	-Balanza
Calidad del suelo	-Características físico -Características químicas -Características microbiológicas -Metales pesados	-Observación	-Balanza -Espectrofotómetro de adsorción atómica

#### ➤ **Primera etapa:**

- Se recolecto el suelo contaminado elegido por conveniencia de mi persona. Aproximadamente 70 Kg.

#### ➤ **Segunda etapa:**

- La muestra fue enviada al laboratorio para el análisis correspondiente de características fisicoquímico y microbiológico. Así mismo para la determinación de presencia de metales pesados la cantidad de muestra será 500gr.
- Previa cadena de custodia

#### ➤ **Tercera etapa:**

- Se tuvo listo la lombricomposta y se prepararon en maseteros
- En el masetero número uno se colocará 10 kg de suelo contaminado.
- En el masetero número dos se colocó 5 kg. De suelo contaminado más 5kg de lombricomposta.

- En el masetero número tres se colocó 7.5 kg. de suelo contaminado más 2.5kg. de lombricomposta.
- Se hicieron tres repeticiones. En total tendremos 9 maseteros preparados.

➤ **Cuarta etapa:**

- A cada masetero preparado se puso 5g de semilla de alfalfa para la germinación.

➤ **Quinta etapa:**

- Se enviaron al laboratorio el suelo remediado, después de tres meses.

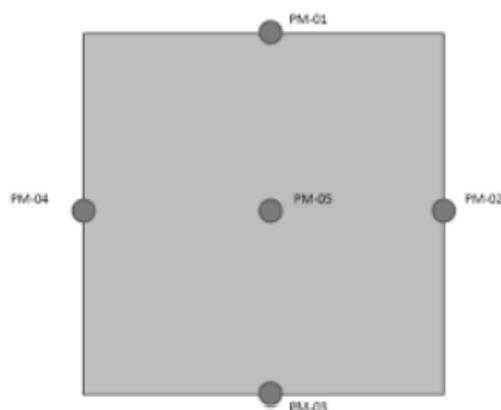
### 3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se usó la Guía de muestreo de suelos Resolución Ministerial N° 085-2014-MINAM y el D. S. N° 002-2013-MINAM.

Para áreas de contaminación de forma regular menores a 1000 m<sup>2</sup>

Se recolectó las muestras del área contaminada con una forma regular de un cuadrado, efectuando 4 puntos y una en el punto centro del área, que en total ocupan 5 puntos y 5 muestras.

Localización de puntos de muestreo en el área de excavación regular: forma de cuadrado



**Nota:** se utilizó la guía para el muestreo de suelos según (MINAM, 2013).

Para la recolección de datos se contempló el uso de “Guía para el Muestreo de Suelos / Ministerio del Ambiente. Dirección General de Calidad Ambiental, en el marco del Decreto Supremo N° 002 – 2013 MINAM, estándares de calidad Ambiental (ECA) para suelo”. Considerando:

- Etiquetado.
- Ficha de muestreo de suelo.
- Cadena de custodia.
- Condiciones de seguridad de la muestra.

### **3.3.2. PARA LA PRESENTACIÓN DE DATOS**

Para la presentación de datos se utilizaron: medidas descriptivas, tablas y gráficos, propios de la estadística.

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

Se establecieron la relación que existe entre las variables; biorremediación y suelos contaminados del botadero.

### **3.4.1. ANÁLISIS DESCRIPTIVO**

Se describieron cada uno de las variables identificados en la presente investigación.

### **3.4.2. ANÁLISIS INFERENCIAL**

El análisis estadístico que se usó para demostrar la relación de las variables que se estudiaron, cada uno de las hipótesis de investigación, planteados previamente, por medio del análisis estadístico de la prueba paramétrico chi cuadrado de independencia y se consideró el valor teórico de la significancia estadística  $P > 0,05$ , para aceptar o rechazar la hipótesis de investigación.

El análisis inferencial de cada resultado derivado del presente estudio se llevó a cabo utilizando el software estadístico spss en su versión 26 por Windows en lo que se componen los promedios de los grupos experimentales con el fin de determinar diferencias significativas y contrastación de hipótesis.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. PROCESAMIENTO DE DATOS

**Tabla 5**

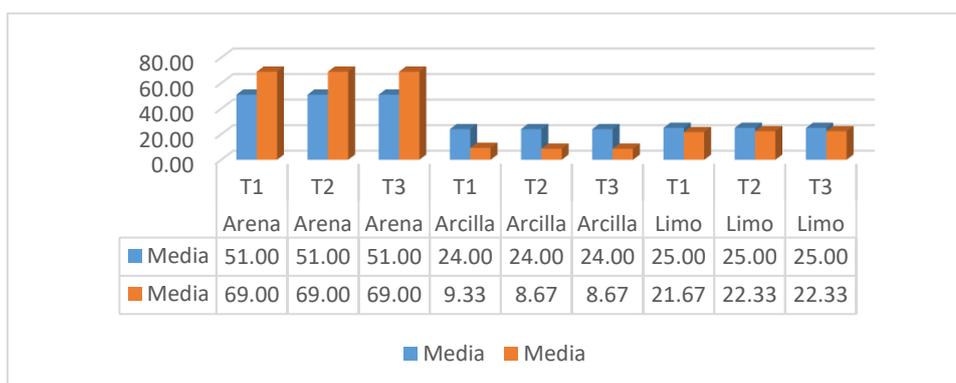
*Propiedades físicas del suelo usado como botadero antes y después de la aplicación del bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa (Medicago sativa L.), Marabamba, Huánuco, 2022*

Indicador	Trat.	Pre Test				Post Test			
		Media	Error estándar	L. inferior	L. superior	Media	Error estándar	L. inferior	L. superior
Arena	T1	51.00	0.000	51.00	51.00	69.00	0.000	69.00	69.00
	T2	51.00	0.000	51.00	51.00	69.00	0.000	69.00	69.00
	T3	51.00	0.000	51.00	51.00	69.00	0.000	69.00	69.00
Arcilla	T1	24.00	0.000	24.00	24.00	9.33	0.667	6.46	12.20
	T2	24.00	0.000	24.00	24.00	8.67	0.667	5.80	11.54
	T3	24.00	0.000	24.00	24.00	8.67	0.667	5.80	11.54
Limo	T1	25.00	0.000	25.00	25.00	21.67	0.667	18.80	24.54
	T2	25.00	0.000	25.00	25.00	22.33	0.667	19.46	25.20
	T3	25.00	0.000	25.00	25.00	22.33	0.667	19.46	25.20

**Nota:** Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas luego de la biorremediación.

**Figura 5**

*Propiedades físicas del suelo usado como botadero antes y después de la aplicación del bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa (Medicago sativa L.), Marabamba, Huánuco, 2022*



**Nota:** Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas de la biorremediación

Se aprecia que en cada uno de los tratamientos se tiene los mismos valores tanto en el pre como en el post test para el caso de la arena. Para el caso de la arcilla se aprecia una menor disminución con el tratamiento 1. Para el caso del limo, se aprecia una mayor disminución con el tratamiento 1

**Tabla 6**

*Propiedades químicas del suelo usado como botadero antes y después de la aplicación del bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa (Medicago sativa L.), Marabamba, Huánuco, 2022*

Indicador	Trat.	Media	Error estándar	L. inferior	L. superior	Media	Error estándar	L. inferior	L. superior
pH	T1	7.8	0.0	7.8	7.8	8.3	0.1	7.9	8.6
pH	T2	7.8	0.0	7.8	7.8	8.2	0.1	7.9	8.5
pH	T3	7.8	0.0	7.8	7.8	8.3	0.1	7.8	8.9
Cond_Elec	T1	2.0	0.0	2.0	2.0	0.9	0.2	-0.1	2.0
Cond_Elec	T2	2.0	0.0	2.0	2.0	0.8	0.1	0.4	1.3
Cond_Elec	T3	2.0	0.0	2.0	2.0	1.0	0.3	-0.3	2.2
Mat_Org	T1	2.7	0.0	2.7	2.7	3.5	0.4	1.9	5.0
Mat_Org	T2	2.7	0.0	2.7	2.7	3.3	0.3	2.1	4.4
Mat_Org	T3	2.7	0.0	2.7	2.7	3.5	0.3	2.4	4.7
N	T1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2
N	T2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2
N	T3	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.0	0.1	0.2
Cd	T1	0.2	0.0	0.2	0.2	95.1	9.3	54.9	135.3
Cd	T2	0.2	0.0	0.2	0.2	92.3	11.2	44.3	140.3
Cd	T3	0.2	0.0	0.2	0.2	90.5	13.2	33.6	147.4
Pb	T1	143.3	0.0	143.3	143.3	52.7	0.81	49.2	54.1
Pb	T2	143.3	0.0	143.3	143.3	52.7	1.30	47.1	58.2
Pb	T3	143.3	0.0	143.3	143.3	52.8	1.38	46.8	58.7
P	T1	73.0	0.0	73.0	73.0	0.6	0.1	0.3	0.8
P	T2	73.0	0.0	73.0	73.0	0.5	0.1	0.3	0.8
P	T3	73.0	0.0	73.0	73.0	0.5	0.0	0.4	0.7
K	T1	340.3	0.0	340.3	340.3	409.9	15.44	343.5	476.4
K	T2	340.3	0.0	340.3	340.3	405.1	7.55	372.6	437.59
K	T3	340.3	0.0	340.3	340.3	428.3	28.7	304.8	551.7
CIC	T1	17.6	0.0	17.6	17.6	21.1	0.4	19.4	22.8
CIC	T2	17.6	0.0	17.6	17.6	21.0	0.4	19.3	22.7
CIC	T3	17.6	0.0	17.6	17.6	20.8	0.3	19.6	22.0

**Nota:** Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas luego de la biorremediación.

Podemos apreciar que con el tratamiento 1 y 3 se ha incrementado el pH ligeramente más que con el tratamiento 2, lo mismo ocurrió para el caso de los valores de la materia orgánica; con el tratamiento 2 se tuvo un mayor decremento de la conductividad eléctrica; la cantidad de N se ha incrementado ligeramente por igual en los tres tratamiento; con los tres tratamientos se ha incrementado la concentración de Cd y Pb ha disminuido su concentración; con los tres tratamientos se tuvo un incremento considerable de P y K. Con los tres tratamientos se ha incrementado de manera similar los valores del CIC.

**Tabla 7**  
Prueba de normalidad de los datos

	Tratamiento	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Arena_DIF	1	.	3	.	.	3	.
	2	.	6	.	.	6	.
	3	.	9	.	.	9	.
Arcilla_DIF	1	,385	3	.	,750	3	<b>&lt;.001</b>
	2	,407	6	,002	,640	6	<b>,001</b>
	3	,414	9	<.001	,617	9	<b>&lt;.001</b>
Limo_DIF	1	,385	3	.	,750	3	<b>&lt;.001</b>
	2	,407	6	,002	,640	6	<b>,001</b>
	3	,414	9	<.001	,617	9	<b>&lt;.001</b>
pH_DIF	1	,253	3	.	,964	3	<b>,637</b>
	2	,407	6	,002	,640	6	<b>,001</b>
	3	,311	9	,012	,760	9	<b>,007</b>
Cond_Elec_DIF	1	,262	3	.	,957	3	<b>,600</b>
	2	,290	6	,126	,803	6	<b>,062</b>
	3	,378	9	<.001	,680	9	<b>&lt;.001</b>
Mat_Org_DIF	1	,338	3	.	,853	3	<b>,248</b>
	2	,238	6	,200*	,837	6	<b>,122</b>
	3	,390	9	<.001	,661	9	<b>&lt;.001</b>
N_DIF	1	,385	3	.	,750	3	<b>&lt;.001</b>
	2	,307	6	,081	,788	6	<b>,045</b>
	3	,414	9	<.001	,617	9	<b>&lt;.001</b>
Cd_DIF	1	,356	3	.	,817	3	<b>,155</b>
	2	,343	6	,026	,746	6	<b>,018</b>
	3	,351	9	,002	,716	9	<b>,002</b>
Pb_DIF	1	,311	3	.	,897	3	<b>,376</b>
	2	,203	6	,200*	,853	6	<b>,167</b>
	3	,278	9	,043	,786	9	<b>,014</b>
P_DIF	1	,310	3	.	,900	3	<b>,384</b>
	2	,263	6	,200*	,823	6	<b>,093</b>
	3	,237	9	,157	,809	9	<b>,026</b>
K_DIF	1	,286	3	.	,931	3	<b>,493</b>
	2	,293	6	,116	,800	6	<b>,058</b>
	3	,253	9	,100	,801	9	<b>,021</b>
CIC_DIF	1	,230	3	.	,981	3	<b>,736</b>
	2	,330	6	,040	,763	6	<b>,026</b>
	3	,327	9	,006	,744	9	<b>,005</b>

**Nota:** Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas después de la biorremediación.

En vista de que se ha obtenido valores las significancias bilaterales (p-valor) inferiores a 5% (0.05), es pertinente llevar a cabo el análisis estadístico con una prueba no paramétrica, tal como el ANOVA de Kruskal-Wallis, que es el que aplica por tener más de dos grupos de estudio.

## 4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

El presente estudio plantea la contrastación de la siguiente hipótesis (H<sub>1</sub>):

H<sub>1</sub>: La bioestimulación con lombricomposta y fijador simbiótica de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) tienen efectividad en la biorremediación del suelo usado como botadero.

Por otra parte, se tiene la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), que rechaza dicha afirmación:

H<sub>0</sub>: La bioestimulación con lombricomposta y fijadora simbiótica de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) tienen efectividad en la biorremediación del suelo usado como botadero.

El nivel de significancia que se establece es el convencional, es decir, **5%**.

La prueba estadística para emplearse será con el ANOVA de Kruskal-Wallis.

La prueba estadística permitirá determinar las diferencias existentes entre los resultados al emplearse los distintos tratamientos.

**Tabla 8**  
*Prueba de hipótesis con ANOVA de Kruskal-Wallis*

	H de Kruskal-Wallis	gl	Sig. asin.
Arena	,000	2	<b>1,000</b>
Arcilla	,800	2	<b>0,670</b>
Limo	,800	2	<b>0,670</b>
pH	1,033	2	<b>0,597</b>
Cond_Elec	,000	2	<b>1,000</b>
Mat_Org	1,156	2	<b>0,561</b>
N	1,541	2	<b>0,463</b>
Cd	,605	2	<b>0,739</b>
Pb	0,000	2	<b>1,000</b>
P	,089	2	<b>0,957</b>
K	0,089	2	<b>0,957</b>
CIC	,356	2	<b>0,837</b>

**Nota:** *Elaboración propia a partir de las mediciones realizadas de la biorremediación.*

En cada uno de los casos se tiene un p-valor mayor a 0.05 (Sig. asin.) por lo que se aprecia que no existe diferencias en la efectividad que proporcionan cada uno de los grupos al mejorar la calidad del suelo.

**Tabla 9**

*Tabla interpretativa de la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador de nitrógeno de la alfalfa sobre la calidad del suelo usado como botadero*

Propiedad del suelo	Indicador	Interpretación		Pre test	Rango Inicial	Interpretación	Post test			Rango final	Interpretación
		Rango Recomendado					T1	T2	T3		
Propiedad Física	Arena	20-45	Normal	51	Supera el rango	Suelo con mucha aireación.	69	69	69	Es superior al rango inicial	No tiene la capacidad suficiente para retener agua.
	Arcilla	27-40	Normal	24	inferior al rango	Acumula mayor cantidad de agua	9.33	8.67	8.67	Paso a ser inferior al rango	Suelo con gran acumulación de agua, que es un problema para los cultivos.
	Limo	15-52	Normal	25	dentro del rango	Suelo aceptable	21.67	22.33	22.33	Esta dentro del rango	Recomendable para el desarrollo de una planta.
	pH	6,6– 7,3	Neutro	7.8	Supera el rango	medianamente básico	8.3	8.2	8.3	Supera el rango inicial	En el pre test se observa; T1, T2 y T3, suelo ligeramente alcalino.
Propiedad Química	Cond. Elec.	<b>0-2</b>	Normal	2.0	dentro del rango	Suelos normales	0.9	0.8	1.0	Esta dentro del rango	Con los tratamientos realizados es un suelo apto para cultivo.
	Materia Orgánica	2-4	Medio	2.7	Dentro del rango	medio, para agrícola.	3.5	3.3	3.5	Esta dentro del rango	Se incrementó el % de materia orgánica.
	N	0.1-02 %	Medio	0.1	Dentro del rango	Recomendable	0.2	0.2	0.2	Dentro del rango	Se mantiene el nivel de N. recomendable para la agricultura.
	Cd	1.4	Normal	0.2	Inferior al rango	No recomendado	0.6	0.5	0.5	Paso a ser inferior del rango	Con el tratamiento T1, T2 y T3 se pueden mejorar la

---

Pb	70	Normal	143.3	Supera el rango	No recomendado	52.7	57.7	52.8	Paso a ser inferior al rango	calidad del suelo y estar dentro del parámetro. Luego de los tratamientos realizados se evidencia que el Pb ha disminuido notablemente.
P	7-14 pmm	Medio	73	Supera el rango	No recomendado	95.1	92.3	90.5	Supera el rango inicial	Con el uso de los tratamientos se observa que superó el rango establecido.
K	100-240 pmm	Medio	340.3	Supera el rango	No recomendado	409.9	405.1	428.3	Supera el rango inicial	Con el tratamiento realizado no se bajó el porcentaje de fosforo a los límites establecidos.
CIC	20-35 meq/100g	Normal	17.6	Inferior al rango	fue bajo del rango, con 17.6 meq/100g,	21.1	21.0	20.8	Esta dentro del rango	Después de la intervención se obtuvo un resultado dentro del rango y es apto para la agricultura.

---

## CAPÍTULO V

### DISCUSION DE RESULTADOS

**Con respecto al objetivo principal:** Demostrar la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la biorremediación del suelo usado como botadero.

Los resultados demuestran que el porcentaje de arena no fue efectivo la lombricomposta y fijador de nitrógeno, porque paso de 51 % a 69 %, siendo el rango de 20-25 %. La arcilla no fue efectiva porque paso de 24 % a 9.33 % quedando en un rango inferior, siendo el rango de 27-40 %. En el caso del limo si fue efectivo porque paso de 25 a 22.33 %, siendo el rango de 15-52%.

Los resultados muestran un pH de 7.8 medianamente básico pasando a pH 8.3 ligeramente alcalino, no fue efectivo ya que el rango es de 6.6 -7.3. A diferencia lo que menciona Curasi y Luque (2019) en su tesis “Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz” Universidad Peruana Unión – Perú. Los resultados del pH mostraron un incremento en 13.7%, 20.2% y 8.5%, para abono verde, lombricompost y compost, respectivamente. Así mismo, se observó un aumento de 19.3% (abono verde), 15.68% (lombricompost) y 8.2% (compost).

Con respecto a la conductividad eléctrica inicial tiene 2 dS/m pasando a 1 ds/m, se encuentra dentro del rango. Materia Orgánica 2.7% inicial, Nitrógeno 0.1% inicial pasando a 0.2% siendo efectivo, Cadmio inicia con 0.2 ppm pasando a 0.5 ppm quedando dentro del rango, plomo inicia con 143.3 ppm pasando a 57.5 ppm quedando dentro del rango establecido en Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM. - Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. Fósforo 73 ppm inicial y pasa 95.1 ppm no fue efectivo, Potasio 340.3 ppm inicial y final con 428.3ppm supera el rango, Capacidad de intercambio Catiónico 17.6 meq/100g inicial pasando a 21.1 meq/100g siendo efectivo. A diferencia que menciona, Tello (2021) en su tesis “Efecto de la

fitorremediación con dos variedades de ortiga (*urtica urens* L.) y (*urtica dioica* L.) en la calidad del suelo usado como botadero a cielo abierto, Marabamba, provincia y departamento de Huánuco-Perú. Cuyo resultado tiene La M.O. 2.28% inicial, N 0.115% inicial, P 64 ppm inicial, K 845.5 ppm inicial, con *Urtica urens* L. M.O. 2.475ppm final; N 0.1225% final; fosforo 70ppm final; potasio 838 ppm final. y con *Urtica dioica* L. M.O 2.7775 ppm final; N 0.1375% final; P 77.75ppm final; K 889.75ppm final.

El logro de la calidad óptima del suelo es alto debido a la descomposición de los residuos sólidos presentes, en contraste con la evaluación de suelos que no tuvo el mismo efecto.

**Con respecto al objetivo específico 1:** Realizar un diagnóstico de las propiedades físicas del suelo antes y después de la efectividad bioestimulante con lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la biorremediación del suelo usado como botadero. Con respecto al análisis del suelo la arena tenía 51 % con el tratamiento T1, T2 y T3 de lombricomposta y la alfalfa paso a 69%, Arcilla tenía 24% con el tratamiento T1 paso a 12.20% y con el T2 y T3 pasaron a 11.54%. Limo se tenía 25% con el tratamiento T1 paso a 24.54%, con T2 y T3 paso a 25.20%. con los resultados final está en la clasificación de textura franco arenoso después del tratamiento. Teniendo dificultad para retener agua, pero es apto para el desarrollo de cultivo, pero es escaso de nutrientes por el alto drenaje. Se seca rápido y se conserva por poco tiempo la humedad.

**Con respecto al objetivo específico 2:** Realizar un diagnóstico de las propiedades químicas del suelo antes y después de la efectividad bioestimulante con lombricomposta y fijadora simbiótica de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa* L.). con respecto al pH con el tratamiento T1 y T3 se ha incrementado ligeramente, más que el tratamiento T2, ninguno de los tratamientos optimiza a un valor neutro, lo mismo ocurrió para el caso de los valores de la materia orgánica (M.O.) pero mantienen su rango, conductividad eléctrica (CE) con el tratamiento T2 se tuvo mayor decremento, la cantidad de Nitrógeno (N), se ha incrementado ligeramente en los tres tratamientos, mintiéndose dentro del rango. Con los tres tratamientos se tuvo un incremento

considerable de Fosforo (P) y Potasio (K), con los tres tratamientos se ha incrementado de manera similar los valores del CIC. Esto está limitado por la cantidad de los metales pesados.

**Con respecto al objetivo específico 3:** Realizar el diagnóstico de la efectividad bioestimulante con lombricomposta y fijador de nitrógeno en presencia de metales pesados del suelo antes y después de las muestras estudiadas. en base a lo establecido en Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo aprobado por el Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM, con el tratamiento de la lombricomposta y alfalfa el Plomo (Pb) ha disminuido su concentración con los tres tratamientos. Sin embargo, el cadmio (Cd) incremento su concentración con los tres tratamientos, quedando dentro del ECA para suelo agrícola.

## CONCLUSIONES

Del objetivo general de la investigación se concluye que la lombricomposta y la alfalfa tuvieron efecto sobre los indicadores: Limo, pH, C.E, M.o, N, Cd, Pb y CIC. Dentro y en menor proporción del indicador.

Del objetivo específico 01, el tipo textural del suelo se mantiene en franco arenoso con los tres tratamientos (T1, T2 y T3). Siendo bueno para el cultivo, en el parámetro de limo. Sin embargo, fue malo para la arena y arcilla.

Del objetivo específico 02, el Ph mediamente básico para a ligeramente alcalino, conductividad eléctrica, Materia Orgánica, Nitrógeno y CIC se mantiene dentro del rango con el tratamiento, sin embargo, P y K superan el rango con el tratamiento.

Del objetivo específico 03, el plomo reduce su presencia después del tratamiento T1, T2 y T3 a excepción del cadmio que incrementa ligeramente con los tres tratamientos.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer estudios que considere periodos más prolongado de tiempo, además de analizar diferentes metales pesados.

Se recomienda utilizar los resultados del estudio para proyectos futuros.

Se recomienda añadir materia orgánica en la etapa de preparación del suelo para mejorar ampliamente la textura para así obtener una mejor retención de agua y aeración.

Se recomienda evaluar como indicador a la alfalfa (*Medicago sativa L.*) en su desarrollo completo, para análisis de la taxonomía de la planta en su crecimiento con el bioestimulante lombricomposta.

A las autoridades gubernamentales se le recomienda involucrarse en proyectos de investigación que publiquen esta naturaleza, dando prioridad a conservar los espacios contaminados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Coyago. (2020). Determinación de organoclorados por bioacumulación en dos especies vegetales (lactuca sativa l) y (medicago sativa) en procesos de fitorremediación en suelos agrícolas en la parroquia de perucho del D.M.Q en el periodo de marzo 2019. [Universidad Técnica de Cotopaxi de Latacunga-Ecuador]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/7963>
- Basigalup, D. (2007). El Cultivo de la Alfalfa en Argentina. INTA.
- Brutti, L., Beltrán, M., & García de Salome, I. (2018). Biorremediación de lo Recursos Naturales. (1a. edición). Ediciones INTA.
- Cabrejos Ramírez, D. K., & Sipión Díaz, S. L. (2019). Efecto de consorcios microbianos aerobios en la biorremediación de suelo contaminado con aceite residual automotriz en la provincia de Chiclayo. [Universidd Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/7946>
- Comisión Europea. (2013). Cambio climático y degradación de los suelos en América Latina: Escenarios, políticas y respuestas. TYPESA. <https://euroclimaplus.org/en/component/edocman/cambio-climatico-y-degradacion-de-los-suelos-en-america-latina-escenarios-politicas-y-respuestas>
- Tello (2021). Efecto de la fitorremediación con dos variables de ortiga (urtica urens l.) y (urtica dioica l) en la calidad del suelo usado como botadero a tajo abierto, Marabamba, provincia y departamento de Huanuco” [Universidad privada de Huánuco]. <http://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/31>
- Curasi Rafael, N., & Luque Soncco, M. A. (2019). Efectividad de los bioestimuladores de compost, lombricompost y abono verde en la biorremediación de suelos contaminados con aceite automotriz [Universidad Peruana Unión]. <http://200.121.226.32:8080/handle/UPEU/3079>

- Encinas Malagón, : María Dolores. (2011). Medio Ambiente y Contaminación Principios Básicos (Primera). <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/16784/Medio%20Ambiente%20y%20Contaminaci%C3%B3n.%20Principios%20b%C3%A1sicos.pdf?sequence=6>
- Fernández-Canigia, M. V. (2020). Factores Determinantes de la Nodulación (Primera). [https://images.engormix.com/externalFiles/6\\_factores\\_determinantes\\_de\\_la\\_nodulacion.pdf](https://images.engormix.com/externalFiles/6_factores_determinantes_de_la_nodulacion.pdf)
- Figueroa Vera, F. (2020). Biorremediación de suelos contaminados con aceite residual automotriz mediante la aplicación del producto DECON®. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/48715>
- Flórez Delgado, D. F. (2015). La alfalfa (Medicago sativa). Origen, Manejo y Producción. <https://jdc.edu.co/revistas/index.php/conexagro/article/download/520/540/>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). Metodología de la Investigación, (Sexta Edición). Mc Graw Hill Education.
- Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la Investigación, las rutas cuantitativas, cualitativas y mixta. Mc Graw Hill Education.
- Illatopa Espinoza, D. (2018). Incorporación de abonos orgánicos en la recuperación de suelos agrícolas degradados en Panao—Huánuco 2017 [Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <http://repositorio.unheval.edu.pe/handle/UNHEVAL/3840>
- Instituto Nacional de Estadística e Infomática. (2020). Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales, 2020 (p. 626). Instituto Nacional de Estadística e Infomática. [https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1760/libro.pdf)

- Jiménez Ballesta, R. (2017). Introducción a la contaminación de suelos. Mundi-Prensa Libros.
- Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química agrícola: Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (Tercera Edición). Mundi-Prensa Libros.
- Rebuffo, M., Risso, D., & Restaino, E. (2000). Tecnología en Alfalfa. INIA. <http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/111219240807160703.pdf>
- Rodríguez, N., McLaughlin, M., & Pennock, D. (2019). La Contaminación del Suelo una Realidad Oculta (p. 144). <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>
- Sabroso González, M. del C., & Pastor Eixarch, A. (2014). Guía sobre suelos contaminados. 109.
- Silva, A. M. da. (2014). Dinámica del carbono y del nitrógeno en los suelos (1a ed.). Editora Baraúna.
- Thieman, W. J., & Palladino, M. A. (2010). Introducción a la biotecnología (Segunda Edición). Pearson Educación.
- Vargas-Machuca, R. N., Romero Toboada, E., & Fernández Gómez, M. J. (2014). Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones III.5. Ediciones Paraninfo, S.A.

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

Morales Espinoza, K. (2023). *Efectividad bioestimulante de la lombricomposta y la alfalfa (Medicago Sativa L.) En la biorremediación de la calidad de suelo usado como botadero, Marabamba, provincia y departamento de Huánuco-2022* [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

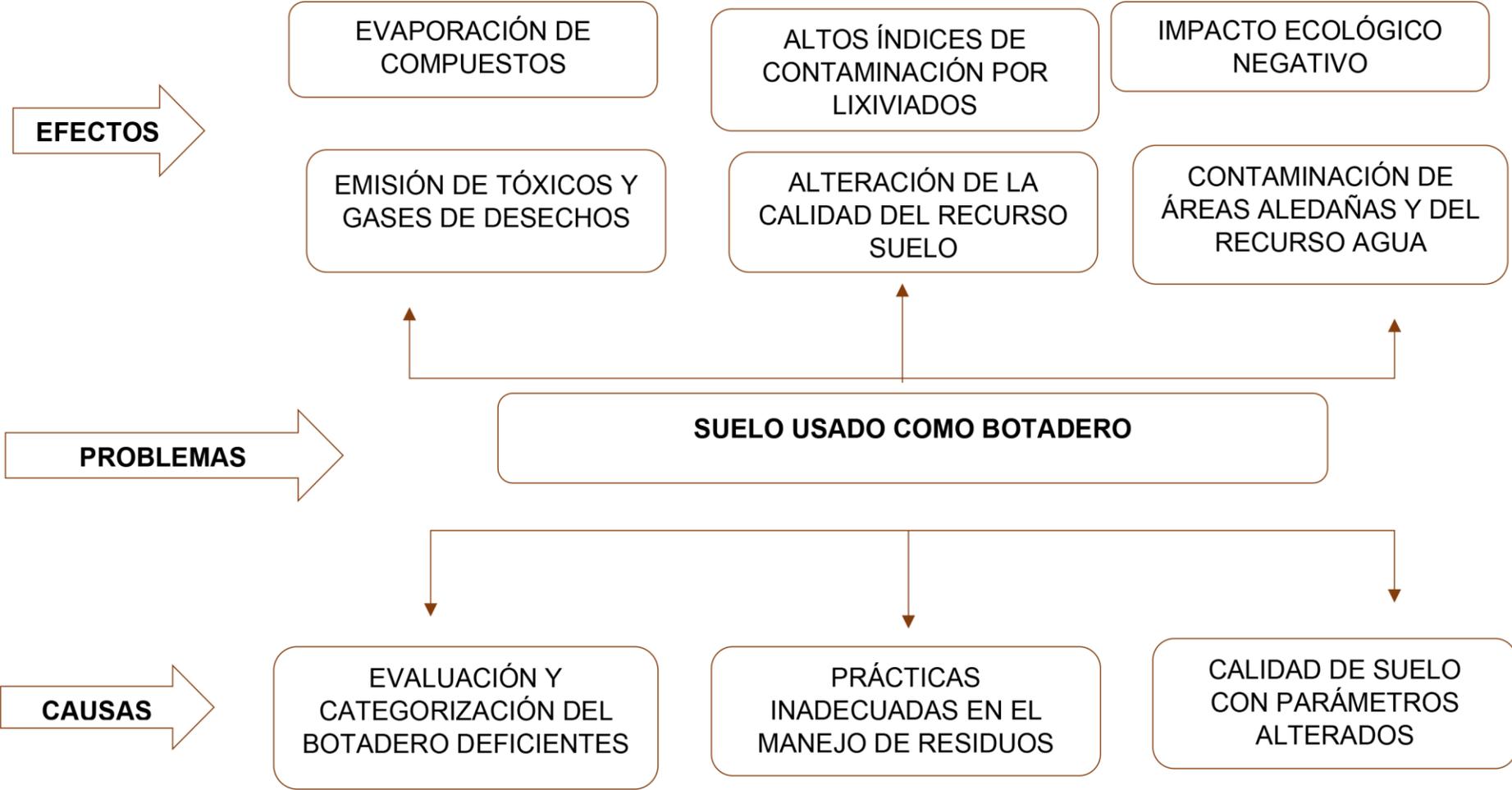
## **ANEXOS**

**ANEXO 1**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

**Título:** “Efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la biorremediación de la calidad de suelo usado como botadero, Marabamba, Provincia y Departamento de Huánuco–2022”

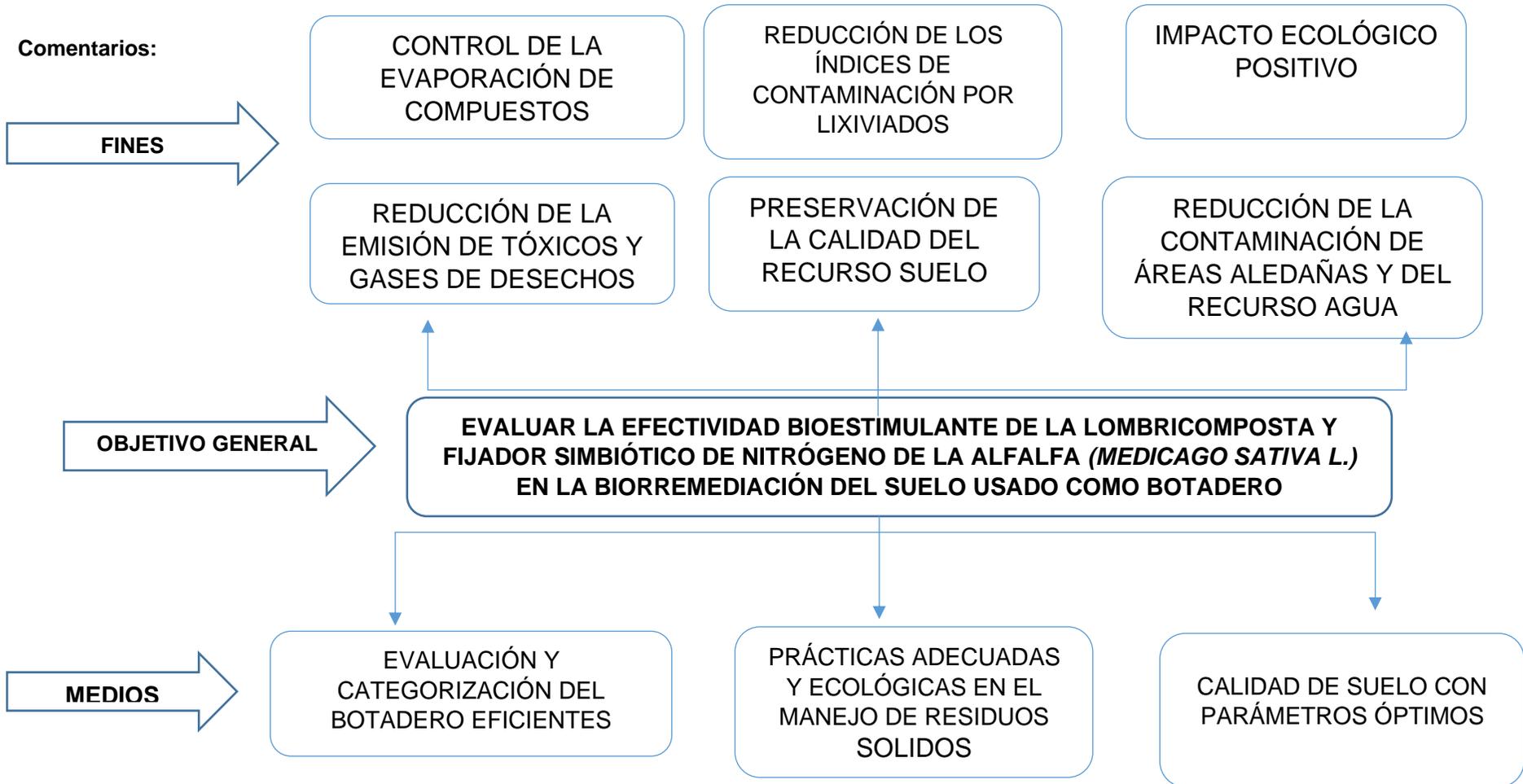
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variables/Indicadores</b>	<b>Metodología</b>
¿Cuáles son los factores de la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) en la biorremediación de la calidad del suelo usado como botadero?	Demostrar la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) en la biorremediación del suelo usado como botadero.	La bioestimulación con lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) tienen efectividad en la biorremediación del suelo usado como botadero	<b>Independiente:</b> Biorremediación <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioestimulación con lombricomposta</li> <li>• fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)</li> </ul>	<b>Tipo:</b> Experimental prospectivo, longitudinal, analítico  <b>Enfoque:</b> Cuantitativo, las hipótesis se generan antes de recolectar y analizar los datos  <b>Nivel:</b> Explicativo
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Dependiente:</b>	<b>Diseño:</b>
¿Cuál es diagnóstico de las propiedades fisicoquímicas del suelo antes y después de la bioestimulación con lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) en la biorremediación del suelo?	Realizar un diagnóstico de las propiedades fisicoquímicas del suelo antes y después de la efectividad bioestimulante con lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.) en la biorremediación del suelo usado como botadero.	Las propiedades fisicoquímicas del suelo tienen un efecto positivo en bioestimulación con lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa ( <i>Medicago sativa</i> L.)	Calidad del suelo <ul style="list-style-type: none"> <li>• Características fisicoquímicas</li> <li>• Porcentaje de metales pesados</li> </ul>	Experimental
¿Cuál es el porcentaje de presencia de metales pesados del suelo antes y después de las muestras estudiadas?	Describir la presencia de metales pesados del suelo antes y después de la efectividad bioestimulante de las muestras estudiadas.	La reducción del porcentaje de metales pesados totales es significativa en las muestras estudiadas.		<b>Muestra:</b> 70 kg de suelo contaminado

**ANEXO 2**  
**DIAGRAMA DE CAUSAS Y EFECTOS**



### ANEXO 3

#### DIAGRAMA DE FINES Y MEDIOS

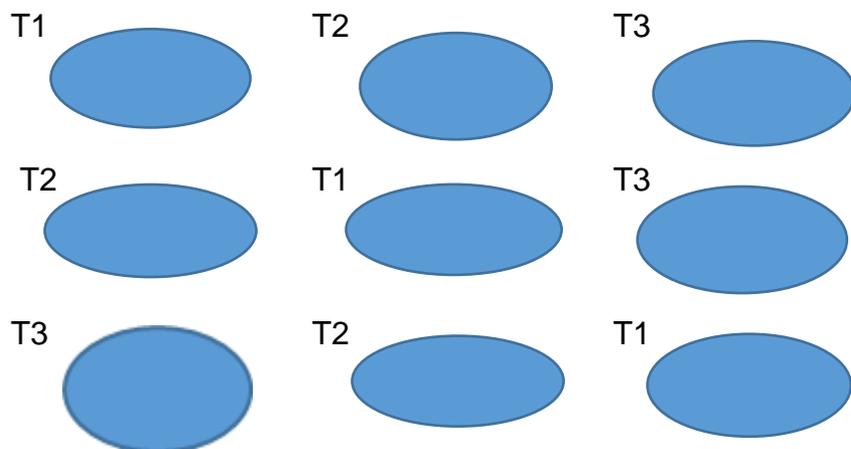
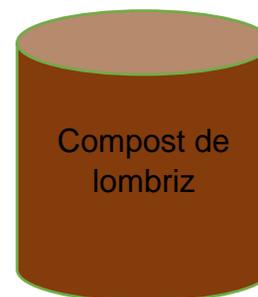


## ANEXO 4 DISEÑO EXPERIMENTAL



Muestra de suelo del botadero 70 kg

- Análisis físicos
- Análisis químicos
- Metales pesados



Diseño experimental de bloques completamente Randomizado  
CON 3 REPETICIONES

T1 = 10 KG DE SUELO CONTAMINADO (TRESTIGO)

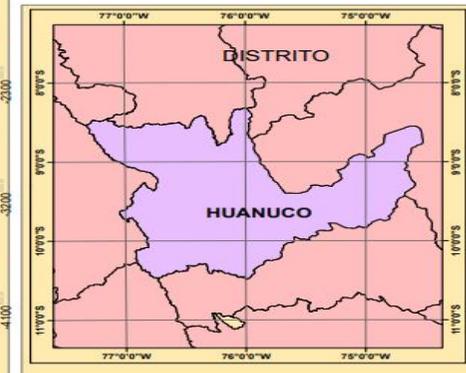
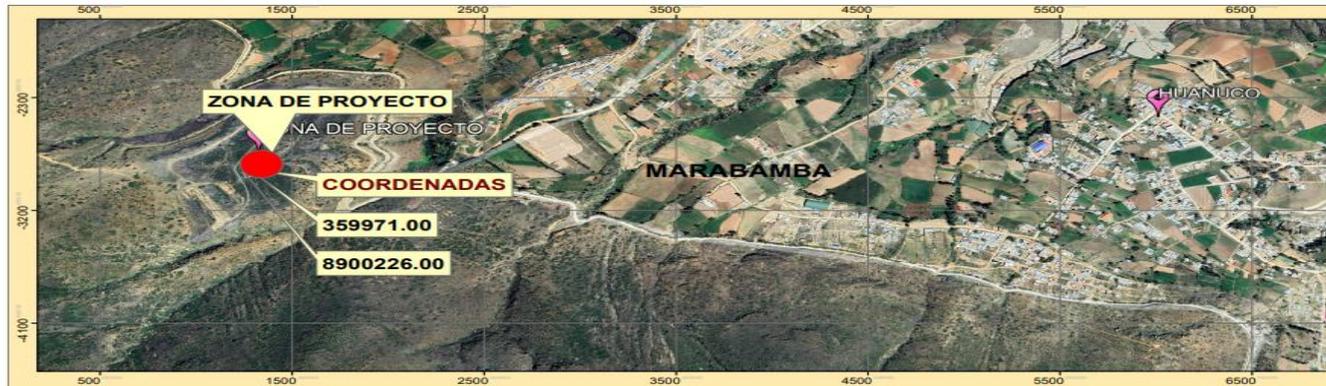
T2 = 5 KG DE SUELO CONT, + 5 KG DE BERMICOMPOST

T3 = 7.5 KG DE SUELO CONT. + 2.5 KG DE BERMICOMPOST

Parámetros a evaluar:

- Días a la germinación (15 días)
- Altura de plantas a los 30 días (10cm)
- Altura de planta a los 60 días (20cm)

## ANEXO 5 MAPA DE UBICACIÓN



PLANO DE UBICACIÓN					
 <b>UNIVERSIDAD DE HUANUCO FACULTAD DE INGENIERIA</b>  <b>P.A.P INGENIERIA AMBIENTAL</b>	<b>UBICACIÓN</b> DISTRITO: HUANUCO PROVINCIA: HUANUCO	<b>PROYECTO DE TESIS:</b> EFECTIVIDAD BIOESTIMULANTE DE LA LOMBRICOMPOSTA Y FIJADOR SIMBIOTICO DE NITROGENO DE LA ALFALFA (MEDICAGO SATIVA L.) EN LA BIORREMEDIACION DE LA CALIDAD DEL SUELO USADO COMO BOTADERO, MARABAMBA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE HUANUCO-2022"	<b>TESISTA:</b> Morales Espinoza, Katherine Yahaira <b>ASESOR:</b> Mg. Morales Aquino, Milton Edwin  <b>FUENTE:</b> Base de datos Software-ArGIS	<b>SISTEMA DE COORDENADAS</b> PROYECCIÓN: UTM ZONA: 18 Sur COORDENADAS: UTM-84	<b>ESCALA</b> 1:2,000.00 FECHA: 2023
	REGIÓN: HUANUCO				
					

**ANEXO 6**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**

Punto de Selección del área de muestreo



Recolección de muestras



Técnica del cuarteo para recolección de muestra



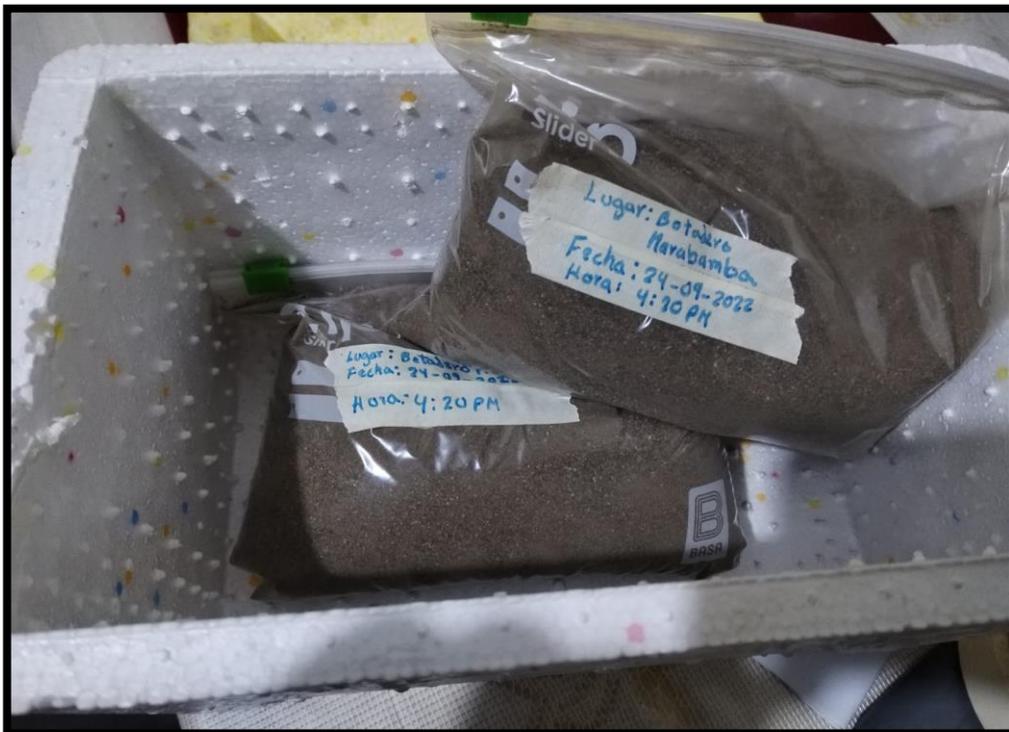
Pesaje de la muestra para el pre tes



Muestra total para el trabajo ex situ, de la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (medicago sativa l.).



Muestra que se recolecto para el laboratorio con su etiqueta



Separacion de las muestras en maseteros y la preparacion con la lombricomposta y siembra de alfalfa.



Verificación de mi proyecto con mi asesor



Germinación de la leguminosa



Se observa más grande la germinación de la alfalfa



Etapa final de la efectividad bioestimulante de la lombricomposta y fijador simbiótico de nitrógeno de la alfalfa (medicago sativa l.) en la biorremediación



Rotulación de muestras finales



**ANEXO 7  
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL SUELO EL PRE Y POST**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

**ANALISIS DE SUELOS**



SOLICITANTE:			KATHERINE YAHAIRA MORALES ESPINOZA											PROCEDENCIA		HUANUCO									
N°	DATOS		ANALISIS MECANICO				pH	CE	M.O.	N	Cd	Pb	P	K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg						CICe	%	%	%
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	Arena	Arcilla	Limo	Textura	1:1	dS/m	%	%	total	total	disponible	Ca		Mg	K	Na	Al	H	Bas. Camb.		Ac. Camb.	Sat. Al	
			%	%	%		ppm	ppm	ppm	ppm															
1	S1657	BOTADERO MARABAMBA	51	24	25	Franco Arcillo Arenoso	7.80	2.000	2.71	0.14	0.20	143.25	73.00	340.25	17.58	14.60	1.85	0.933	0.201	0.00	0.00	-	100	0	0

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO N° 001-0658397

TINGO MARIA, 25 DE SETIEMBRE 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo Maria

*[Firma]*  
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANÍ YUPANQUI  
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología





# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



## ANÁLISIS DE SUELOS

### 1. DATOS

SOLICITANTE:	MORALES ESPINOZA KHATERINE YAHAIRA	MUESTREADO POR:	MORALES ESPINOZA KHATERINE YAHAIRA
DEPARTAMENTO:	HUANUCO	FECHA DE RECEPCIÓN:	15/03/2023
PROVINCIA:	HUANUCO	FECHA DE INICIO DE ENSAYO:	16/03/2023
DISTRITO:	HUANUCO	FECHA DE REPORTE:	28/03/2023
CENTRO POBLADO:	MARABAMBA	RECIBO O FACTURA:	23007530
SECTOR:	BOTADERO DE MARABAMBA	OBSERVACIÓN:	---

### 2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS SOLICITADO

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO					pH	CE	M.O.	N	P	K	Cd	Pb	CIC	CAMBIABLES Cmol(+) / kg						CICe	%	%	%									
			Arena	Arcilla	Limo	Textura	1:1										dS/cm	%	%	disponible		total					Ca	Mg	K	Na	Al	H	Bas. Carb.	Ac. Carb.	Sat. Al
																				ppm	ppm														
1	S0390	T1 R1	89	10	21	Franco Arenoso	8.10	0.568	2.75	0.14	78.48	389.55	0.80	54.28	20.39	15.98	2.12	1.89	0.40	0.00	0.00	---	100	0	0										
2	S0387	T1 R2	89	10	21	Franco Arenoso	8.10	0.561	2.77	0.14	79.25	392.98	0.84	55.15	20.50	16.18	2.10	1.83	0.46	0.00	0.00	---	100	0	0										
3	S0388	T1 R3	89	10	21	Franco Arenoso	8.13	0.631	2.99	0.15	84.35	385.81	0.80	54.92	20.47	16.88	2.13	1.88	0.38	0.00	0.00	---	100	0	0										
4	S0390	T2 R1	89	8	23	Franco Arenoso	8.38	1.384	3.89	0.18	105.72	460.21	0.53	52.29	21.76	15.72	2.62	2.73	0.89	0.00	0.00	---	100	0	0										
5	S0390	T2 R2	89	8	23	Franco Arenoso	8.38	1.521	3.33	0.17	106.42	418.24	0.52	52.00	21.79	15.80	2.47	2.71	0.82	0.00	0.00	---	100	0	0										
6	S0391	T2 R3	89	8	23	Franco Arenoso	8.50	1.540	3.84	0.18	107.11	482.94	0.52	53.24	21.39	15.32	2.47	2.75	0.85	0.00	0.00	---	100	0	0										
7	S0392	T3 R1	89	10	21	Franco Arenoso	8.40	0.828	3.73	0.18	103.50	400.30	0.49	51.58	21.24	15.91	2.35	2.38	0.38	0.00	0.00	---	100	0	0										
8	S0393	T3 R2	89	8	23	Franco Arenoso	8.38	0.763	3.87	0.18	100.19	404.97	0.40	50.90	20.76	15.74	2.38	2.23	0.42	0.00	0.00	---	100	0	0										
9	S0394	T3 R3	89	8	23	Franco Arenoso	8.40	0.724	3.78	0.18	100.05	416.07	0.47	50.20	20.87	15.80	2.33	2.27	0.48	0.00	0.00	---	100	0	0										

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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

**Ingr. CELMER MILTON NORA TREJILLO**

Profesional del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

**Dr. HUGO ALFREDO HUAMANÍ YUPANQUI**

Celador del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología