

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Eficacia de la capacidad remediadora de la cochinilla de la
humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para
la remoción de metales pesados en suelos contaminados
destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María –
2025”**

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

AUTORA: Dionicio Guerra, Steysi Seydi

ASESOR: Cajahuanca Torres, Raul

HUÁNUCO – PERÚ

2025



U

D

H

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

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

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Contaminación ambiental**AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)****CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:****Área:** Ingeniería, Tecnología**Sub área:** Ingeniería Ambiental**Disciplina:** Ingeniería Ambiental y Geológica**DATOS DEL PROGRAMA:**

Nombre del Grado/Título a recibir: Título

Profesional de Ingeniería Ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

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

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 73587049

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22511841

Grado/Título:

Maestro en gestión pública

Código ORCID: 0000-0002-5671-1907

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Zacarias Ventura, Hector Raul	Doctor en ciencias de la educación	22515329	0000-0002-7210-5675
2	Camara Llanos, Frank Erick	Maestro en ciencias de la salud con mención en: salud pública y docencia universitaria	44287920	0000-0001-9180-7405
3	Valdivia Martel, Perfecta Sofia	Maestro en ingeniería con mención en: gestión ambiental y desarrollo sostenible	43616954	0000-0002-7194-3714

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 16:30 horas del día 12 del mes de noviembre del año 2025, 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 Raul Zacarias Ventura (Presidente)
- Mg. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel (Vocal)

Nombrados mediante la Resolución N° 2341-2025-D-FI-UDH para evaluar la Tesis intitulada: **"EFICACIA DE LA CAPACIDAD REMEDIADORA DE LA COCHINILLA DE LA HUMEDAD (*Porcellio laevis*) Y LA LOMBRIZ ROJA (*Eisenia foetida*) PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS DESTINADOS A CULTIVOS DE CACAO EN LA CIUDAD DE TINGO MARIA - 2025"**, presentado por el (la) Bach. **DIONICIO GUERRA, STEYSI SEYDI**, 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) **APROBADA..... Por UNANIMIDAD...** con el calificativo cuantitativo de...**17**... y cualitativo de...**MUY BUENO**... (Art. 47)

Siendo las...**17:30** horas del día...**12**... del mes de...**NOVIEMBRE**... del año...**2025**.., los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.

Dr. Hector Raul Zacarias Ventura
DNI: 22515329
ORCID: 0000-0002-7210-5675
Presidente

Mg. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Secretario

Mg. Perfecta Sofia Valdivia Martel
DNI: 43616954
ORCID: 0000-0002-7194-3714
Vocal



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: STEYSI SEYDI DIONICIO GUERRA, de la investigación titulada "EFICACIA DE LA CAPACIDAD REMEDIADORA DE LA COCHINILLA DE LA HUMEDAD (PORCELLIO LAEVIS) Y LA LOMBRIZ ROJA (EISENIA FOETIDA) PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS DESTINADOS A CULTIVOS DE CACAO EN LA CIUDAD DE TINGO MARIA - 2025", con asesor(a) RAUL CAJAHUANCA TORRES, designado(a) mediante documento: RESOLUCIÓN N° 0954-2024-D-FI-UDH del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del 21 % verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

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

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

Huánuco, 16 de octubre de 2025



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



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

86. Dionicio Guerra, Steysi Seydi.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD



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



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A Dios por ser mi guía y mi compañero en cada etapa de mi vida.

A mis queridos padres Julio y Seydi por su apoyo incondicional en todo este trayecto, por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles.

A mi hermana por ser mi confidente y motivarme diariamente.

A mis docentes por todo el aprendizaje en mi etapa universitaria, sobre todo a mi asesor Raúl Cajahuanca Torres por el apoyo recibido desde que inicié esta investigación.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por la vida, por las oportunidades y por ser mi guía en cada paso que doy para lograr mis metas.

Agradezco a mis padres Julio y Seydi por el apoyo incondicional y el esfuerzo que hicieron durante estos años, por enseñarme a no rendirme y por estar siempre presentes.

A mi hermana por ser mi compañera en los momentos más difíciles.

A mis abuelos Lorenza, Alberto y Elena por la motivación y por la confianza que tuvieron en mí desde el comienzo de mi etapa universitaria.

También agradezco a mi tía Yessi y Lizeth que aun estando lejos me apoyaron y me aconsejaron para siempre hacer las cosas de manera correcta, de no conformarme y siempre querer más.

Agradezco a mi amigo Aron por la ayuda en todo el proceso de elaboración de esta investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XIV
CAPÍTULO I	16
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	17
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	17
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	18
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	19
1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	20
1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	20
1.4.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL	20
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
2.1.1. INTERNACIONALES	22

2.1.2. NACIONALES.....	23
2.1.3. LOCALES	25
2.2. BASES TEÓRICAS	28
2.2.1. CAPACIDAD REMEDIADORA	28
2.2.2. PRINCIPALES FACTORES DE LA REMEDIACIÓN	29
2.2.3. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN	30
2.2.4. TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS	31
2.2.5. COCHINILLA DE LA HUMEDAD	32
2.2.6. TAXONOMÍA	33
2.2.7. IMPORTANCIA DE LOS CRUSTÁCEOS ISÓPODOS	33
2.2.8. CICLO DE VIDA DE LOS CRUSTÁCEOS ISÓTOPOS	34
2.2.9. BIOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE LAS LOMBRICES	36
2.2.10. LOMBRIZ ROJA	37
2.2.11. TAXONOMÍA	37
2.2.12. REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS.....	38
2.2.13. ESTRUCTURA DEL SUELO	39
2.2.14. LOS METALES PESADOS EN EL SUELO	40
2.2.15. PROCEDENCIAS DE LOS METALES PESADOS EN LOS SUELOS.....	41
2.2.16. CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR METALES PESADOS	42
2.2.17. TIPOS DEL SUELO SEGÚN SU USO.....	43
2.2.18. DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO ...	44
2.2.19. REMOCIÓN DE METALES	44
2.2.20. BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS	44
2.2.21. METALES PESADOS.....	45
2.2.22. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y GENERACIÓN DE ESTOS METALES.....	46

2.2.23. APRUEBAN ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL	46
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.....	47
2.3.1. COCHINILLA DE LA HUMEDAD	47
2.3.2. LOMBRIZ ROJA	47
2.3.3. REMEDIACION DE SUELOS	47
2.3.4. METALES PESADOS.....	48
2.3.5. SUELOS CONTAMINADOS	48
2.3.6. SUELOS AGRÍCOLAS	48
2.3.7. BIORREMEDIACIÓN ANIMAL	48
2.3.8. CULTIVO DE CACAO.....	49
2.4. HIPÓTESIS	49
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	49
2.5. VARIABLES	49
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN	49
2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA	49
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	50
CAPÍTULO III.....	51
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	51
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	51
3.1.1. ENFOQUE	51
3.1.2. ALCANCE.....	52
3.1.3. DISEÑO	52
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	54
3.2.1. POBLACIÓN.....	54
3.2.2. MUESTRA	54
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS ..	55
3.3.1. PROTOCOLO PARA EL MUESTREO DE SUELO	56

3.4. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS	57
CAPÍTULO IV.....	59
RESULTADOS.....	59
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	59
4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	73
4.2.1. PRUEBA DE NORMALIDAD	73
CAPITULO V.....	74
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	74
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82
ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas y Desventajas de las Tecnologías de Remediación In situ y Ex situ.....	30
Tabla 2 Taxonomía de la Cochinilla de la Humedad.....	33
Tabla 3 Taxonomía de la Lombriz Roja (<i>Eisenia foetida</i>).....	37
Tabla 4 Estructura del suelo	40
Tabla 5 Metales pesados esenciales y no esenciales	41
Tabla 6 Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo	46
Tabla 7 Operacionalización de la variable	50
Tabla 8 Localización de la Población	54
Tabla 9 Ubicación Geográfica de la Población	54
Tabla 10 Indicadores e Instrumentos de la calidad del suelo.....	55
Tabla 11 Parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con el CH y la LR en suelos destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025	59
Tabla 12 Parámetros químicos (CE, pH, Materia Orgánica, N, C) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR.	61
Tabla 13 Parámetros químicos (Mg, K, Na, AL, H) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR	62
Tabla 14 Parámetros químicos (Bases cambiables, Acidez cambiable, Saturación de Aluminio) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR	63
Tabla 15 Parámetros químicos (Ca, ClCe) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR	64
Tabla 16 Parámetros químicos (P, k2O) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR	65
Tabla 17 Descripción de la capacidad de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025	67
Tabla 18 Descripción de la capacidad de la cochinilla de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por plomo destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025	68

Tabla 19 Descripción de la capacidad de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por Zinc destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025	70
Tabla 20 Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk	72
Tabla 21 Prueba estadística: t de Student para muestras independientes ..	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Objetivos de la Remediación.....	29
Figura 2 Esquema de los Factores de la Remediación.....	29
Figura 3 Clasificación de las Tecnologías de Remediación	31
Figura 4 Representación Gráfica de la Cochinilla	33
Figura 5 Crecimiento de Crías en la Placa Marsupial de Crustáceos Isópodos.....	35
Figura 6 Representación Gráfica de la Lombriz Roja (<i>Eisenia foetida</i>)	38
Figura 7 Perfil y Horizontes del Suelo	39
Figura 8 Metales Pesados.....	45
Figura 9 Parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con el CH y la LR en suelos destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.	60
Figura 10 Parámetros químicos (CE, pH, Materia Orgánica, N, C) antes y después de la remoción de metales pesados con la CL y la LR.....	61
Figura 11 Parámetros químicos (Mg, K, Na, AL, H) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR.	63
Figura 12 Parámetros químicos (Bases cambiables, Acidez cambiable, Saturación de Aluminio) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR.....	64
Figura 13 Parámetros químicos (Ca, ClCe) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR0	65
Figura 14 Parámetros químicos (P, k2O) antes y después de remoción de metales pesados con la CH y la LR	66
Figura 15 Descripción de la capacidad de la CH Y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025	67
Figura 16 Descripción de la capacidad de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por plomo destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025	69
Figura 17 Descripción de la capacidad de la cochinilla de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por Zinc destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025	70

Figura 18 Concentración de plomo, cadmio y zinc en cada tratamiento de la CH y la LR comparando el pre - test y post – test mediante un FOREST PLOP..... 71

RESUMEN

La presente investigación titulada “Eficacia de la capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025” se desarrolló con el objetivo de evaluar la capacidad de estos dos organismos como agentes de biorremediación en suelos agrícolas contaminados por metales pesados como cadmio, plomo y zinc. La metodología de la investigación tuvo un enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, analítica, prospectiva y longitudinal. Se utilizó un método experimental con un PRE-TEST y un POST-TEST, la población utilizada fue de 80kg de suelo contaminado por metales pesados con concentraciones de 50, 100, 150 y 200 *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida* por un periodo de tres meses. Para obtener los resultados se utilizó las pruebas estadísticas inferenciales, como la prueba de normalidad de Shapiro Wilk y subsiguentemente, la prueba t de Student. En la prueba de normalidad se obtuvo el P- valor para la cochinilla de 0.793 y para la lombriz 0.932, dando a conocer que los datos siguen una normalidad ya que son más de 0.05. Los resultados permitieron demostrar que ambos biorremediadores presentaron una capacidad significativa en la remoción de metales pesados, siendo eficaces particularmente frente al cadmio con concentraciones de 200C con una reducción de 1.25 y con concentraciones de 200L con una reducción de 1.28, en el plomo utilizando 200C se tuvo una reducción de 52.59 y con 200L se tuvo una reducción de 45.63. Se evidenció también una mejora en las propiedades físicas y químicas del suelo. La investigación concluye que el uso de la cochinilla de la humedad y la lombriz roja no solo contribuye a la remoción de metales pesados, sino que además representa una estrategia viable para mejorar la calidad del suelo. Finalmente, se recomienda la implementación de estas prácticas como alternativa de bajo costo y alto impacto ambiental para enfrentar la contaminación de suelos agrícolas en el Perú.

Palabras clave: Biorremediación, Cochinilla de la humedad, Lombriz Roja, Metales pesados, Cadmio, Plomo y Zinc.

ABSTRACT

The present research entitled "Effectiveness of the remedial capacity of the woodlice (*Porcellio laevis*) and the red worm (*Eisenia foetida*) for the removal of heavy metals in contaminated soils destined for cocoa crops in the city of Tingo María - 2025" was developed with the objective of evaluating the capacity of these two organisms as bioremediation agents in agricultural soils contaminated by heavy metals such as cadmium, lead and zinc. The research methodology had a quantitative approach, applied, analytical, prospective and longitudinal. An experimental method was used with a PRE-TEST and a POST-TEST, the population used was 80kg of soil contaminated by heavy metals with concentrations of 50, 100, 150 and 200 *Porcellio laevis* and *Eisenia foetida* for a period of three months. To obtain the results, inferential statistical tests were used, such as the Shapiro-Wilk normality test and subsequently, the Student t-test. In the normality test, the P- value was 0.793 for the cochineal and 0.932 for the earthworm, indicating that the data follow normality since they are greater than 0.05. The results showed that both bioremediators presented a significant capacity in the removal of heavy metals, being particularly effective against cadmium with concentrations of 200C with a reduction of 1.25 and with concentrations of 200L with a reduction of 1.28; in lead using 200C there was a reduction of 52.59 and with 200L there was a reduction of 45.63. An improvement in the physical and chemical properties of the soil was also evident. The research concludes that the use of woodlice and red worms not only contributes to the removal of heavy metals but also represents a viable strategy for improving soil quality. Finally, the implementation of these practices is recommended as a low-cost, high-environmental-impact alternative to address agricultural soil contamination in Peru.

Keywords: Bioremediation, Common Woodlouse, Red Worm, Heavy Metals, Cadmium, Lead, Zinc.

INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo constituye un pilar fundamental para el desarrollo de los ecosistemas agrícolas, especialmente en contextos como el del cultivo de cacao en la región amazónica del Perú. No obstante, en las últimas décadas, diversos estudios han evidenciado una creciente presencia de metales pesados en suelos destinados a la agricultura, producto principalmente de actividades antrópicas como la minería, el uso intensivo de agroquímicos, y la disposición inadecuada de residuos industriales y urbanos (Galán Huertos & Romero Baena, 2008). Este tipo de contaminación no solo compromete la fertilidad del suelo y el equilibrio ecosistémico, sino que también genera barreras comerciales debido a los estándares internacionales que regulan la calidad de los productos agrícolas, especialmente aquellos orientados a la exportación, como es el caso del cacao.

En el contexto nacional, regiones como Huánuco, en particular la ciudad de Tingo María, han experimentado niveles significativos de contaminación por metales como el cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn), elementos que, al exceder los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos por el Ministerio del Ambiente (2017), representan un riesgo para la salud humana, el ambiente y la economía agrícola local. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la pérdida de fertilidad y la toxicidad asociada a los metales pesados reducen la productividad de los suelos y la capacidad de las plantas para absorber nutrientes, impactando directamente en la calidad del producto final.

Frente a esta problemática, se ha venido desarrollando e implementando tecnologías de remediación sostenibles y de bajo impacto ecológico, entre ellas la biorremediación mediante el uso de organismos vivos. En particular, la investigación se centra en dos especies con reconocidas capacidades remediadoras: la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*), organismos que actúan como bioacumuladores al absorber y retener metales pesados presentes en el suelo. Diversas investigaciones respaldan su efectividad en ambientes contaminados. Por ejemplo, Bautista et al. (2023) destacan que el *Porcellio laevis* es capaz de cristalizar los iones

metálicos y retenerlos en su intestino medio, reduciendo así la toxicidad del sustrato. De igual forma, Ríos (2020) señala que la *Eisenia foetida* no solo mejora las condiciones fisicoquímicas del suelo, sino que también participa activamente en la bioacumulación de metales pesados, siendo un indicador efectivo de la salud del ecosistema edáfico. Cabe resaltar que estas especies presentan ventajas significativas desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental: se alimentan de materia orgánica, favorecen la aireación del suelo, aumentan la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo, y mejoran la estructura y retención hídrica del sustrato (Pardave Tineo, 2023). Además, su implementación es económicamente viable, dado que no requiere de grandes inversiones tecnológicas y puede aplicarse a escala local con participación comunitaria.

La presente investigación tuvo como propósito evaluar la eficacia comparativa de *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida* en la remoción de cadmio, plomo y zinc en suelos contaminados de Tingo María, específicamente en terrenos destinados al cultivo de cacao, con el propósito de identificar qué organismo presenta mayor capacidad remediadora bajo condiciones controladas. Para ello, se desarrolló un diseño experimental verdadero con mediciones antes y después de la intervención, considerando parámetros físicos, químicos y niveles de metales pesados, en función de los criterios de evaluación ambiental establecidos en la normativa nacional.

Desde el enfoque profesional de la ingeniería ambiental, esta investigación no solo representa un aporte al conocimiento científico sobre mecanismos de biorremediación, sino también una propuesta técnica viable para enfrentar una problemática de alcance global con soluciones adaptadas a contextos locales. En ese sentido, se busca no solo mitigar el impacto ambiental de los metales pesados, sino también promover el desarrollo sostenible de las comunidades agrícolas.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La presencia de metales pesados en el suelo es perjudicial, ya que altera las propiedades físicas, químicas y biológicas, los suelos contaminados por metales pesados ya no son aptos para la agricultura ya que pierde su calidad e impide el desarrollo de las plantas.

Hace unos años el Perú ha sido calificado como uno de los grandes productores de cacao, exportando un cacao fino y aromático a diferentes países como Holanda, Francia, Italia, Estados Unidos, entre otros. No obstante, el mercado extranjero solicita ciertos requisitos como la limitación de metales pesados en el cacao, ya que en la semilla del cacao hay existencia de metales pesados tales como el cadmio, entre otros.

El cultivo de cacao en el Perú es de suma importancia; gracias a los programas que fomentan el cultivo de cacao se logró 144 232 hectáreas, estos cultivos se dan en lugares de la selva peruana tales como Ucayali y Huánuco, en los últimos años se generó una preocupación para los países exportadores y productores porque en la semilla del cacao se encontró metales pesados y como este es un alimento que se consume pues puede llegar a ocasionar afecciones a la salud ocasionando que disminuya las compras por parte del mercado internacional.

Los metales pesados que se encuentran en los alimentos provienen de diversas fuentes. En el caso del cacao, es probable que la contaminación del producto ocurra durante su cultivo, producción y procesamiento. Los metales reciben la denominación de elementos traza, dado que su presencia en los alimentos puede ser inferior a 50 mg/kg, pero aun así tienen el potencial de ocasionar efectos tóxicos.

Mediante investigaciones se pone en evidencia que hay presencia de metales pesados en cultivos de cacao tales como plomo, cadmio, zinc, arsénico y antimonio, para el cual en esta investigación tomaré como un indicador remediador de metales pesados a la cochinilla de la humedad

(*Porcellio laevis*) y a la lombriz roja (*Eisenia foetida*) estos son capaces de absorber metales pesados como Plomo, cadmio y otros, almacenándolos en su depósito esférico en su interior, lo que conlleva a la limpieza del suelo previniendo de esta forma la contaminación del suelo. Además, este artrópodo y anélido estabilizan las condiciones del crecimiento de la planta y protegen las aguas subterráneas, procesan la materia orgánica en su sistema digestivo produciendo nitratos y fosfatos que son benéficos para la planta y el suelo.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

- ¿Cuál es la eficacia de la capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuáles son los parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en suelos contaminados por metales pesados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?
- ¿Cuáles son los parámetros químicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en suelos contaminados por metales pesados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?
- ¿Cuál es la eficacia entre capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?
- ¿Cuál es la eficacia entre la capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para

la remoción de metales pesados en suelos contaminados por plomo destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?

- ¿Cuál es la eficacia entre la capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por Zinc destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar la eficacia de la capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir los parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.
- Describir los parámetros químicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.
- Determinar la eficacia entre la capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.
- Determinar la eficacia de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por plomo destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.

- Determinar la eficacia de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por Zinc destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación realizada fue por la problemática que presentan los terrenos de cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María, estos terrenos se han visto afectados a causa de metales pesados como plomo, cadmio y zinc, reflejando un problema ambiental, para la salud humana y para la economía de los pobladores. Con esta investigación se buscó mejorar la calidad del suelo de estos cultivos, utilizando biorremediadores como la cochinilla de la humedad y la lombriz roja.

La contaminación del suelo por metales pesados es uno de los grandes problemas que existen en el Perú, este se da por las diferentes actividades humanas, tales como la minería, las industrias, agricultura, entre otros. En los últimos años, esta problemática ha sido identificada en los cultivos de cacao, se ha observado metales pesados como el cadmio, plomo, níquel, zinc, entre otros.

En esta investigación se buscó evaluar la eficacia que tiene la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos destinados a cultivos de cacao mediante la remediación.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Para la investigación se está recopilando información de diversas fuentes que destacan la relevancia de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) en la absorción de metales pesados, ya que estos organismos se alimentan de materia orgánica y desempeñan un papel crucial en la biorremediación de suelos contaminados. Las cochinillas contribuyen a la reducción de la toxicidad en los cultivos, promoviendo un entorno más saludable para el crecimiento de las plantas. Además, se incorporará la lombriz roja (*Eisenia foetida*), reconocida como un

bioindicador clave de la salud de los ecosistemas. Esta especie ha sido objeto de numerosos estudios que analizan su respuesta ante la exposición a metales pesados, revelando su capacidad para bioacumular estos contaminantes y proporcionar información sobre el estado de la contaminación en el suelo. La combinación de ambos organismos en esta investigación permitirá una evaluación integral de su potencial en la remediación de suelos contaminados y su papel en el fomento de prácticas agrícolas más sostenibles.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En la presente investigación la utilización de la cochinilla de la humedad y de la lombriz roja para la remoción de metales pesados en suelos destinados a cultivos de cacao, creó una alternativa de mejora para la calidad del suelo, ya que se obtuvo buenos resultados, principalmente la disminución de cadmio y plomo, esto muestra la eficacia que tuvieron los dos biorremediadores para el suelo contaminado

1.4.3. JUSTIFICACIÓN SOCIAL

Una vez que la investigación concluyó, se compartió los resultados obtenidos con los dueños del terreno, se explicó la cantidad de reducción de metales que se obtuvo gracias a los dos biorremediadores utilizados, se sensibilizó para que puedan optar por este método ya que no genera gasto y de esta forma poder mejorar la calidad de sus suelos de cultivos y también para obtener un mejor cacao.

1.4.4. JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

La ejecución de esta investigación tendrá un impacto positivo en el medio ambiente al enfocarse en la recuperación de la calidad de los suelos destinados a los cultivos de cacao. La utilización de organismos como la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foestida*) para la remoción de metales pesados no solo mitigará la contaminación del suelo, sino que también evitará su degradación. Al mejorar las condiciones del suelo se dará un desarrollo óptimo en las plantaciones de cacao, se tendrá una producción de un cacao de alta

calidad, esencial para cumplir con los estándares del mercado internacional. Además, un suelo saludable mejora la biodiversidad y la resiliencia del ecosistema, lo que contribuye a la sostenibilidad agrícola a largo plazo.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- Durante la investigación fue un poco tedioso recopilar la información por las variables que se había elegido.
- El acceso al lugar donde se llevó a cabo la investigación se encuentra a 3 horas de distancia de la ciudad de Huánuco, siendo este el lugar donde se realizó la recopilación de muestras para su respectivo análisis.
- Para la recopilación de muestras de suelo para el PRE-TEST fueron dos días, ya que el primer día el clima no era favorable por la presencia de lluvia.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

- Se contó con un docente de la Universidad quien me apoyó con el asesoramiento para la ejecución de la parte experimental.
- Esta investigación es significativa a nivel local, provincial y nacional ya que la problemática existente es a nivel mundial.
- Se contó con las herramientas para la recopilación de información y de muestras.
- Se contó con tiempo como tesista para llevar a cabo la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. INTERNACIONALES

Ordoñez et al. (2020) en su revista científica “Análisis de cadmio, plomo, níquel y arsénico en plantas de cacao y derivados: industria alimentaria”, tuvo como objetivo la revisión de diferentes artículos científicos para evaluar la problemática de metales pesados presentes en cultivos de cacao, la metodología utilizada fue la verificación de artículos tomando en cuenta diversos criterios para su evaluación. En los resultados obtenidos se muestra que cambiar la forma en que se procesa el cacao después de la cosecha o combinar diferentes tipos de cacao al hacer chocolate podría ayudar a disminuir los niveles de Cd. La cantidad de plomo en las almendras de cacao ya sea alta o baja, no necesariamente afectará en el producto final. Sin embargo, ciertos procesos como el tostado, prensado, molienda y conchado pueden aumentar la cantidad de este metal en el producto. Además, la maquinaria utilizada también podría aumentar la contaminación con plomo. En el caso del níquel se encuentra en concentraciones bajas en el cacao, se debe tener en cuenta que se encuentra níquel en toda la superficie terrestre. En sus conclusiones mencionaron que el plomo y el níquel se encuentran presentes en los cultivos de cacao, en caso del plomo este es muy móvil en cultivos orgánicos.

Bautista et al. (2023) en su artículo científico titulado “Papel de la cochinilla oniscidea en la zoorremediación”, tuvo como objetivo analizar el papel que cumple la cochinilla en la descomposición de materia orgánica y en la disminución de metales pesados que se encuentran en los suelos, la metodología que utilizaron fue la observación de diferentes terrenos, datos, mapas de ubicación para las áreas de estudio y cuestionarios para los municipios del lugar, de esta forma pudieron obtener información significativa sobre la cochinilla, analizándolas en

diferentes condiciones ambientales de cada municipio. Los resultados obtenidos fue que se pudo confirmar que la cochinilla oniscidea descompone la materia orgánica y es eficaz para contrarrestar y erradicar la presencia de metales pesados en el suelo. En sus conclusiones dieron a conocer que la cochinilla es un organismo de interés para realizar diversas investigaciones ya que tiene un impacto positivo en el ambiente y se puede utilizar como una herramienta eficaz para la zoorremediación y de restauración ambiental.

Chancay y Salas (2022) en su revista científica titulada “Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) y sus efectos ambientales”, tuvo como objetivo detallar los efectos ambientales negativos que ocasiona el cadmio sobre la planta de cacao, de igual forma afecta al agua, al suelo a la salud de las personas y en lo socioeconómico. La metodología utilizada fue la selección, interpretación y análisis de información existente en repositorios, con relación a la caracterización del cultivo de cacao y los efectos que tiene el cadmio sobre los componentes del ecosistema. Como resultados el cadmio se acumula en diferentes partes de la planta en un orden específico: raíces, tallos, hojas, cáscara y granos. Esto se debe a transportadores específicos que mueven el cadmio a través de la planta. Las raíces absorben el cadmio del suelo y el agua, y este se traslada a otras partes de la planta, lo que puede contaminar el producto final. Como conclusiones tienen que el cadmio es considerado uno de los metales más tóxicos que inhibe los procesos fisiológicos de las plantas debido a su alta biodisponibilidad, lo que plantea un riesgo significativo para la salud humana. La presencia de cadmio (Cd) también constituye una barrera para la comercialización y exportación del cacao, debido a los niveles alarmantes de este metal en los granos de cacao.

2.1.2. NACIONALES

Huaranga et al. (2021) en su artículo titulado “Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro *Lolium multiflorum L.* (Poaceae)”, se planteó como objetivo determinar la concentración de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en

suelos contaminados, utilizando la espectrofotometría de absorción atómica como metodología de análisis. Los resultados mostraron que la concentración de metales absorbidos siguió la tendencia $Pb > Cd$, siendo el plomo el metal con mayor absorción a los 65, 95 y 125 días de experimentación. El material de estudio consistió en muestras de suelos agrícolas contaminados con 300 mg/kg de Pb y 15 mg/kg de Cd, asociadas con plántulas de rabo de zorro (*Lolium multiflorum*) provenientes de semillas del campo experimental de Ecología de la Universidad Nacional de Trujillo, cuyo origen fue la Dirección Regional de Agricultura-Cajamarca. Los promedios de los parámetros medidos durante la recolección de muestras fueron los siguientes: en las relaveras, temperatura de 23,8 °C, humedad relativa de 60,0 % y pH 6,4; en la zona de toma de muestras de suelo, temperatura de 24,8 °C, humedad relativa de 69,0 % y pH 6,8. El *Lolium multiflorum* mostró variaciones en la absorción de Pb y Cd según las concentraciones experimentales. Para el plomo, la concentración inicial en el material experimental fue de 200,000 mg/kg, mientras que la concentración mínima registrada fue de 1,545 mg/kg (0,77 % de absorción) a los 125 días, en el órgano hoja. Se determinó que el valor promedio máximo de absorción de Pb por *Lolium multiflorum* en el suelo contaminado alcanzó el 16,47 % a nivel de raíz. En el caso del cadmio, el porcentaje máximo de absorción fue de 0,94 %, observado a los 95 días de experimentación.

Chancay & Rojas (2023) en su proyecto de investigación “El vermicompost, una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Mina Yauricocha 2023”, tuvo como objetivo analizar el vermicompost como una opción viable para la restauración de suelos contaminados con metales pesados en la mina Yauricocha. La metodología que utilizaron fue la recopilación de información utilizando palabras clave como vermicompost, metales pesados y biopilas. Posteriormente, seleccionaron los estudios con datos relevantes, comenzando con aquellos enfocados en los metales pesados y luego en las biopilas. Finalmente, los datos los organizaron en tablas para facilitar su análisis. Como resultados obtuvieron que el

vermicompost es efectivo en la eliminación de metales, alcanzando una remoción del 93 % para el plomo, 86,7 % para el cobre y 88 % para el zinc. Por su parte, las biopilas muestran una eficiencia de hasta el 95 % como técnica de biorremediación. En sus conclusiones muestran que el vermicompost representa una opción viable para la recuperación de suelos contaminados con metales como plomo, cobre y zinc en la mina Yauricocha. Además, las biopilas destacan por su alta eficiencia y simplicidad en su aplicación como técnica de biorremediación.

Arenasa 2021) en su proyecto “Aplicación de Vermicompost para la remediación de suelos contaminados por metales pesados”, tuvo como objetivo evaluar y sintetizar la efectividad del vermicompost como estrategia de remediación en suelos contaminados por metales pesados, analizando su impacto en la bioacumulación, la mejora de la calidad del suelo y la rehabilitación de ecosistemas afectados. La metodología utilizada fue hacer una revisión sistemática sobre el uso del vermicompost para la remediación de suelos contaminados con metales pesados. Se analizó la relación entre la materia prima utilizada y las características del vermicompost, se consideraron 26 estudios. Como resultados se obtuvo que los materiales más comunes empleados son el estiércol de vaca y los residuos vegetales. Además, factores como el pH, la humedad, la conductividad eléctrica y la relación C/N influyen positivamente en el proceso de vermicompostaje y en las propiedades finales del vermicompost. Asimismo, se concluyó que la aplicación de vermicompost mejora las propiedades del suelo y reduce la disponibilidad y movilidad de los metales pesados, lo que lo hace una opción altamente eficiente.

2.1.3. LOCALES

Pardave (2023) en su proyecto titulado “Eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (*porcellio laevis*) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados”, tuvo como objetivo analizar la efectividad de la biorremediación mediante el uso de crustáceos isópodos para disminuir los niveles de metales pesados en suelos contaminados. La metodología utilizada tuvo un enfoque

analítico, con intervención, de tipo prospectivo y longitudinal. El diseño fue experimental, incluyendo una prueba previa y un grupo control. Los resultados que obtuvieron fue por las pruebas estadísticas e comparaciones múltiples de Tukey, se observó que 15 metales presentaron diferencias significativas entre los tratamientos 1, 2 y 3. Dado que no existe una normativa específica para los 35 metales analizados, se evaluó la eficacia de los tratamientos comparando los resultados con normativas nacionales e internacionales, como los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de Perú, la normativa mexicana y la normativa BOPA de Asturias, España, para suelos destinados a actividades industriales, llegó a la conclusión de la eficacia en la reducción de metales que cuentan con normativas de estándares de calidad establecidos. Sin embargo, algunos metales muestran una disminución en su concentración promedio a lo largo de los tratamientos, pero debido a la falta de estándares de calidad definidos para estos elementos, no es posible evaluar con precisión la eficacia de *Porcellio laevis* en su remediación.

Cuyubamba (2021) en su tesis titulada “Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el suelo sobre la densidad del bioindicador (*Eisenia foetida*) en los cultivos de cacao (teobroma cacao), Huamalies, Huánuco – 2020”, tuvo como objetivo análisis de la presencia de metales pesados en el suelo de los cultivos de cacao (*Theobroma cacao*) y en las lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) que habitan en la zona de estudio. La metodología que utilizó consistió en hacer 5 calicatas de 1m x 1m, con una profundidad mínima aproximada de 30 cm, empleando un muestreo aleatorio simple. En cada calicata se tomaron 5 muestras de suelo superficial, cada una con un peso de 1 kg, además de recolectar lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) presentes en cada una de ellas. Como resultados obtuvo que los metales con más presencia de contaminación fue el plomo, cadmio y dando el tercer lugar es el zinc. Concluyó que por parte de la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) si hay absorción de metales como el plomo, cadmio y entre otros. Sin embargo, la absorción de ciertos metales es más evidente que la de otros. Se

observó que la densidad poblacional de las lombrices tiene una relación inversa con la concentración de cadmio, mientras que en el caso del plomo, la densidad poblacional no parece influir, ya que su presencia fue mínima en el análisis.

Chaupis (2023) en su proyecto titulado “Eficacia de la lombriz (*Eisenia foetida*) para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados en suelos de cultivo de cacao Huánuco”, tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la lombriz *Eisenia foetida* en suelos utilizados para el cultivo de cacao, mediante el análisis de parámetros mecánicos, variables intercambiables y químicos, tales como los niveles de plomo, cadmio, fósforo y potasio, La metodología que utilizaron se enmarca dentro de un estudio prospectivo, con intervención, de carácter analítico y longitudinal, utilizando un diseño experimental. La muestra estuvo constituida por 5 kg de suelo de cultivo de cacao. Para ello, se realizó una calicata de 1 m x 1 m con una profundidad aproximada de 30 cm, seleccionada de manera aleatoria simple mediante muestreo de suelos superficiales, abarcando una hectárea de cultivo de cacao. Como resultados obtuvo que la concentración promedio de plomo en los suelos es de 3.638 ppm, mientras que la de cadmio es de 0.001 ppm. En cuanto a los nutrientes, se observó un promedio de 58.712 ppm para el fósforo y de 230.211 ppm para el potasio. Llegó a la conclusión de una disminución en la concentración de metales pesados, como cadmio y plomo, debido a la actividad de las lombrices de tierra (*Eisenia foetida*). Asimismo, los niveles de fósforo y potasio indican que el suelo contiene una cantidad adecuada de nutrientes, lo que sugiere su fertilidad.

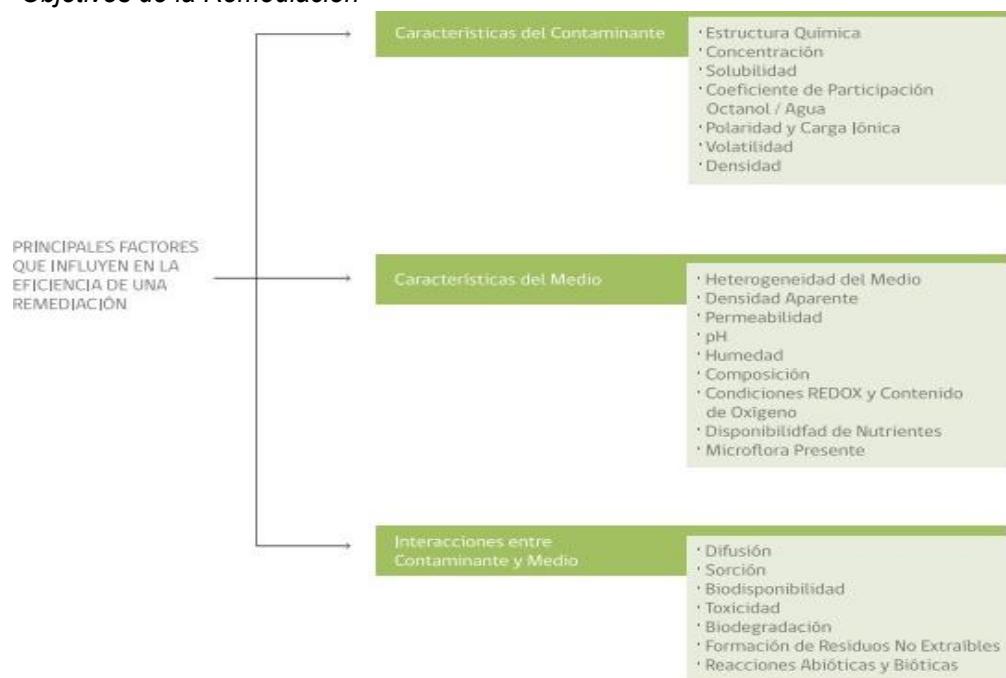
2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. CAPACIDAD REMEDIADORA

Las técnicas de remediación constituyen una solución efectiva para tratar los desechos peligrosos presentes en el suelo que no han recibido un tratamiento adecuado. Tradicionalmente, la remediación de suelos contaminados con sustancias potencialmente tóxicas se ha basado en métodos de ingeniería y tratamientos fisicoquímicos. Por otro lado, la Biotecnología del Suelo surge como una disciplina clave dentro de la Ciencia del Suelo, demostrando el gran potencial de los microorganismos para mejorar la calidad del suelo, degradar e inmovilizar contaminantes y favorecer el crecimiento de las plantas, además de proporcionarles protección frente a diversos factores ambientales adversos (Huiza, 2019).

Existen tres estrategias básicas de remediación que pueden aplicarse de manera independiente o combinada para tratar las áreas más contaminadas. Demolición o transformación de contaminantes: Esta estrategia busca alterar la estructura química de los contaminantes para reducir su toxicidad o movilización. Extracción o separación: Consiste en remover los contaminantes del suelo afectado aprovechando sus propiedades químicas o físicas, como la volatilidad, solubilidad o carga eléctrica, para aislarlos del medio. Normalización, solidificación o tratamiento fisicoquímico: Esta estrategia involucra la estabilización de los contaminantes mediante métodos que pueden ser físicos o químicos, de modo que se reduzca su movilidad y se minimice su impacto ambiental. Estas estrategias permiten diseñar procesos de remediación adaptados a las características del sitio y del contaminante presente (Aquino & Checcori, 2021).

Figura 1
Objetivos de la Remediación



Nota: La figura 1 esquematiza un resumen de los pasos que dan origen a un proceso de remediación. Obtenido de (Fundación Chile, 2015).

2.2.2. PRINCIPALES FACTORES DE LA REMEDIACIÓN

Los principales factores que determinan la eficiencia de un proceso de remediación de contaminantes incluyen: el tipo de contaminante, las características del medio (condiciones geológicas y químicas) y tipo de interacciones que se generan dentro del medio (Fundación Chile, 2015).

Figura 2
Esquema de los Factores de la Remediación



Nota. La figura 2 muestra los principales factores que influyen en la eficiencia de una remediación. Obtenido de (Fundación Chile, 2015).

2.2.3. TÉCNICAS DE REMEDIACIÓN

Los tipos de técnicas de remediación se clasifican en los siguientes enfoques:

- a. **In situ:** Se trata de aplicaciones en las que el suelo contaminado es tratado directamente en su ubicación, o en las que los contaminantes son eliminados sin necesidad de excavar ni transportar el material fuera del sitio, permitiendo una remediación más segura y eficiente.
- b. **Ex situ:** La realización de este tipo de tecnologías implica la excavación o cualquier otro método para retirar el suelo contaminado antes de su tratamiento que puede realizarse en el mismo sitio o fuera del (Fundación Ecopuerto., s.f.).

Tabla 1

Ventajas y Desventajas de las Tecnologías de Remediación In situ y Ex situ

	In situ	Ex situ
Ventajas	<ul style="list-style-type: none">• Permiten tratar el suelo sin necesidad de realizar excavaciones ni transporte.• Potencial minimización de costos.	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo de tratamiento más corto.• No presentan riesgos en cuanto a uniformidad y heterogeneidad y permite muestrear cada cierto tiempo.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• Tiempo de tratamiento prolongado.• Pueden presentar riesgos en cuanto a uniformidad y heterogeneidad en las propiedades físicas o químicas del suelo.• Dificultad para evaluar con precisión la eficacia del proceso.	<ul style="list-style-type: none">• Requieren excavación del suelo.• Incremento en costos e ingeniería para maquinarias• Implica la manipulación directa del suelo y aumenta la exposición a los contaminantes.

Nota. La tabla muestra las ventajas y desventajas que tiene ambas técnicas y remediación. Obtenido de (Fundación Ecopuerto., s.f.).

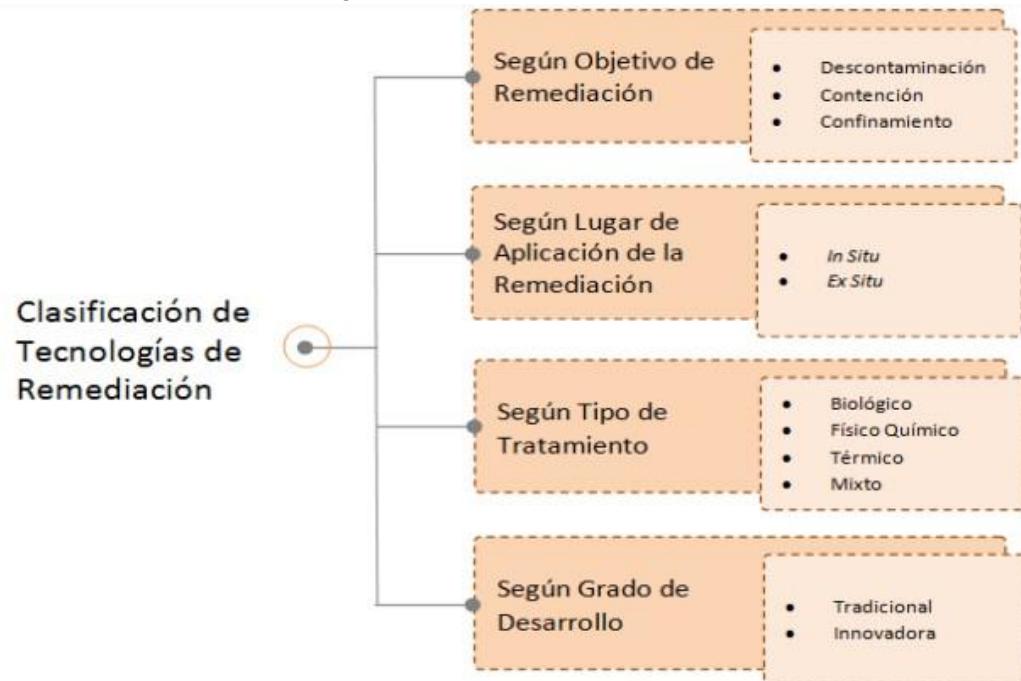
2.2.4. TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN DE SUELOS

En términos generales, las tecnologías de remediación de suelos y aguas subterráneas comprenden todas aquellas operaciones orientadas a disminuir la toxicidad, movilidad o concentración de los contaminantes presentes en el medio. Esto se logra mediante la modificación de la composición de las sustancias peligrosas o del propio entorno, a través de procesos químicos, físicos o biológicos. La selección de la tecnología más adecuada depende de múltiples factores, entre ellos las características del suelo y del contaminante, la eficacia esperada del tratamiento, la viabilidad técnica y económica, y el tiempo necesario para su ejecución. Asimismo, existe una amplia variedad de tecnologías de remediación que pueden clasificarse según distintos criterios, como el objetivo del proceso, el lugar donde se lleva a cabo la intervención y el tipo de tratamiento empleado (Alcaino, 2012).

A continuación, se muestra un gráfico que resume la clasificación.

Figura 3

Clasificación de las Tecnologías de Remediación



Nota. La figura muestra el esquema de la clasificación y las subdivisiones de la clasificación de la remediación. Obtenido de (Alcaino, 2012).

2.2.5. COCHINILLA DE LA HUMEDAD

Las cochinillas, cuyo nombre científico es *Porcellio laevis*, las encontramos debajo de cualquier ladrillo o piedra que tuviéramos en el jardín. En zonas húmedas y siempre escondiéndose de la intemperie. Se alimentan principalmente de materia orgánica en descomposición, lo que las convierte en organismos esenciales para el mantenimiento y saneamiento de los ecosistemas terrestres. Gracias a su dieta, contribuyen a la limpieza de las aguas subterráneas y a la purificación del suelo donde se desarrollan las plantas. Su capacidad natural para descomponer y asimilar compuestos contaminantes les otorga un importante rol biológico, actuando como agentes depuradores del suelo y ayudando en la eliminación de metales pesados y otras sustancias tóxicas presentes en el entorno (Ideas, 2021).

La cochinilla oniscidea, reconocida científicamente como un crustáceo terrestre, desempeña un papel destacado en el campo de la zoorremediación, un enfoque innovador que utiliza organismos vivos principalmente animales para disminuir la concentración de contaminantes en distintos entornos, con especial énfasis en la recuperación de suelos contaminados por metales pesados. Este organismo presenta notables adaptaciones a la vida terrestre, caracterizadas por un cuerpo ovalado y aplanado, protegido por una resistente armadura de quitina. Se encuentra habitualmente en ambientes húmedos, como bosques y jardines, donde se alimenta de materia vegetal en descomposición, contribuyendo así al reciclaje de nutrientes. Además, la cochinilla oniscidea posee una eficiente estrategia defensiva: la capacidad de enrollarse formando una esfera, lo que le permite protegerse de depredadores y conservar la humedad corporal (Bautista et al., 2023).

2.2.6. TAXONOMÍA

Tabla 2

Taxonomía de la Cochinilla de la Humedad

Reino:	Animalia
Filo:	Arthropoda
Subfilo:	Crustacea
Clase:	Malacostraca
Orden:	Isopoda
Nombre:	Oniscidea

Nota. La tabla muestra el orden taxonómico de la Cochinilla (Morgan, 2016).

Figura 4

Representación Gráfica de la Cochinilla



Nota. La figura 4 muestra la representación gráfica de la cochinilla. Obtenido de (National Geographic España., 2022).

2.2.7. IMPORTANCIA DE LOS CRUSTÁCEOS ISÓPODOS

Pardave (2023). Los isópodos, también conocidos como crustáceos terrestres, constituyen un componente esencial de los ecosistemas edáficos por las funciones ecológicas que desempeñan y su contribución a la calidad del suelo. Estos organismos cumplen un rol fundamental en el ciclo de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la formación de la estructura del suelo. Participan activamente en la degradación del material vegetal, favoreciendo la liberación de nutrientes como nitrógeno y fósforo, esenciales para la productividad del

ecosistema. Asimismo, sus actividades de excavación promueven la agregación del suelo, incrementando su porosidad y facilitando la infiltración del agua. Debido a su sensibilidad a las alteraciones ambientales, los isópodos son utilizados como bioindicadores para evaluar la salud del suelo y los efectos de los cambios en el uso de la tierra o en las prácticas de manejo agrícola y forestal. Diversas investigaciones evidencian que la composición y abundancia de las poblaciones de isópodos varían según el tipo de cobertura vegetal y uso del suelo. Las modificaciones en estos factores, como la deforestación o las actividades agrícolas intensivas, pueden reducir su diversidad y abundancia, generando impactos en cascada sobre los procesos del suelo y el equilibrio del ecosistema. Además de su función ecológica directa, los isópodos forman parte importante de la red trófica, sirviendo de alimento a aves, mamíferos y otros invertebrados, lo que refuerza su papel en el mantenimiento de la biodiversidad y la estabilidad ecológica de los ecosistemas terrestres.

2.2.8. CICLO DE VIDA DE LOS CRUSTÁCEOS ISÓTOPOS

Heart of England Forest (2023) indica que el ciclo de vida de los isópodos tiene una duración aproximada de 41 meses y comprende cinco etapas o fases de desarrollo:

Huevo: Los huevos se encuentran alojados en la bolsa marsupial, tal como se muestra en la figura 5. Esta etapa tiene una duración aproximada de 3 a 7 semanas. Los huevos alcanzan un diámetro de alrededor de 0,7 mm, presentan una coloración blanca y las hembras pueden albergar entre 7 y 200 huevos dentro de su bolsa marsupial.

Manca marsupial: Esta fase tiene una duración aproximada de 6 a 9 semanas. Una vez que los huevos eclosionan, las pequeñas crías permanecen en el marsupio materno. La característica más destacable de los isópodos en esta etapa es su coloración blanca y la presencia de ojos negros y prominentes.

Manca juvenil: Esta etapa se inicia cuando las crías emergen de la bolsa marsupial y continúa hasta que realizan su segunda muda.

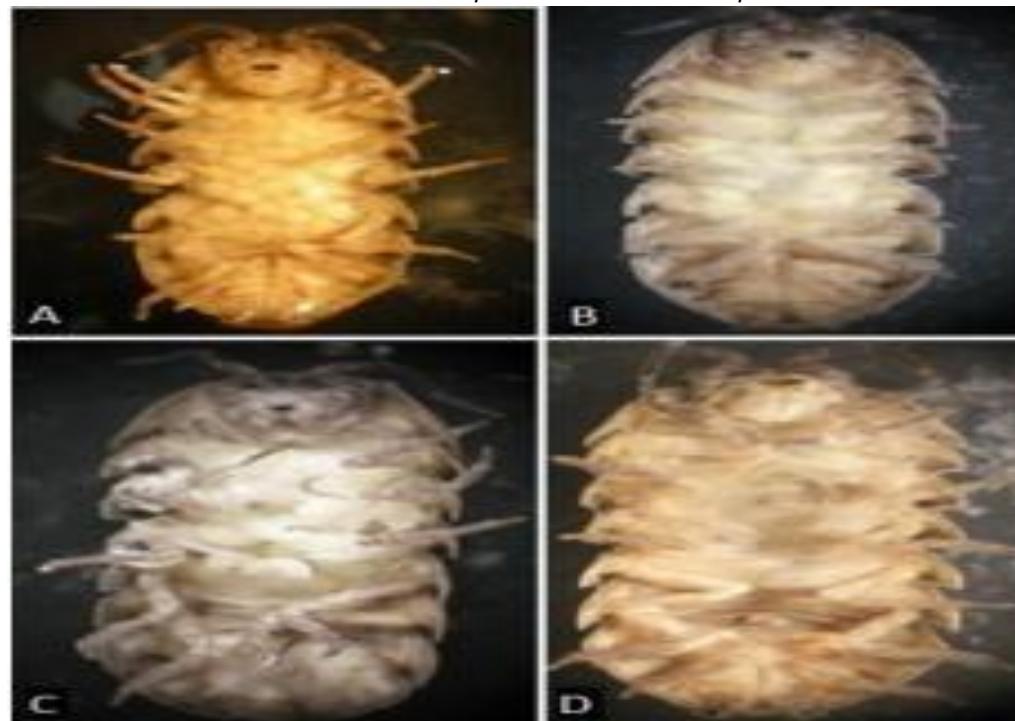
Durante este periodo, alcanzan una longitud aproximada de un milímetro, conservan su color blanco característico y son capaces de alimentarse de forma independiente. Al cabo de tres semanas, su tamaño aumenta entre 2 y 3 milímetros.

Juvenil: Esta etapa comienza después de la segunda muda y se caracteriza porque los juveniles presentan todas las características morfológicas de un adulto. La única diferencia radica en su menor tamaño, ya que aún no han alcanzado su completo desarrollo físico.

Adulto: Las especies alcanzan la etapa adulta a partir de los 25 meses de edad, momento en el cual son capaces de entrar en la fase reproductiva. Durante esta etapa, las cochinillas realizan mudas cada dos meses. Cabe destacar que presentan un tipo de muda particular: primero mudan la parte anterior del cuerpo y luego la posterior, lo que les permite evitar la pérdida de humedad y prevenir la desecación (Rivera et al., 2023).

Figura 5

Crecimiento de Crías en la Placa Marsupial de Crustáceos Isópodos



Nota. Se observa también la relación directa de los pleopodos y su función en la protección de los embriones (Rivera et al., 2023).

2.2.9. BIOLOGÍA Y CLASIFICACIÓN DE LAS LOMBRICES

Manifiesta que la lombriz es un anélido terrestre donde su simetría es bilateral, donde muestran segmentaciones internas y externas, muestra la cutícula coloreada que muestran setas en los segmentos y en excepción de los primeros. Las lombrices de tierra son hermafroditas, con gónadas que tienen componentes específicos que se diferencian por grupo taxonómico. Cuando son sexualmente maduros, desarrollan una estructura en la epidermis llamada clitelo, en el sitio de germinación de la semilla o capsula, donde se depositan uno o más huevos, luego esta capsula pasa por la porción anterior y se deposita en el suelo (Ríos, 2020).

Comunidad de las lombrices: Las comunidades de lombrices generalmente consisten de uno a seis grupos, la constitución de las especies en comunidades, van a someterse según la muestra de la tierra, topografía y vegetación que también estará influenciada por el uso del suelo y la biogeografía de las lombrices. Estos organismos constituyen una gran parte de la biomasa animal en el suelo en varios ecosistemas, en zonas templadas y tropicales, las lombrices de tierra no se encuentran en bosques con suelo muy ácidos y basura de mala calidad. Las especies exóticas invasoras pueden estar presentes en muchas comunidades de lombrices (Ríos, 2020).

Usos de las lombrices: La lombriz tiene importante papel en el ecosistema, que también es utilizado vivo para la pesca deportiva y recreativa, también se transforman en residuos que se desechan en vertedero de abonos para la fertilizar la tierra donde son valorizados para tratamientos de los suelos (Ríos, 2020).

Estructura de la lombriz: Su cabeza es bien definida, pero tiene una boca de un lado y un ano del otro, sin embargo, puede moverse en ambas direcciones sin muchos problemas (Ríos, 2020).

Papel en el ecosistema:

La lombriz tiene un papel importante en el ambiente húmedo, que se considera especies claves según (Juárez, 2010).

- Establece el zoo masa (biomasa animal) de los suelos.
- Colabora sobre la formación de los suelos.
- Participa firme en el ciclo del carbono y del nitrógeno (N).
- Promueve sobre la actividad microbiana

2.2.10. LOMBRIZ ROJA

Se define como una especie clave en los procesos de vermicompostaje y biorremediación, destacada por su capacidad para transformar residuos orgánicos en productos útiles, como el humus. Esta lombriz no solo mejora la calidad del suelo a través de la descomposición de materia orgánica, sino que también contribuye a la disminución de contaminantes como los metales pesados, tolerando diversas condiciones ambientales sin comprometer su funcionalidad. (Albornoz & Ortega, 2017).

2.2.11. TAXONOMÍA

Tabla 3

Taxonomía de la Lombriz Roja (Eisenia foetida)

Reino:	Animal
División:	Anélidos
Orden:	Oligoquetos
Clase:	Clitelados.
Familia:	Lombrícidos
Género:	Eisenia
Especies:	Foetida

Nota. La tabla 3 muestra la orden taxonómica de la lombriz roja (Guía de Lombricultura, 2011).

Según Juárez (2010). A la lombriz californiana se le conoce también como lombriz foetida o lombriz roja de género Fisenia, perteneciente aquella familia Lombricida del orden de heplotaxidos,

pertenecientes a la subclase de los oligoquetos. En Estados Unidos se descubrieron las propiedades beneficiosas de esta especie para el ecosistema, lo que motivó la instalación de los primeros criaderos en dicho país.

Figura 6

*Representación Gráfica de la Lombriz Roja (*Eisenia foetida*)*



Nota. La figura muestra la representación gráfica de la lombriz roja (Giorgetta, s.f.).

2.2.12. REMOCIÓN DE METALES PESADOS EN SUELOS CONTAMINADOS

El suelo es un recurso natural finito cuyo papel resulta esencial para garantizar la seguridad alimentaria. En el contexto actual de cambio climático y degradación continua de los suelos, los agricultores enfrentan grandes desafíos para conservar y mantener la fertilidad del terreno, indispensable para la producción sostenible de alimentos (FAO, 2015).

El suelo constituye la capa superficial de la Tierra y es el medio donde las plantas crecen y se desarrollan. Proporciona los nutrientes esenciales, almacena el agua de lluvia y la suministra gradualmente a las raíces, además de permitirles el acceso al aire necesario para su supervivencia. Se extiende tanto en superficie como en profundidad y está formado por diversas capas denominadas horizontes, dispuestas de manera casi paralela a la superficie. Cada horizonte posee

características físicas y químicas particulares, lo que influye en su apariencia. El conjunto de estos horizontes conforma el perfil del suelo, visible en cortes de terreno o taludes. El horizonte A es la capa superior, más oscura, fértil y con abundantes raíces; el horizonte B es más arcilloso y menos fértil, con menor cantidad de raíces; y el horizonte C corresponde a la capa más profunda, prácticamente sin presencia de raíces (INIA, 2015).

Figura 7

Perfil y Horizontes del Suelo

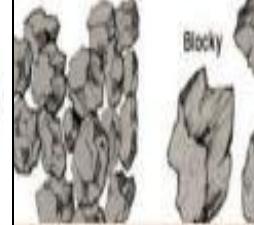
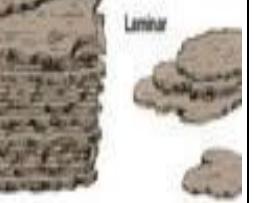


Nota. La figura muestra la representación de los perfiles y horizonte del suelo (ESPOCH, 2023).

2.2.13. ESTRUCTURA DEL SUELO

La estructura del suelo se refiere a la manera en que las partículas de arena, limo y arcilla se organizan y agrupan entre sí. Cuando estas partículas individuales se unen, forman conjuntos de mayor tamaño llamados agregados, que determinan la organización y estabilidad del suelo (FAO, s.f.).

Tabla 4
Estructura del suelo

Estructuras granulares y migajosas	Estructuras en bloques o bloques subangulares	Estructuras prismáticas y columnares	Estructura laminar
 Granular	 Blocky	 Prismatic	 Laminar
Las partículas individuales de arena, limo y arcilla se agrupan formando pequeños granos casi esféricos. Este tipo de suelo permite una circulación muy fácil del agua y, por lo general, se localiza en el horizonte A.	Las partículas del suelo se agrupan en bloques de forma casi cuadrada o angular, con bordes marcados. Cuando los bloques son de gran tamaño, el suelo presenta resistencia a la penetración y al paso del agua. Este tipo de estructura suele encontrarse en el horizonte B, especialmente cuando existe acumulación de arcilla.	Las partículas del suelo se organizan en columnas o pilares verticales, separados por pequeñas fisuras bien definidas. Este tipo de estructura dificulta el movimiento del agua, lo que genera un drenaje deficiente. Generalmente se presenta en el horizonte B, asociado con la acumulación de arcilla.	Las partículas del suelo se agrupan formando láminas o capas delgadas dispuestas de manera horizontal, una sobre otra. Esta disposición suele dificultar el paso del agua, ya que las láminas tienden a superponerse, reduciendo la permeabilidad del suelo.

Nota: En la tabla se muestran los diferentes tipos de estructuras (ESPOCH, 2023).

2.2.14. LOS METALES PESADOS EN EL SUELO

Los metales pestoxicidantes en el suelo que se consideran altamente tóxicos y que, al encontrarse representan un riesgo ambiental como: plata (Ag), arsénico (As), bismuto (Bi), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), mercurio (Hg), níquel (Ni), plomo (Pb), paladio (Pd), platino (Pt), antimonio (Sb), selenio (Se), estaño (Sn), telurio (Te), talio (Tl) y

zinc (Zn). En la tabla 5 se muestra solo diez elementos que son movilizados con mayor facilidad por la actividad humana.(Fertilab, 2021).

Tabla 5

Metales pesados esenciales y no esenciales

Metales pesados esenciales	Metales pesados no esenciales
Zinc (Zn)	
Cobre (Cu)	Berilio (Be)
Hierro (Fe)	Cadmio (Cd)
Manganoso (Mn)	Mercurio (Hg)
Molibdeno (Mo)	Plomo (Pb)
Níquel (Ni)	Antimonio (Sb)
Cobalto (Co)	Estaño (Sn)
Cromo (Cr)	Titanio (Ti)
Selenio (Se)	Plata (Ag)
Vanadio (V)	Talio (Tl)
Arsénico (As)	

Nota: La tabla muestra la lista de los metales esenciales y no esenciales (Fertilab, 2021)

2.2.15. PROCEDENCIAS DE LOS METALES PESADOS EN LOS SUELOS

El equilibrio del ecosistema, en relación con el contenido de metales pesados en los suelos, depende principalmente de la composición del material original y de los procesos edafogenéticos. No obstante, las actividades humanas han provocado un aumento considerable en la concentración de estos metales, convirtiéndose en la causa más común de niveles tóxicos en el suelo. (Fertilab, 2021).

Los metales pesados y, en general, los elementos traza, se encuentran en bajas concentraciones ($<\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$) en la corteza terrestre, los suelos y las plantas. Cuando sus niveles superan los valores normales, se produce una degradación particular del suelo conocida como contaminación. Estos elementos pueden tener un origen geogénico, proveniente de la roca madre, la actividad volcánica o la lixiviación de minerales; o un origen antropogénico, derivado de residuos peligrosos generados por la industria, la minería, la agricultura o los

desechos sólidos urbanos (RSU). La caracterización, evaluación y recuperación de suelos contaminados constituye uno de los principales desafíos ambientales actuales, ya que la peligrosidad de estos contaminantes depende no solo de su concentración total, sino también de su disponibilidad en el medio (Galán & Romero, 2008).

Las actividades mineras y de fundición, que incluyen la extracción, el procesamiento inicial, la disposición de residuos y el transporte de productos semielaborados, generan contaminación por metales tanto in situ como ex situ. Los suelos impactados por estas operaciones suelen presentar en sus capas superficiales concentraciones elevadas de metales como cobre (Cu), níquel (Ni), arsénico (As), selenio (Se), hierro (Fe) y cadmio (Cd) (Fertilab, 2021).

2.2.16. CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR METALES PESADOS

El suelo constituye el principal medio a través del cual las plantas adquieren los nutrientes minerales necesarios para su crecimiento y desarrollo. No obstante, también pueden encontrarse en él otros elementos químicos, como los metales pesados, cuya presencia y posterior absorción por las plantas puede alterar sus procesos fisiológicos, debido a su tendencia a acumularse y a su elevada toxicidad (Fertilab, 2021).

En la actualidad, se considera que existe contaminación del suelo por metales pesados cuando la concentración de estos elementos supera de manera significativa los valores normales o rangos habituales. Una concentración elevada de metales pesados modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y su acumulación representa un riesgo potencial tanto para la salud humana como para los ecosistemas. Entre los metales pesados y metaloides más comunes se encuentran el arsénico (As), cadmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), mercurio (Hg), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb), estaño (Sn) y zinc (Zn), entre otros (Fertilab, 2021).

2.2.17. TIPOS DEL SUELO SEGÚN SU USO

El uso del suelo se refiere al manejo y modificación del territorio con propósitos determinados, como el desarrollo de áreas residenciales, hábitats seminaturales o terrenos destinados al pastoreo. Existen diversos tipos de uso del suelo, cada uno con características y funciones específicas:

- Uso del suelo Residencial: La finalidad principal del uso del suelo residencial es la edificación de construcciones destinadas a vivienda u otros espacios habitacionales, como hoteles, hostales, casas unifamiliares, complejos multifamiliares o residencias de carácter especial.
- Uso del suelo económico-industrial: El uso del suelo con fines económico-industriales comprende los terrenos destinados a la construcción o instalación de parques empresariales, almacenes, polígonos industriales y otras infraestructuras vinculadas al sector secundario, orientadas a la obtención y procesamiento de materias primas o productos. Asimismo, incluye a las empresas dedicadas al almacenamiento, envasado y distribución, que forman parte de este tipo de uso del suelo.
- Uso de suelos agropecuarios y forestales: Este tipo de uso comprende las tierras destinadas a actividades agrícolas y ganaderas. Asimismo, incluye las áreas con cobertura vegetal natural asignadas a fines forestales, cuyo propósito no está orientado al uso o disfrute humano directo, sino a la conservación y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales (ARQUITASA, 2025).

2.2.18. DINÁMICA DE LOS METALES PESADOS EN EL SUELO

Los metales pesados presentes en el suelo pueden seguir cuatro rutas principales:

- Permanecer retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la solución de este o fijados mediante procesos de adsorción, complicación o precipitación.
- Ser absorbidos por la vegetación e incorporarse posteriormente a las cadenas tróficas.
- Experimentar transformaciones químicas que los volatilizan y trasladan hacia la atmósfera.
- Ser transportados hacia las aguas superficiales o subterráneas (Fertilab, 2021).

2.2.19. REMOCIÓN DE METALES

La toxicidad de los metales pesados en el ambiente no depende principalmente de su concentración, sino de la forma química o especiación en la que se encuentra el elemento. Según su estado de oxidación, los metales pueden presentarse en formas de baja movilidad, asociadas a compuestos poco solubles, o en especies más solubles y, por tanto, más activas. En consecuencia, la especiación es un factor determinante del comportamiento químico del metal, ya que influye directamente en su movilidad, transporte y distribución dentro del medio. (Parchéz & Martínez, 2025).

2.2.20. BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS

Es un proceso mediante el cual un elemento puede trasladarse desde el suelo hacia los organismos vivos. La capacidad de los metales pesados para desplazarse en el ambiente depende de su forma química, número de cargas y energía de retención. Asimismo, diversos factores ambientales influyen en dicho comportamiento, como la temperatura, la precipitación, la humedad, el pH y la composición química del entorno, además del tipo de uso asignado al suelo. Un ejemplo claro es la mayor

movilidad de estos metales en suelos forestales en comparación con los agrícolas, lo cual se debe a su mayor acidez y al contenido de sustancias orgánicas de bajo peso molecular presentes en dichos suelos. (Kabata & Pendias, 2001).

2.2.21. METALES PESADOS

Los metales pesados son elementos naturales de elevado peso molecular, ampliamente distribuidos en el entorno y, en muchos casos, de gran utilidad, como el plomo empleado en tuberías o el cadmio con diversos usos industriales. No obstante, en el contexto de la contaminación ambiental, estos metales pueden generar efectos nocivos para la salud humana, afectando distintos órganos y sistemas del cuerpo.

Figura 8
Metales Pesados



Nota. La figura presenta la representación de los diferentes metales esenciales (EcuRed, 2025).

2.2.22. PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y GENERACIÓN DE ESTOS METALES

Es necesario considerar el proceso natural de distribución y concentración de los metales. El plomo, por su abundancia, representa uno de los más relevantes. Este se encuentra presente en antiguas cañerías de plomo, actualmente reemplazadas por tuberías plásticas; sin embargo, muchas instalaciones urbanas aún conservan las primeras, lo que provoca que el agua a la circular desprenda partículas que generan contaminación progresiva. Otra fuente de exposición corresponde a las pinturas con base de plomo utilizadas en artesanías, especialmente en utensilios de cocina, donde el contacto con los alimentos facilita su incorporación al organismo. Finalmente, una tercera fuente histórica fue la gasolina con plomo, cuyo uso ha sido eliminado en la actualidad (Eróstegui , 2008).

2.2.23. APRUEBAN ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL

El Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, los cuales determinan los niveles máximos permitidos de elementos, sustancias y parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el suelo como cuerpo receptor, garantizando que no representen un riesgo significativo para la salud humana ni para el ambiente. (Ministerio del Ambiente, 2017).

Tabla 6

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo

Parámetros en mg/kg PS	Usos del Suelo			Suelo Comercial (5) / Industrial/ Extractivo
	Suelo Agrícola	Suelo Residencial/ Parque		
INORGÁNICOS				
Arsénico	50	50		140
Bario total	750	500		2000
Cadmio	1.4	10		22
Cromo total	-	400		1000

Cromo VI	0.4	0.4	1.4
Mercurio	6.6	6.6	24
Plomo	70	140	800

Nota. Se muestra los Estándares de Calidad Ambiental referente a los metales pesados (Ministerio del Ambiente, 2017).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. COCHINILLA DE LA HUMEDAD

La cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) es un crustáceo terrestre adaptado a vivir en ambientes húmedos. Este grupo es particularmente interesante por su capacidad para colonizar ecosistemas terrestres a pesar de su origen marino. Su cuerpo segmentado y aplanado, con un exoesqueleto rígido, le permite moverse en suelos densos y desempeñar funciones esenciales en la descomposición de la materia orgánica. Son importantes en la descomposición de hojas y otros desechos vegetales, contribuyendo así a la fertilidad del suelo (Hornung , 2011).

2.3.2. LOMBRIZ ROJA

La lombriz roja (*Eisenia foetida*), también conocida como lombriz de estiércol o lombriz californiana, es una especie de anélido oligoqueto perteneciente a la familia Lumbricidae. Es una de las lombrices más utilizadas en la vermicultura, ya que tiene una alta capacidad para descomponer materia orgánica y transformar los residuos en humus, lo que mejora la estructura del suelo. Se caracteriza por su cuerpo segmentado y de color rojizo, midiendo entre 6 y 12 cm de largo (Edwards, 1996).

2.3.3. REMEDIACION DE SUELOS

La remediación consiste en el conjunto de procesos o tratamientos aplicados con el propósito de restaurar la calidad del suelo contaminado, incluyendo tanto los suelos como las aguas subterráneas asociadas (Litoclean, 2024).

2.3.4. METALES PESADOS

Los metales pesados tienen su origen en la corteza terrestre, y su dispersión en el ambiente puede deberse tanto a fuentes naturales como a actividades humanas que alteran su composición y los convierten en contaminantes. Entre las fuentes naturales más relevantes se encuentran las erupciones volcánicas y la erosión provocada por aguas termales. Por otro lado, las principales fuentes antropogénicas de dispersión de metales pesados son la agricultura debido al uso de fertilizantes e insecticidas, la ganadería y la actividad minera (Ramírez et al., 2023).

2.3.5. SUELOS CONTAMINADOS

Son aquellos suelos cuyas propiedades han sido afectadas de manera negativa por la presencia de compuestos químicos peligrosos de origen antropogénico, en concentraciones que representan un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, situación que ha sido formalmente declarada mediante una resolución (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2007).

2.3.6. SUELOS AGRÍCOLAS

El suelo agrícola se define como aquel destinado a actividades productivas, específicamente al desarrollo de cultivos y plantaciones. Se caracteriza por ser un tipo de suelo fértil, capaz de favorecer el crecimiento y desarrollo de diversas especies vegetales destinadas a la cosecha y uso humano. En consecuencia, sus componentes deben ser adecuados tanto para la agricultura como para la seguridad y bienestar del ser humano (Bembibre, 2011).

2.3.7. BIORREMEDIACIÓN ANIMAL

La biorremediación animal se refiere al uso de organismos vivos, principalmente invertebrados como lombrices de tierra, crustáceos y otros animales pequeños, para eliminar o neutralizar contaminantes del suelo o agua. Estos organismos pueden bioacumular, metabolizar y transformar sustancias tóxicas como metales pesados y compuestos orgánicos, lo que ayuda a restaurar la calidad ambiental. Entre los

principales animales utilizados están las lombrices “*Eisenia foetida*” y crustáceos como las cochinillas de la humedad “*Porcellio laevis*” (Gadd, 2010).

2.3.8. CULTIVO DE CACAO

En el cultivo de cacao, que habitualmente se desarrolla sin un manejo técnico adecuado, las plantaciones existentes con material genético de origen desconocido y sin garantía de productividad deben ser sustituidas por clones de alto rendimiento, seleccionados cuidadosamente a partir de semilleros o centros especializados de producción (Ministerio de Agricultura y Riego del Perú, 2003).

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- H_1 : La capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) es diferente en la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.
- H_0 : La capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) no es diferente en la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Capacidad remediadora

2.5.2. VARIABLE EVALUATIVA

Remoción de metales pesados en suelos contaminados.

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 7

Operacionalización de la variable

Variable de calibración	Indicadores	Valor final	Tipo de variables
Capacidad remediadora	Uso de diferentes elementos para la remediación de suelos	<ul style="list-style-type: none"> • Cochinilla de la humedad • Lombriz roja 	Nominal
Variable evaluativa	Indicadores	Valor final	Tipo de variables
Remoción de metales pesados en suelos contaminados	Parámetros físicos <ul style="list-style-type: none"> • Textura Parámetros químicos <ul style="list-style-type: none"> • pH • cantidad de cationes intercambiables Metales pesados <ul style="list-style-type: none"> • Cadmio • Plomo • Zinc 	<ul style="list-style-type: none"> • % • Valor de pH • Cmol(+) / kg • mg/kg • mg/kg • mg/kg 	Numérica continua

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según el control de las mediciones de la variable el estudio fue prospectivo basado en bases primarios porque se recopilaron los datos para realizar la presente investigación. La presente investigación fue con intervención, ya que participé en todo el proceso de la investigación. De acuerdo con el número de variables analíticas, el estudio se clasifica como analítico, ya que considera más de una variable de análisis. La variable de calibración corresponde a la capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y de la lombriz roja (*Eisenia foetida*), mientras que la variable evaluativa está representada por la remoción de metales pesados en suelos contaminados. Asimismo, según la cantidad de mediciones realizadas, se trata de un estudio longitudinal, dado que se efectuaron múltiples evaluaciones de la variable de estudio. Para ello, se enviaron muestras al laboratorio antes y después del tratamiento, con el propósito de verificar la capacidad remediadora de ambas especies (Supo & Zacarias, 2020).

3.1.1. ENFOQUE

El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, caracterizado por el desarrollo de procesos secuenciales y verificables. Cada etapa dependió de la anterior, por lo que no fue posible omitir pasos en su ejecución. Si bien el orden metodológico fue estricto, se consideró la posibilidad de redefinir alguna fase en caso de ser necesario. El proceso se inició a partir de una idea que fue delimitándose de manera progresiva; una vez establecida, se formularon los objetivos y las preguntas de investigación. Posteriormente, se realizó la revisión de la literatura pertinente y la elaboración del marco teórico. Con base en las preguntas planteadas, se propuso una hipótesis y se identificaron las variables de estudio. Finalmente, se diseñó un plan para su verificación, se midieron las variables en un contexto determinado, se analizaron los datos obtenidos

mediante métodos estadísticos y se extrajeron las conclusiones correspondientes (Hernández et al., 2014).

Se caracterizó por basarse en la medición durante la recolección de datos, donde las variables se cuantificaron utilizando procedimientos estandarizados y reconocidos por la comunidad científica. Los datos obtenidos son el resultado de estas mediciones, se expresaron en forma numérica y su análisis requiere la aplicación de métodos estadísticos (Hernández et al., 2014).

3.1.2. ALCANCE

Esta investigación fue de tipo aplicada, también conocida como constructiva o utilitaria, y se distingue por su enfoque en la aplicación de conocimientos teóricos a una situación específica y en las consecuencias prácticas que puedan surgir de ello. La investigación aplicada se orientó a conocer con el propósito de actuar, construir, modificar o intervenir, priorizando la aplicación inmediata en un contexto particular sobre la generación de conocimientos con valor universal (Sánchez & Mejía, 2018).

3.1.3. DISEÑO

El diseño de la presente investigación fue experimento verdadero porque se contó con más de un grupo experimental, en este caso se contó con una muestra inicial que se envió al laboratorio para saber la cantidad de mestales pesados que se encuentra en el suelo contaminado, en el cual las variables independientes tuvieron una intervención de 50, 100, 150 y 200 cochinillas fueron colocados en camas individuales y alimentados con hojarasca de ficus, con el objetivo de analizar de manera específica sus efectos en la reducción de metales pesados, de igual forma se colocó la misma cantidad de lombriz roja en camas individuales, para ambos se realizó el mismo procedimiento.

- **Para el *Porcellio laevis***

GE1: 01 x1 02

GE2: 01 x2 02

GE3: 01 x3 02

GE4: 01 x4 02

Cada tratamiento con una duración de 3 meses

Leyenda:

GE: Grupo experimental

01: Análisis inicial

02: Análisis final

x1: Intervención con 50 *Porcellio laevis* durante los tres meses

x2: Intervención con 100 *Porcellio laevis* durante los tres meses

x3: Intervención con 150 *Porcellio laevis* durante los tres meses

x4: Intervención con 200 *Porcellio laevis* durante los tres meses

- **Para la *Eisenia foetida***

GE1: 01 x1 02

GE2: 01 x2 02

GE3: 01 x3 02

GE4: 01 x4 02

Cada tratamiento con una duración de 3 meses

Leyenda:

GE: Grupo experimental

01: Análisis inicial

02: Análisis final

x1: Intervención con 50 *Eisenia foetida* durante los tres meses

x2: Intervención con 100 *Eisenia foetida* durante los tres meses

x3: Intervención con 150 *Eisenia foetida* durante los tres meses

x4: Intervención con 200 *Eisenia foetida* durante los tres meses

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

El estudio está comprendido por una población constituida por los suelos contaminados por metales pesados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025

3.2.2. MUESTRA

La muestra del estudio estuvo conformada por 1 muestra inicial de 300 g correspondientes al pretest. Las otras muestras se distribuyeron en cuatro tratamientos de 50, 100, 150 y 200 para el *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida* en suelo contaminado que presentó las mismas características del pretest.

Tabla 8

Localización de la Población

UBICACIÓN POLITICA	
Departamento	Huánuco
Provincia	Leoncio Prado
Distrito	Mariano Damaso Beraun

Nota: La tabla 8 muestra la ubicación política de la población para el presente estudio.

Tabla 9

Ubicación Geográfica de la Población

COORDENADAS UTM WGS - 84	
Localización UTM	Zona 18 L
Longitud	9°18'09.2"
Latitud	76°04'02.0"
Altitud	716 m

Nota. La tabla 9 muestra las coordenadas de la ubicación de la población para el presente estudio.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

- Para la recolección de datos

Tabla 10

Indicadores e Instrumentos de la calidad del suelo

Variables	Indicadores	Técnicas	Instrumentos o recursos
Capacidad remediadora	<ul style="list-style-type: none"> • Cochinilla de la humedad • Lombriz roja 	Técnica de Observación (preparación, secado de muestras, tamizado, pesaje de muestras y lectura de muestras).	Disponibilidad de materia orgánica en el suelo
Remoción de metales pesados en suelos contaminados	<p>Parámetros físicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • pH • Macronutrientes • Textura <p>Metales pesados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cadmio • Plomo • Zinc 	<p>Técnica de Observación</p> <ul style="list-style-type: none"> • Phmetro • Método de acetato de amonio • Agitador de textura • Método EDTA - EAA • Método EDTA - EAA • Método EDTA - EAA 	

- Para la representación de datos

Para la representación de los datos, se utilizaron diversos tipos de gráficos, incluyendo gráficos de barras, que facilitaron la comparación de los resultados de manera más didáctica y comprensible. Además, se empleó gráficos circulares para visualizar el porcentaje de cada parámetro analizado en este estudio, trabajando siempre con porcentajes al 100%. Estos gráficos me permitieron interpretar y analizar los resultados con mayor claridad, y

fueron muy útiles para llevar a cabo la discusión y las conclusiones del estudio.

Los datos se registraron tanto en una ficha de datos física como en un archivo de Excel, donde toda la información se recopiló de forma ordenada.

3.3.1. PROTOCOLO PARA EL MUESTREO DE SUELO

Se consideró las siguientes fases para el muestreo de suelo:

3.3.1.1. PRIMERA FASE

Evaluación del suelo: Se efectuó un reconocimiento sobre los suelos utilizados para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao*). El área de trabajo donde se realizó el estudio se encuentra en el distrito de Mariano Damas Beraun, en la provincia de Leoncio Prado, en el departamento de Huánuco.

3.3.1.2. SEGUNDA FASE

Se sacó muestras de suelo en 8 bandejas de plástico (4 para el *Porcellio laevis* y 4 para la *Eisenia foetida*), las medidas de las bandejas de plástico fueron de 1.20 metros de largo x 50 centímetros de ancho en el cual se colocaron 10kg de tierra contaminada extraída del cultivo de cacao, se colocaron 50, 100, 150 y 200 de cada uno de los indicadores remediadores en las bandejas, todos los días se humedeció la tierra por las mañanas y se les alimentó con hojarasca de ficus a los *Porcellio laevis* y a la *Eisenia foetida* con materia orgánica.

Pre-test: Fue la tierra extraída de los cultivos de cacao, no se le agregó ningún indicador remediador, se mantuvo tal cual, también se llevó al laboratorio para determinar la cantidad de metales pesados que presentaba.

Muestreo superficial: En la parte superior de los recipientes de plástico se colocó los *Porcellio laevis* y las *Eisenia foetida* para poder ver el efecto en la absorción de metales pesados, se llevó a cabo por tres meses.

Post-test: Despues de cumplir los tres meses, se envió al laboratorio la tierra extraída de cada recipiente para su respectivo análisis, se trabajó con el laboratorio de la UNAS.

3.3.1.3. TERCERA FASE

Preparación de muestras y envió al laboratorio

Las muestras fueron recolectadas en bolsas herméticas para ser enviadas al laboratorio, siguiendo las indicaciones:

- Las etiquetas se colocaron en un punto de fácil visibilidad, no excedió el tamaño del contenedor y se aplicó correctamente para evitar pérdidas.
- En las etiquetas que acompañaron a las muestras se incluyó la siguiente información: número indicador, ubicación del muestreo, nombre del proyecto, fecha y hora de recolección, cantidad del muestreo.
- La impresión de datos en las etiquetas se realizó con tinta permanente.

3.3.1.4. PROCESO DE DISPOSICIÓN FINAL

Con los datos recolectados de las muestras que nos entregó el laboratorio, se procedió a hacer cuadros estadísticos donde se determina la eficacia de los dos indicadores en la recuperación del suelo contaminado por metales pesados.

3.3.1.5. INFORME FINAL

A partir de los resultados obtenidos se formularon conclusiones y recomendaciones orientadas a optimizar los resultados de la presente investigación.

3.4. TÉCNICAS PARA EL ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS

Para abordar el objetivo principal de comparar la capacidad remediadora global de la cochinilla frente a la lombriz, se optó por una estrategia de agrupación de datos. Todas las mediciones post -

tratamiento de las diferentes concentraciones de *Porcellio laevis* (50C, 100C, 150C, 200C) fueron consolidadas en un único Grupo Cochinilla. Análogamente, las mediciones de *Eisenia foetida* (50L, 100L, 150L, 200L) se agruparon en un Grupo Lombriz.

Esta agrupación estratégica permitió aumentar el tamaño de muestra de cada categoría principal (Cochinilla vs. Lombriz) a 4 observaciones por grupo, habilitando así la aplicación de pruebas estadísticas inferenciales, como la prueba de normalidad y subsiguientemente, la prueba t de Student para muestras independientes. Este enfoque permitió evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas en la eficacia general en la remoción de metales pesados entre ambas especies, proporcionando una inferencia robusta sobre la hipótesis principal del estudio, aunque sin distinguir entre los efectos de las concentraciones individuales.

La presente investigación, utilizó el software estadístico SPSS versión 24.0, el cual permitió un análisis exhaustivo de cada variable. Este programa se empleó para analizar y recopilar los datos obtenidos en campo, y también para procesar textos, proporcionando información relevante, ya que el proyecto trabajó con diversos parámetros. Los datos fueron representados en tablas sencillas y didácticas que facilitaron su comprensión y resumen de los aspectos más importantes. Además, el contraste de la hipótesis planteada se llevó a cabo mediante la prueba T de Student, utilizando la estadística de las dos variables definidas en el proyecto.

Los datos se registraron en Excel y fueron procesados de manera rápida y directa con el software estadístico SPSS versión 24.0.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Tabla 11

Parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con el CH y la LR en suelos destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025

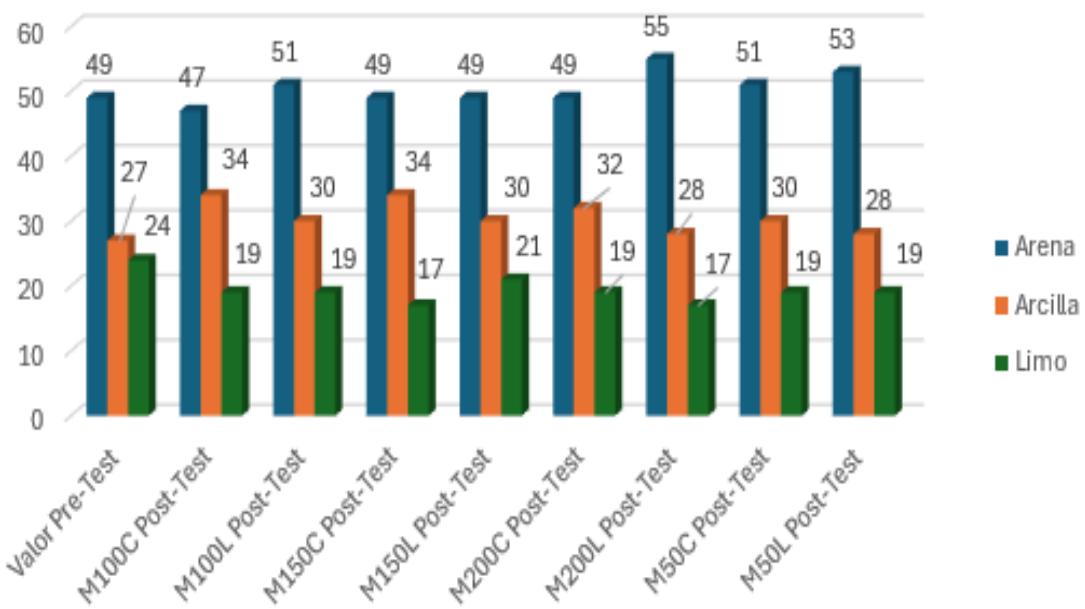
Indicador	Arena	Arcilla	Limo
Unidad de medida	%	%	%
Valor Pre-Test	49	27	24
M100C Post-Test	47	34	19
M100L Post-Test	51	30	19
M150C Post-Test	49	34	17
M150L Post-Test	49	30	21
M200C Post-Test	49	32	19
M200L Post-Test	55	28	17
M50C Post-Test	51	30	19
M50L Post-Test	53	28	19

Interpretación: La tabla 11 revela cómo los tratamientos con cochinilla y lombriz modifican la textura del suelo. La Arena muestra variaciones, con algunos tratamientos como (M100C) reduciéndola levemente, mientras que el (M200L) la aumentan respecto al 49% inicial. La Arcilla tiende a incrementar en la mayoría de los tratamientos (28-34% vs 27% inicial), sugiriendo efectos de agregación. Por el contrario, el Limo disminuye consistentemente en todos los tratamientos post-test (17-21% vs 24% inicial). Estos cambios reflejan el impacto diferenciado de los organismos biológicos en la composición granulométrica del suelo.

Figura 9

Parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con el CH y la LR en suelos destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025

**Textura del suelo después del tratamiento con
Porcellio laevis y *Eisenia foetida***



Interpretación: La figura 9 muestra que después de los tratamientos, la arena se mantuvo cercana al valor inicial, con ligeros aumentos en algunos casos, como en M200L. La arcilla, que en el pre - test fue menor, alcanzó valores más elevados en tratamientos como M100C y M150C, lo que evidencia una mejora del suelo. Para el limo se evidencia la disminución de manera constante respecto al valor inicial, llegando a los niveles más bajos en M150C y M200L.

Tabla 12

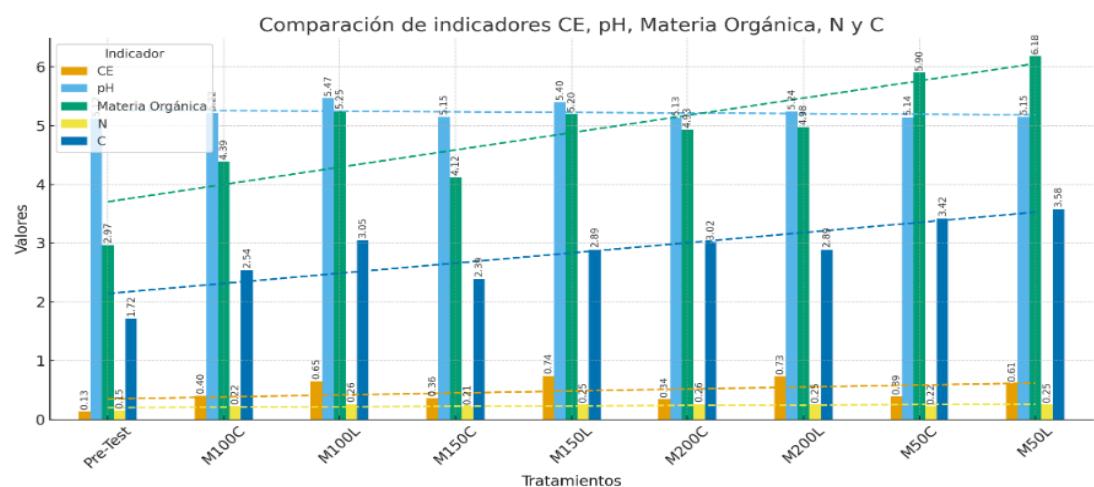
Parámetros químicos (CE, pH, Materia Orgánica, N, C) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR

Tratamiento	CE (dS/m)	pH	Materia Orgánica (%)	N (%)	C (%)
Pre-Test	0.13	5.12	2.97	0.15	1.72
M50C	0.39	5.14	5.90	0.22	3.42
M50L	0.61	5.15	6.18	0.25	3.58
M100C	0.40	5.22	4.39	0.22	2.54
M100L	0.65	5.47	5.29	0.26	3.05
M150C	0.36	5.15	4.12	0.21	2.39
M150L	0.74	5.40	5.20	0.25	2.89
M2000C	0.34	5.13	4.93	0.26	3.02
M200L	0.73	5.24	4.98	0.25	2.89

Interpretación: En la tabla 12 se aprecia que la CE aumentó de 0.13 dS/m (pre-test) a 0.74 dS/m en M150L y 0.73 dS/m en M200L; el pH aumentó levemente de 5.12 a 5.47 indicando una reducción de la acidez. La materia orgánica pasó de 2.97 a un máximo de 6.18 % en M50L, mientras que el N subió de 0.15 a 0.26, y el C de 1.72 a 3.58 en M50L, evidenciando mejoras significativas en la fertilidad del suelo.

Figura 10

Parámetros químicos (CE, pH, Materia Orgánica, N, C) antes y después de la remoción de metales pesados con la CL y la LR



Interpretación: En la figura 10 se observa que la CE aumentó de 0.13 dS/m (pre-test) a 0.74 dS/m en M150L y 0.73 dS/m en M200L; el pH aumentó levemente de 5.12 a 5.47 indicando una reducción de la acidez. La materia orgánica pasó de 2.97 a un máximo de 6.18 % en M50L, mientras que el N subió de 0.15 a 0.26, y el C de 1.72 a 3.58 en M50L, evidenciando mejoras significativas en la fertilidad del suelo.

Tabla 13

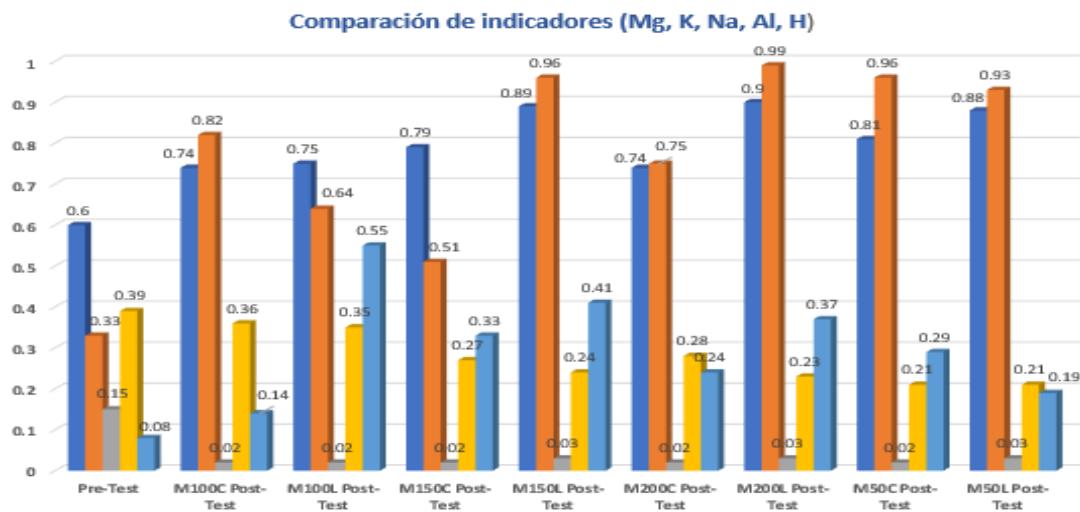
Parámetros químicos (Mg, K, Na, AL, H) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR

Indicador	Unidad	Pre-Test	M100C	M100L	M150C	M150L	M200C	M200L	M50C	M50L
Mg	Cmol(+)/kg	0.6	0.74	0.75	0.79	0.89	0.74	0.9	0.81	0.88
K	Cmol(+)/kg	0.33	0.82	0.64	0.51	0.96	0.75	0.99	0.96	0.93
Na	Cmol(+)/kg	0.15	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03
Al	Cmol(+)/kg	0.39	0.36	0.35	0.27	0.24	0.28	0.23	0.21	0.21
H	Cmol(+)/kg	0.08	0.14	0.55	0.33	0.41	0.24	0.37	0.29	0.19

Interpretación: En la tabla 13 se muestra la comparación Pre-Test vs. Post-Test. Se observa un incremento notable en Mg, que pasa de 0.60 Cmol(+)/kg a valores entre 0.74 y 0.90, destacando el máximo en M200L (0.90). El K muestra un fuerte aumento desde 0.33 hasta un rango de 0.51–0.99, con el mayor valor en M200L (0.99). En contraste, el Na desciende de 0.15 a valores muy bajos entre 0.02–0.03, lo que refleja una reducción marcada. El Al disminuye de 0.39 a 0.21–0.36, con la menor concentración en M50L y M200L (0.21). Finalmente, el H sube respecto al Pre-Test (0.08) alcanzando picos en M100L (0.55) y M150L (0.41), aunque en otros tratamientos se mantiene moderado (0.14–0.37).

Figura 11

Parámetros químicos (Mg, K, Na, AL, H) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR



Interpretación: En la figura 11 se muestra la comparación Pre-Test vs. Post-Test se observa un incremento notable en Mg, que pasa de 0.60 Cmol(+)/kg a valores entre 0.74 y 0.90, destacando el máximo en M200L (0.90). El K muestra un fuerte aumento desde 0.33 hasta un rango de 0.51–0.99, con el mayor valor en M200L (0.99). En contraste, el Na desciende de 0.15 a valores muy bajos entre 0.02–0.03, lo que refleja una reducción marcada. El Al disminuye de 0.39 a 0.21–0.36, con la menor concentración en M50L y M200L (0.21). Finalmente, el H sube respecto al Pre-Test (0.08) alcanzando picos en M100L (0.55) y M150L (0.41), aunque en otros tratamientos se mantiene moderado (0.14–0.37).

Tabla 14

Parámetros químicos (Bases cambiables, Acidez cambiable, Saturación de Aluminio) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR

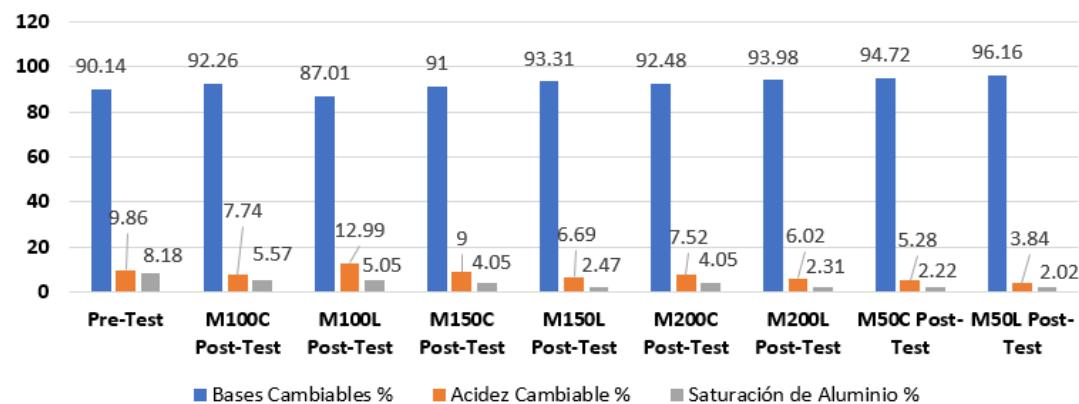
Indicador	Unidad	Pre-Test	M100C Post-Test	M100L Post-Test	M150C Post-Test	M150L Post-Test	M200C Post-Test	M200L Post-Test	M50C Post-Test	M50L Post-Test
Bases Cambiables	%	90.14	92.26	87.01	91	93.31	92.48	93.98	94.72	96.16
Acidez Cambiable	%	9.86	7.74	12.99	9	6.69	7.52	6.02	5.28	3.84
Saturación de Aluminio	%	8.18	5.57	5.05	4.05	2.47	4.05	2.31	2.22	2.02

Interpretación: En la tabla 14 se muestra la comparación de indicadores tras la aplicación de los tratamientos, las bases cambiables aumentaron de 90.14 (Pre-Test) a valores entre 91 y 96.16, mientras que la acidez cambiable se redujo de 9.86 a rangos de 2.22 a 7.74, y la saturación de aluminio disminuyó de 8.18 a valores mínimos de 2.02; evidenciando una mejora significativa en la calidad química del suelo.

Figura 12

Parámetros químicos (Bases cambiables, Acidez cambiable, Saturación de Aluminio) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR

Comparación de indicadores (Bases cambiables, Acidez cambiable, Saturación de Aluminio)



Interpretación: La figura 12 presenta la comparación de indicadores tras la aplicación de los tratamientos, las bases cambiables aumentaron de 90.14 (Pre-Test) a valores entre 91 y 96.16, mientras que la acidez cambiable se redujo de 9.86 a rangos de 2.22 a 7.74, y la saturación de aluminio disminuyó de 8.18 a valores mínimos de 2.02; evidenciando una mejora significativa en la calidad química del suelo.

Tabla 15

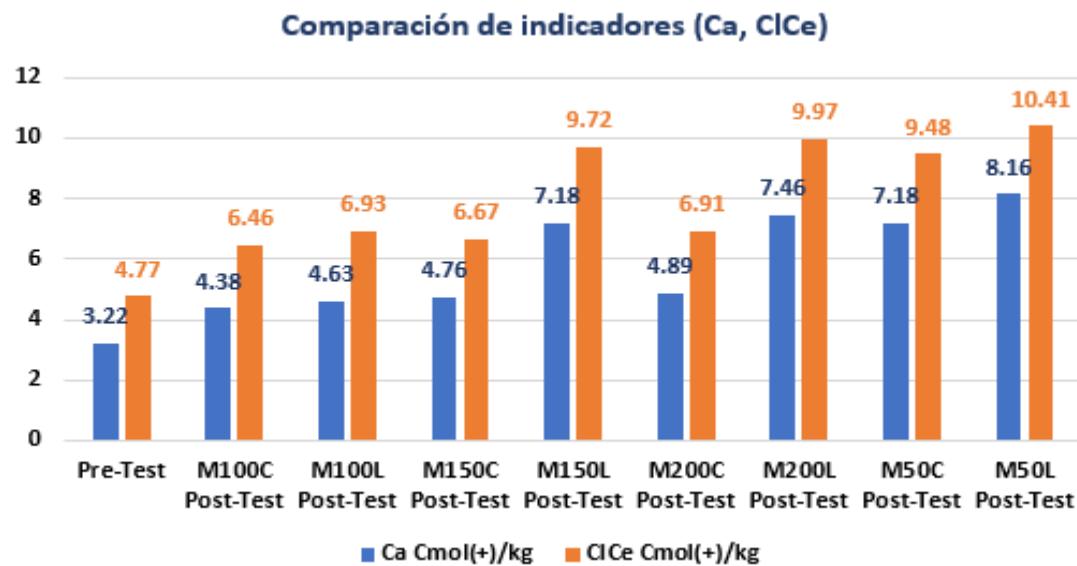
Parámetros químicos (Ca, CICe) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR

Indicador	Unidad de Pre-muestra	M100C Post-Test	M100L Post-Test	M150C Post-Test	M150L Post-Test	M200C Post-Test	M200L Post-Test	M50C Post-Test	M50L Post-Test
Ca	Cmol(+)/kg	3.22	4.38	4.63	4.76	7.18	4.89	7.46	7.18
CICe	Cmol(+)/kg	4.77	6.46	6.93	6.67	9.72	6.91	9.97	9.48

Interpretación: En la tabla 15 se registra una tendencia ascendente en ambos indicadores desde el Pre-Test (Ca=3.22 Cmol(+)/kg y ClCe=4.77 Cmol(+)/kg) hasta alcanzar sus valores máximos en el tratamiento M50L (Ca=8.16 y ClCe=10.41). Esto indica que la ClCe refleja un mayor potencial de retención de nutrientes en comparación con la concentración de calcio.

Figura 13

Parámetros químicos (Ca, ClCe) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR0



Interpretación: En la figura 13 se observa una tendencia ascendente en ambos indicadores desde el Pre-Test (Ca=3.22 Cmol(+)/kg y ClCe=4.77 Cmol(+)/kg) hasta alcanzar sus valores máximos en el tratamiento M50L (Ca=8.16 y ClCe=10.41). Esto indica que la ClCe refleja un mayor potencial de retención de nutrientes en comparación con la concentración de calcio.

Tabla 16

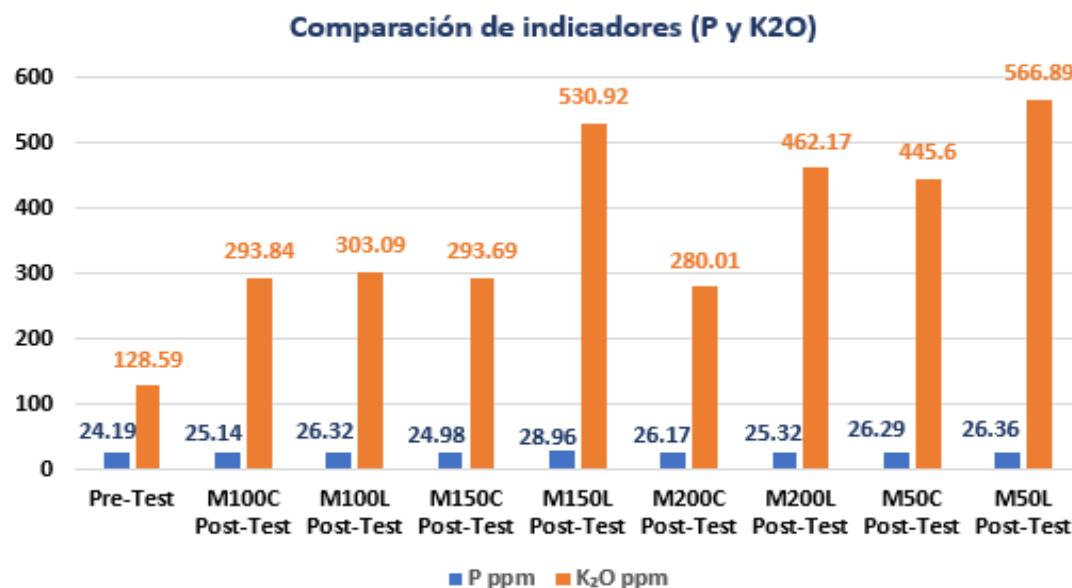
Parámetros químicos (P, K₂O) antes y después de la remoción de metales pesados con la CH y la LR

Indicador	Unidad de medida	Pre-Test	Post-Test								
			M100C	M100L	M150C	M150L	M200C	M200L	M50C	M50L	
P	ppm		24.19	25.14	26.32	24.98	28.96	26.17	25.32	26.29	26.36
K ₂ O	ppm		128.59	193.84	303.09	193.69	530.92	180.01	162.17	145.60	166.89

Interpretación: En la tabla 16 se muestra un contraste marcado. El fósforo presenta estabilidad a lo largo de los tratamientos, En cambio, el potasio evidencia un incremento sustancial, pasando de 128.59 ppm en el Pre-Test hasta 566.89 ppm en M50L, lo que representa un aumento. Se demuestra que el potasio es mucho más sensible a los tratamientos aplicados y constituye el nutriente que experimentó la mayor mejora relativa.

Figura 14

Parámetros químicos (P, k2O) antes y después de remoción de metales pesados con la CH y la LR



Interpretación: En la figura 14 se muestra un contraste marcado. El fósforo presenta estabilidad a lo largo de los tratamientos, En cambio, el potasio evidencia un incremento sustancial, pasando de 128.59 ppm en el Pre-Test hasta 566.89 ppm en M50L, lo que representa un aumento. Se demuestra que el potasio es mucho más sensible a los tratamientos aplicados y constituye el nutriente que experimentó la mayor mejora relativa.

Tabla 17

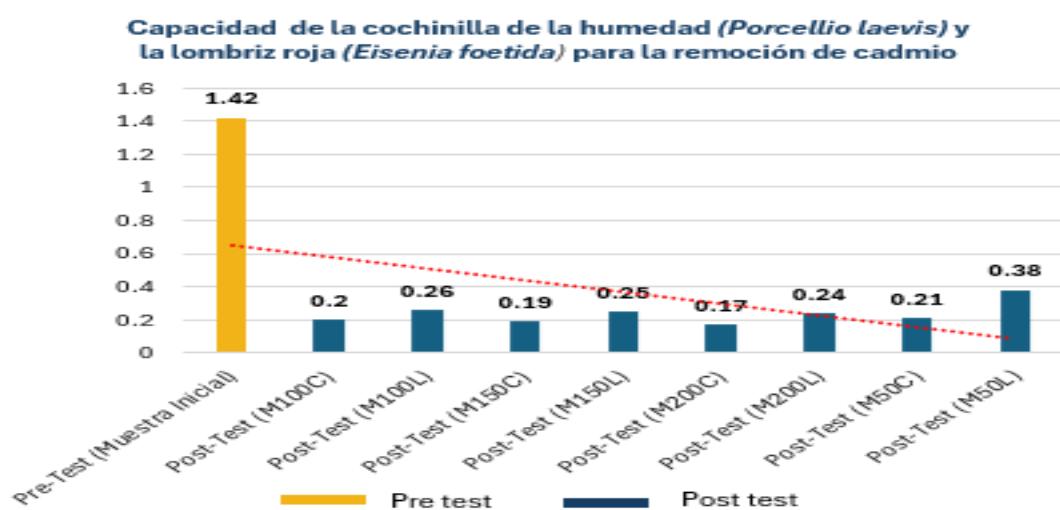
Descripción de la capacidad de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025

Tratamiento	Indicador	Unidad de medida	Valor
Pre-Test (Muestra Inicial)	Cadmio Total	mg/Kg	1.42
Post-Test (M100C)	Cadmio Total	mg/Kg	0.2
Post-Test (M100L)	Cadmio Total	mg/Kg	0.26
Post-Test (M150C)	Cadmio Total	mg/Kg	0.19
Post-Test (M150L)	Cadmio Total	mg/Kg	0.25
Post-Test (M200C)	Cadmio Total	mg/Kg	0.17
Post-Test (M200L)	Cadmio Total	mg/Kg	0.24
Post-Test (M50C)	Cadmio Total	mg/Kg	0.21
Post-Test (M50L)	Cadmio Total	mg/Kg	0.38

Interpretación: Esta tabla muestra de manera muy clara la reducción del Cadmio Total en el suelo después de los tratamientos. El valor inicial en el Pre-Test fue de 1.42 mg/Kg. En todos los tratamientos del Post-Test, los niveles de Cadmio se han reducido drásticamente, oscilando entre 0.17 mg/Kg (M200C) y 0.38 mg/Kg (M50L). Esto indica que tanto la cochinilla como la lombriz roja son efectivas en la remoción de Cadmio del suelo, siendo la concentración de 200 cochinillas (M200C) la que muestra el nivel más bajo de cadmio residual en este conjunto de datos.

Figura 15

Descripción de la capacidad de la CH Y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025



Interpretación: Esta tabla muestra de manera muy clara la reducción del Cadmio Total en el suelo después de los tratamientos. El valor inicial en el Pre-Test fue de 1.42 mg/Kg. En todos los tratamientos del Post-Test, los niveles de Cadmio se han reducido drásticamente, oscilando entre 0.17 mg/Kg (M200C) y 0.38 mg/Kg (M50L). Esto indica que tanto la cochinilla como la lombriz roja son efectivas en la remoción de Cadmio del suelo, siendo la concentración de 200 cochinillas (M200C) la que muestra el nivel más bajo de cadmio residual en este conjunto de datos.

Tabla 18

Descripción de la capacidad de la cochinilla de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por plomo destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025

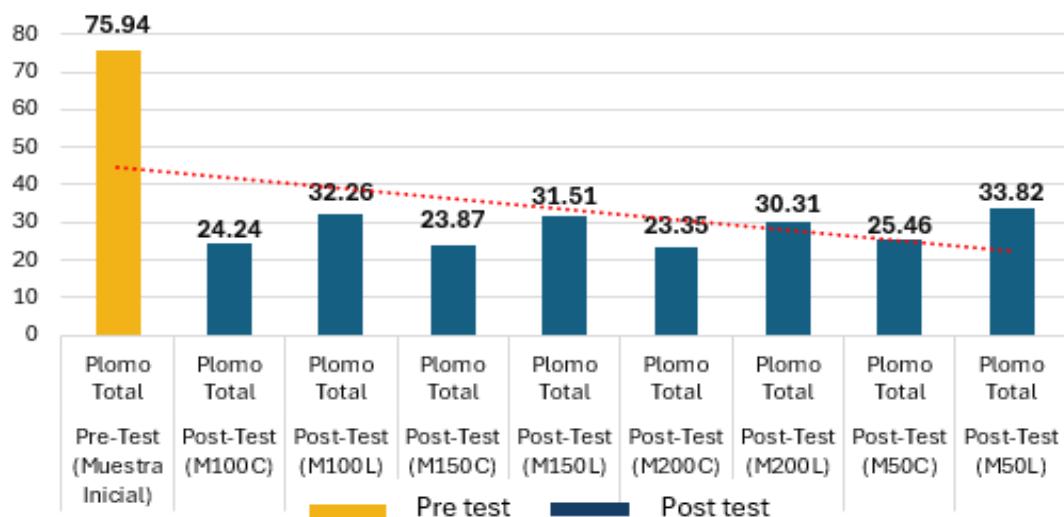
Tratamiento	Indicador	Unidad de medida	Valor
Pre-Test (Muestra Inicial)	Plomo Total	mg/Kg	75.94
Post-Test (M100C)	Plomo Total	mg/Kg	24.24
Post-Test (M100L)	Plomo Total	mg/Kg	32.26
Post-Test (M150C)	Plomo Total	mg/Kg	23.87
Post-Test (M150L)	Plomo Total	mg/Kg	31.51
Post-Test (M200C)	Plomo Total	mg/Kg	23.35
Post-Test (M200L)	Plomo Total	mg/Kg	30.31
Post-Test (M50C)	Plomo Total	mg/Kg	25.46
Post-Test (M50L)	Plomo Total	mg/Kg	33.82

Interpretación: Esta tabla muestra una reducción significativa del Plomo Total en el suelo después de la aplicación de los tratamientos. El nivel inicial de Plomo en el Pre-Test era de 75.94 mg/Kg. Después de los tratamientos, los valores de Plomo en el Post-Test se encuentran considerablemente más bajos, oscilando entre 23.35 mg/Kg (M200C) y 33.82 mg/Kg (M50L). Al igual que con el Cadmio, estos resultados sugieren que tanto la cochinilla como la lombriz roja son efectivas para la remoción de Plomo en el suelo, siendo nuevamente los tratamientos con cochinilla los que logran los niveles más bajos de este metal en este conjunto de datos.

Figura 16

Descripción de la capacidad de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por plomo destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025

Capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de plomo



Interpretación: Esta tabla muestra una reducción significativa del Plomo Total en el suelo después de la aplicación de los tratamientos. El nivel inicial de Plomo en el Pre-Test era de 75.94 mg/Kg. Después de los tratamientos, los valores de Plomo en el Post-Test se encuentran considerablemente más bajos, oscilando entre 23.35 mg/Kg (M200C) y 33.82 mg/Kg (M50L). Al igual que con el Cadmio, estos resultados sugieren que tanto la cochinilla como la lombriz roja son efectivas para la remoción de Plomo en el suelo, siendo nuevamente los tratamientos con cochinilla los que logran los niveles más bajos de este metal en este conjunto de datos.

Tabla 19

Descripción de la capacidad de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por Zinc destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María 2025

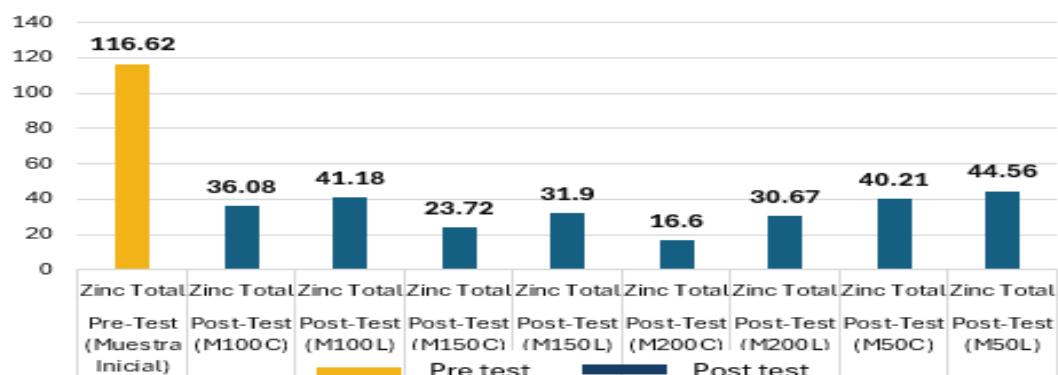
Tratamiento	Indicador	Unidad de medida	Valor
Pre-Test (Muestra Inicial)	Zinc Total	mg/Kg	116.62
Post-Test (M100C)	Zinc Total	mg/Kg	36.08
Post-Test (M100L)	Zinc Total	mg/Kg	41.18
Post-Test (M150C)	Zinc Total	mg/Kg	23.72
Post-Test (M150L)	Zinc Total	mg/Kg	31.9
Post-Test (M200C)	Zinc Total	mg/Kg	16.6
Post-Test (M200L)	Zinc Total	mg/Kg	30.67
Post-Test (M50C)	Zinc Total	mg/Kg	40.21
Post-Test (M50L)	Zinc Total	mg/Kg	44.56

Interpretación: Esta tabla revela una disminución muy representativa del Zinc Total en el suelo después de la aplicación de todos los tratamientos. El nivel inicial de Zinc en el Pre-Test era de 116.62 mg/Kg, que es el valor más alto. En el Post-Test, los valores de Zinc han disminuido drásticamente en todos los tratamientos oscilando entre 16.60 mg/Kg (M200C) y 44.56 mg/Kg (M50L). Esto demuestra que tanto la cochinilla como la lombriz roja son altamente efectivas en la remoción de Zinc del suelo. De nuevo el tratamiento con la mayor concentración de cochinillas (M200C) parece ser el más eficiente en la reducción de este metal pesado en este conjunto de datos.

Figura 17

Descripción de la capacidad de la cochinilla de la CH y la LR para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por Zinc destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025

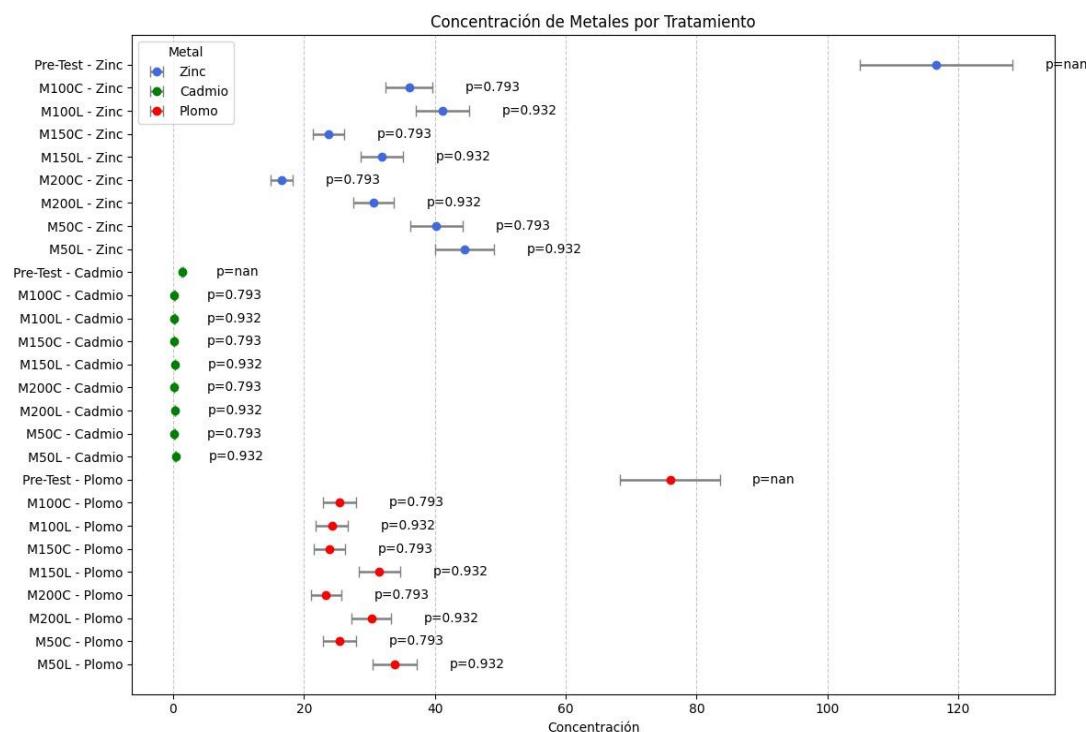
Capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de Zinc



Interpretación: En la figura 17 se muestra una disminución muy representativa del Zinc Total en el suelo después de la aplicación de todos los tratamientos. El nivel inicial de Zinc en el Pre-Test era de 116.62 mg/Kg, que es el valor más alto. En el Post-Test, los valores de Zinc han disminuido drásticamente en todos los tratamientos oscilando entre 16.60 mg/Kg (M200C) y 44.56 mg/Kg (M50L). Esto demuestra que tanto la cochinilla como la lombriz roja son altamente efectivas en la remoción de Zinc del suelo. De nuevo el tratamiento con la mayor concentración de cochinillas (M200C) parece ser el más eficiente en la reducción de este metal pesado en este conjunto de datos.

Figura 18

Concentración de plomo, cadmio y zinc en cada tratamiento de la CH y la LR comparando el pre - test y post – test mediante un FOREST PLOP



Interpretación: En la figura 18 se muestra la evaluación mediante el FOREST PLOP en el cual se evidencia una reducción significativa en las concentraciones de zinc y plomo después de los tratamientos con los biorremediadores, con mayor eficacia en el tratamiento de 150 y 200 CH, mientras que el cadmio presentó una disminución menos consistente; el p-valor < 0.05 indicó la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos, validando la efectividad de los tratamientos aplicados.

Tabla 20*Prueba de normalidad de Shapiro – Wilk*

Grupo	N	Estadístico	Valor	Conclusión ($\alpha = 0.05$)
		(W)	p	
Cochinilla	4	0.963	0.793	No se rechaza H_0 : Los datos podrían seguir una distribución normal.
Lombriz	4	0.985	0.932	No se rechaza H_0 : Los datos podrían seguir una distribución normal.

- Hipótesis Nula (H_0): Los datos de la muestra siguen una distribución normal.

Significancia (α): Se utiliza un nivel de significancia de 0.05 (o 5%).

Para ambos grupos (Cochinilla y Lombriz), el valor p obtenido de la prueba de Shapiro-Wilk es mayor que 0.05. Esto significa que no se tiene suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, con base en estas pequeñas muestras, podemos considerar que los datos de Cadmio Total en ambos grupos (Cochinilla agrupada y Lombriz agrupada) podrían provenir de una población normalmente distribuida.

En base a los resultados de la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para el Cadmio Total, donde tanto el Grupo Cochinchilla ($p=0.793$) como el Grupo Lombriz ($p=0.932$) no rechazaron la hipótesis nula de normalidad (ambos p -valores > 0.05), podemos proceder con una prueba t de Student para muestras independientes. Prueba Estadística Sugerida: Prueba t de Student para Muestras Independientes.

4.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.2.1. PRUEBA DE NORMALIDAD

- H_1 : La capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) es diferente en la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.
- H_0 : La capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) no es diferente en la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.
- Nivel de significancia: 5%
- Prueba estadística: t de Student para muestras independientes

Tabla 21

Prueba estadística: t de Student para muestras independientes

Metal Pesado	Estadístico t	Valor p	Nivel de Significancia (α)	Media Cochinilla (mg/Kg)	Media Lombriz (mg/Kg)
Cadmio Total	-1.547	0.165	0.05	0.193	0.283
Plomo Total	-1.821	0.119	0.05	24.79	31.975
Zinc Total	-1.23	0.273	0.05	29.152	37.078

Interpretación de los Valores p (comparados con $\alpha = 0.05$):

- Cadmio Total ($p=0.165$): Es mayor que 0.05. No hay diferencia significativa.
- Plomo Total ($p=0.119$): Es mayor que 0.05. No hay diferencia significativa.
- Zinc Total ($p=0.273$): Es mayor que 0.05. No hay diferencia significativa.

Para los tres metales pesados, la prueba t no encontró diferencias estadísticamente significativas en los niveles residuales promedio entre los tratamientos de cochinilla y los de lombriz, usando un nivel de significancia del 0.05.

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con el objetivo general de la investigación determinar la eficacia de la capacidad de la cochinilla de la humedad (*Porcellio laevis*) y la lombriz roja (*Eisenia foetida*) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.

Para evaluar este objetivo, se aplicó la prueba t de *Student* para muestras independientes agrupando los tratamientos por especie. El análisis estadístico mostró que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la capacidad remediadora de la cochinilla y la lombriz roja para la remoción de metales pesados. Esto se refleja en los valores p obtenidos: cadmio ($p = 0.165$), plomo ($p = 0.119$) y zinc ($p = 0.273$), todos mayores al nivel de significancia del 5% ($\alpha = 0.05$).

Desde el punto de vista descriptivo, ambos organismos demostraron ser eficaces en la reducción de los metales analizados. Por ejemplo, en el caso del cadmio, que inicialmente registraba un valor de 1.42 mg/Kg, los tratamientos lograron reducirlo a valores entre 0.17 y 0.38 mg/Kg. En el plomo, con un valor inicial de 75.94 mg/Kg, las reducciones oscilaron entre 23.35 y 33.82 mg/Kg. Para el zinc, aunque ya cumplía inicialmente (116.62 mg/Kg), los tratamientos lo redujeron aún más, alcanzando niveles mínimos de hasta 16.60 mg/Kg.

En relación con los resultados obtenidos de cadmio, plomo y zinc se evidenció que en los tratamientos con 150 y 200 biorremediadores hubo mayor porcentaje de remoción. En particular, la cochinilla alcanzó eficiencias superando ligeramente a la lombriz en algunos casos, aunque sin significancia estadística.

En la investigación de Cisneros et al. (2023) se evaluó la capacidad de la cochinilla para intervenir en la zoorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Las cochinillas fueron expuestas a sustratos con carga metálica progresiva, demostrando capacidad de bioacumulación,

principalmente de cadmio y plomo. La exposición prolongada no generó mortalidad significativa y se observaron comportamientos fisiológicos estables, como la muda periódica, que también fue vinculada al proceso de excreción de metales. El estudio concluyó que estas especies tienen un mecanismo de regulación natural que les permite tolerar ambientes contaminados, convirtiéndolas en candidatas efectivas para la biorremediación. Durante nuestra investigación, los *Porcellio laevis* fueron sometidos a suelos con una concentración de 1.42 mg/kg de cadmio y 75.94 mg/kg de plomo, a diferencia de Cisneros et al., la investigación evidenció niveles elevados de mortalidad en el *Porcellio laevis*, asociados a la exposición prolongada a suelos contaminados con altas concentraciones de metales pesados, en semejanza con la investigación de Cisneros se evidenció la muda periódica del *Porcellio Laevis*.

En la investigación realizada por Yapias et al. (2023) se implementó un sistema de vermicompostaje utilizando *Eisenia foetida* para remediar suelos de la zona minera de Yauricocha, altamente contaminados por metales pesados. Las lombrices fueron expuestas a sustratos tratados con materia orgánica en biopilas, alcanzando remociones del 93% para plomo, 88% para zinc y 86.7% para cobre. En su estudio resalta que el éxito del proceso estuvo asociado al uso de residuos orgánicos como alimento y buffer químico, que contribuyó a reducir la toxicidad directa sobre las lombrices. En comparación a esta investigación se expuso a la *Eisenia foetida* directamente a suelos contaminados con 75.94 mg/kg de plomo y 116.62 mg/kg de zinc, logrando reducciones significativas lo cual valida su efectividad incluso en condiciones más directas. A diferencia del antecedente, aquí no se presentó mortalidad alta ni se utilizaron compostajes, lo cual demuestra la capacidad natural de bioacumulación y tolerancia de esta especie en suelos agrícolas.

En el estudio de Pardavé (2023) se evaluó la eficacia del *Porcellio laevis* en la biorremediación de suelos contaminados con cadmio, plomo y zinc. Se utilizaron tres tratamientos con diferentes cantidades de individuos, y se observó una reducción significativa de los metales. La autora no reportó afectación fisiológica o mortalidad elevada, y concluyó que el *Porcellio laevis* es una alternativa viable para zonas degradadas, especialmente cuando se

incrementa el número de organismos. En la presente investigación, si bien los niveles de remoción obtenidos fueron similares o incluso mayores (Cd: 0.17, Pb: 23.35 y Zn: 16.06), se observó un fenómeno particular: la exposición prolongada a los metales produjo altos índices de mortalidad. Este efecto podría estar asociado a la acumulación excesiva de metales. Sin embargo, en la 4ta semana se evidenció una adaptación por parte del *Porcellio laevis*.

Este comportamiento se relaciona directamente con lo planteado en el marco teórico. Por ejemplo, Pardavé (2023) señala que *Porcellio laevis* es capaz de absorber cadmio y plomo, permitiendo reducir los niveles contaminantes del suelo, lo cual concuerda con los resultados de la presente investigación, donde se observaron reducciones importantes, especialmente de cadmio, en todos los tratamientos con esta especie. La semejanza entre lo planteado por el autor y nuestros resultados permite confirmar que el *Porcellio Laevis* puede ser considerado un agente eficaz en procesos de biorremediación de metales pesados, especialmente en contextos agrícolas.

Asimismo, la *Eisenia foetida* puede tolerar concentraciones de metales pesados sin afectarse biológicamente, lo cual se refleja claramente en los resultados experimentales, ya que la especie mantuvo bajos niveles de mortalidad durante el tratamiento y logró remociones significativas. Además, se observó una mejora en las propiedades físicas del suelo tratado, como se evidencia en el aumento del porcentaje de arcilla y la disminución del limo, lo que también se respalda con lo señalado por Pineda y Valencia (2017) quienes explican que la acción de esta lombriz mejora la estructura del suelo, retiene agua y reduce contaminantes.

En cuanto a la eficiencia comparativa entre ambas especies, si bien el marco teórico no realiza un contraste directo entre el *Porcellio Laevis* y la *Eisenia foetida*, los autores reconocen en ambas especies una alta capacidad remediadora.

Los resultados obtenidos en el análisis de los parámetros físicos muestran un cambio notable en la textura del suelo luego de aplicar los tratamientos con *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida*. Según la Tabla 11 del informe, se evidencia que el porcentaje de arcilla aumentó en casi todos los

tratamientos (de 27% a valores entre 28% y 34%), mientras que el limo disminuyó de un valor inicial de 24% a un rango de 17% a 21%. Por su parte, la arena tuvo variaciones menores, manteniéndose entre 47% y 55% dependiendo del tratamiento. Esta modificación en la textura refleja que ambos organismos influyen en la estructura física del suelo, y existe concordancia con el marco teórico, donde se plantea que estas especies actúan sobre el suelo a través del procesamiento de materia orgánica, mejorando su calidad. Por lo tanto, existe semejanza entre la teoría y los hallazgos experimentales, ya que los resultados demuestran que ambos organismos promueven una mayor estabilidad del suelo al aumentar el contenido de arcilla, lo cual puede asociarse con una mejor retención de agua y nutrientes. Aunque el marco teórico no detalla valores numéricos, sí respalda la hipótesis de que estas especies tienen un efecto positivo en la textura y estructura del suelo.

Los parámetros químicos analizados fueron el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la concentración de metales pesados (Cd, Pb y Zn). Tras la aplicación de los tratamientos biológicos con *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida*, se evidenció un cambio favorable en todos estos parámetros.

Por ejemplo, en cuanto al pH, el valor inicial del suelo fue de 5.12 (ácido), mientras que los tratamientos con lombrices y cochinillas, el pH se elevó progresivamente hasta alcanzar valores de 5.47, indicando una reducción de la acidez. Respecto a la capacidad de intercambio catiónico, se observó un incremento significativo. Este resultado tiene semejanza directa con lo señalado por Huiza (2019) en el marco teórico, quien explica que la biotecnología del suelo favorece la retención de nutrientes por la actividad de microorganismos y macroinvertebrados que mejoran las propiedades químicas del suelo.

Durante los tres meses de investigación se evaluaron los efectos de la remoción de metales pesados sobre los biorremediadores. Los datos revelan una mayor susceptibilidad en *Porcellio laevis* frente a la exposición a suelos contaminados con cadmio, en comparación con *Eisenia foetida*, lo cual se evidenció en los elevados porcentajes de mortalidad en los distintos

tratamientos. En el tratamiento con 200 individuos de *Porcellio leavis* se registraron 71 muertes en la segunda semana de marzo, y cifras adicionales en las semanas siguientes, mientras que en el mismo tratamiento con *Eisenia foetida* se reportaron menos eventos de mortalidad en un mismo periodo. Esta diferencia sugiere que, aunque ambos organismos son eficaces en remediar metales, la tolerancia fisiológica al cadmio podría ser mayor en las lombrices, lo que les permite resistir mejor ambientes contaminados. A pesar de la alta mortalidad observada inicialmente, los registros también muestran un fenómeno de adaptación poblacional progresiva en el *Porcellio leavis*, especialmente en los tratamientos con mayor número de individuos. Esto se evidenció con el nacimiento de mancas (crías), que permitieron la reposición biológica y compensaron la pérdida poblacional inicial.

CONCLUSIONES

1. La intervención con *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida* generó mejoras significativas en las propiedades físicas del suelo, tales como su textura. Para la arena hubo variaciones, en el tratamiento de 100C se redujo levemente, mientras que para el tratamiento de 200L aumentó respecto al 49%, para la arcilla se evidenció un incremento en la mayoría de los tratamientos (28 - 34% vs 27% inicial), sugiriendo efectos de agregación. Por el contrario, el Limo disminuyó consistentemente en todos los tratamientos post-test (17-21% vs 24% inicial). Se puede concluir descriptivamente que favorecen en el desarrollo de cultivos de cacao.
2. Se concluye también una mejora en los indicadores químicos del suelo, como el pH y la Conductividad Eléctrica (CE) después del tratamiento con los biorremediadores. Se observó un aumento notable en la Conductividad Eléctrica (CE) en los diferentes tratamientos post-test (0.34 a 0.74 dS/m vs. 0.13 dS/m inicial), con las lombrices, lo que sugiere una mayor liberación de sales, para el pH se evidenció que en el tratamiento de las lombrices hubo un ligero aumento (5.13-5.47 vs. 5.12 inicial) indicando una reducción de la acidez. Ambos tratamientos permitieron un entorno químico más estable y menos ácido, lo cual favorece la disponibilidad de nutrientes esenciales para el cultivo.
3. Se concluye que para la Materia Orgánica, Nitrógeno, Carbono, Fósforo (P) y Potasio (K₂O) mostró un claro incremento en el post-test, evidenciando la contribución de los organismos a la acumulación de nutrientes. La Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICe) y las Bases Cambiables (Ca, Mg, K) también aumentaron mejorando la retención y disponibilidad de nutrientes. El Sodio (Na) cambiante, sin embargo, tendió a disminuir. Se tuvo un resultado muy positivo es la disminución generalizada del Aluminio (Al) e Hidrógeno (H) cambiables, y de la Saturación de Aluminio. Esto indica una mitigación efectiva de la toxicidad por acidez siendo los tratamientos con lombriz particularmente eficientes en reducir la saturación de aluminio.

4. Se concluye también que tanto las cochinillas como lombrices mejoraron significativamente la fertilidad del suelo, el pH y mitigaron la acidez tóxica, con las lombrices mostrando una tendencia a generar mayores cambios beneficiosos en varios indicadores.
5. Se concluye también que el cadmio total presentó datos más altos de remoción, en el tratamiento con 200 cochinillas llegó a una reducción de 0.17 mg/kg. Indicando capacidad de remediación para este metal.
6. Se concluye que para el zinc también hubo una alta remoción, con 200 cochinillas alcanzó un valor de 16.6 mg/kg.
7. Se concluye que para el plomo la remoción fue ligeramente inferior al del Cadmio, con 200 cochinillas alcanzó un valor de 23.35 mg/kg.
8. Se concluye también que la mayor remoción de metales pesados cadmio, plomo y zinc, se obtuvo con los tratamientos de 200 cochinillas.
9. Evaluando la mortalidad se puede concluir que para las primeras semanas de la ejecución del proyecto en el tratamiento de 150C y 200L se evidenció el mayor porcentaje de mortalidad, debido a los niveles altos de contaminante en el suelo, tal y como se puede verificar en los resultados del pretest, inmediatamente se repuso la misma cantidad de cochinillas y de lombrices en cada bandeja. Para la tercera semana no se evidenció mortalidad en los tratamientos con las lombrices, de igual forma en la quinta semana de ejecución el porcentaje de mortalidad bajó para los tratamientos con cochinillas, se pudo observar adaptabilidad por parte de las cochinillas con las mudas a partir de la cuarta semana.
10. Los resultados evidenciaron que ambos organismos presentan un notable potencial para la recuperación de suelos agrícolas, sobresaliendo por su aptitud de bioacumulación y estabilización de metales pesados en condiciones controladas.
11. Se comprobó que, tras el periodo experimental, hubo una reducción significativa en las concentraciones de metales pesados, especialmente del plomo y zinc. La acción conjunta de estos organismos también favoreció la mejora de las condiciones físicas y químicas del suelo, generando un suelo más apto para el desarrollo del cultivo de cacao.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda desarrollar futuras investigaciones que profundicen el estudio de la biorremediación con organismos como *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida*, empleando otros tipos de suelos, niveles de contaminación o cultivos agrícolas distintos al cacao.
2. Se recomienda extender la investigación a la evaluación de otros metales pesados presentes en suelos agrícolas de características semejantes, con el fin de evaluar el comportamiento de estos organismos frente a una mayor diversidad y altas concentraciones de contaminantes.
3. Se recomienda hacer investigaciones con estos biorremediadores empleando más repeticiones.
4. Se recomienda aplicar esta técnica de biorremediación como una alternativa viable y sostenible en zonas agrícolas afectadas por metales pesados, especialmente en aquellas donde se cultiva cacao con fines de exportación.
5. Se recomienda extender el tiempo de exposición a los organismos remediadores a más de tres meses. Esto permitirá evaluar y monitorear el comportamiento a largo plazo de las cochinillas y lombrices en el proceso de remoción de metales pesados, ya que presentaron mudas durante la ejecución del proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta (2022). *Gestión administrativa y la calidad del servicio en el Gobierno Autónomo Descentralizado municipalidad de Ambato* [Tesis de posgrado, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio institucional https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/35592/1/53%20AD_P.pdf
- Albornoz Pineda, A., & Ortega Valencia, E. (2017). *Evaluación de la eficiencia de la lombriz roja californiana E. foetida para estabilización de lodos residuales de la PTAR Salitre*. [Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11634/2864>
- Alcaino Concha, G. I. (2012). *Análisis y comparación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. Obtenido de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113010/cf-alcaino_gc.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aquino Mallma, K. K., & Checcori Vargas, C. M. (2021). *Revisión sistemática: técnicas de remediación para suelos contaminados por metales pesados*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/84284/Aquino_MKK-Checcori_VCM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arenasa Fababa, S. (2021). *Aplicación de vermicompost para la remediación de suelos contaminados por metales pesados: revisión sistemática*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/75963/Arenaza_FS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ARQUITASA. (23 de Enero de 2025). *Usos del suelo*. Arquitasa. Obtenido de <https://arquitasa.com/usos-suelo/>

Bautista Cisneros, X., Rivera Durán, C., Castañeda Guzmán, I., Soto Lopez, R., González García, J., Canelo Martínez, P., & Cisneros Lopez, H. (9 de Agosto de 2023). *Papel de la cochinilla Oniscidea en la zoorremediación*. JÓVENES EN LA CIENCIA, 21, 1–14. Obtenido de <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/4054>

Bembibre, C. (Febrero de 2011). *Definición de Suelo Agrícola*. Obtenido de <https://significado.com/suelo-agricola/>

Chancay Alcívar, L., Delgado Demera, M., & Salas Macías, C. (2022). *Cadmio en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) y sus efectos ambientales*. [Edición Especial, pp. 91–110]. La Técnica: Revista de las Agrociencias. Universidad Técnica de Manabí. doi:https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i0.4324

Chancay Yapias, K. L., Córdova Arias, J. F., & Rojas Basteres, E. H. (2023). *El vermicompost, una alternativa en la recuperación de suelos contaminados con metales pesados en la Mina Yauricocha*. Obtenido de https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/13195/1/IV_FIN_110_TE_Canchan_Cordova_Rojas_2023.pdf

Chaupis García, A. I. (2023). *Eficacia de la lombriz (*Eisenia foetida*) para el tratamiento de suelos contaminados con metales pesados en suelos de cultivo de cacao, Huánuco*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional de la Universidad de Huánuco. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/5020/Chapus%20García%2c%20Anais%20Isabel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Cuyubamba Meza, J. (2021). *Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el suelo sobre la densidad del bioindicador (*Eisenia foetida*) en los cultivos de cacao (*Theobroma cacao*), Huamalíes, Huánuco – 2020*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional de la Universidad de Huánuco. Obtenido de

- <https://repository.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/2998/CUY UBAMBA%20MEZA%2c%20JHAJIRA%20D%c2%b4YANARA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EcuRed. (2025). *Metales pesados*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Metales_pesados
- Edwards, C. A. (1996). *Biology and ecology of earthworms* (4.ª ed.). Springer. doi:<https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3>
- Eróstegui Revilla, C. P. (2008). *Contaminación por metales pesados en suelos agrícolas de la región andina de Bolivia*. Revista Científica Ciencia Médica, 12(1), 13–22. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/pdf/rccm/v12n1/v12n1_a13.pdf
- ESPOCH. (2023). *Suelos: Caraterización e importancia*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2023-01-18-140934-L2022-031.pdf>
- FAO. (2015). *El suelo es un recurso no renovable su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e915565b-63a9-4245-81e7-1d663a2765ac/content>
- FAO. (s.f.). *Estructura del suelo*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Obtenido de https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm
- Fertilab. (2021). *Los metales pesados en el suelo*. Obtenido de <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/Los-metales-pesados-en-el-suelo.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Global assessment of soil pollution*. FAO. Obtenido de

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8fa95d84-bb05-4c77-b02e-425f70ba6834/content>

Fundación Chile. (2015). *Manual de tecnologías de remediación de sitios contaminados*. [Manual]. Fundación Chile. Obtenido de https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/10/manual-de-tecnologias-de-remediacion-de-sitios-contaminados_baja-1.pdf

Fundación Ecopuerto. (s.f.). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. [Informe]. Obtenido de <http://www.ecopuerto.com/Bicentenario/informes/TecnologiasRemediacion.pdf>

Gadd, G. (2010). *Metals, minerals and microbes: Geomicrobiology and bioremediation*. Microbiology, 156(3), 609–643. Obtenido de <https://www.microbiologyresearch.org/content/journal/micro/10.1099/mic.0.037143-0>

Galán Huertos, E., & Romero Baena, A. (2008). *Contaminación de suelos por metales pesados*. Macla, 10, 48–60. Obtenido de https://www.semineral.es/websem/PdfServlet?mod=archivos&subMod=publicaciones&archivo=Macla10_48.pdf

Giorgetta, M. (s.f.). *Baccharis tola (Asteraceae)*. El Silencio. Obtenido de https://giorgetta.ch/fl_asteraceae_baccharis_tola.htm

Guía de Lombricultura. (3 de Octubre de 2011). *Guia de Lombricultura, una alternativa de producción*. Obtenido de <https://guiadelombricultura.wordpress.com/2011/10/03/taxonomia/>

Heart of England Forest. (2023). *Isopods in the Forest*. Heart of England Forest. Obtenido de <https://heartofenglandforest.org/news/isopods-forest>

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. McGraw-Hill Interamericana. Obtenido de <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20B>

aptista-

metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf

Hornung , E. (2011). *Evolutionary adaptation of oniscidean isopods to terrestrial life: Structure, physiology and behavior*. Terrestrial Arthropod Reviews, 4(2), 95–130. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/233665454_Evolutionary_adaptation_of_oniscidean_isopods_to_terrestrial_life_Structure_physiology_and_behavior

Huaranga Moreno, F., Méndez García, E., Quilcat León, V., Bernui Paredes, F., Costilla Sánchez, N., & Huaranga Arévalo, F. (2021). *Fitoextracción de Pb y Cd presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro (Lolium multiflorum L., Poaceae)*. Arnaldoa, 28(1). Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992021000100149

Huiza Acosta, K. B. (2019). *Remediación de suelos contaminados con metales pesados mediante especies del género Brassica*. [Trabajo de investigación para optar el grado de Bachiller en Ingeniería Ambiental, Universidad Científica del Sur]. Repositorio Institucional de la Universidad Científica del Sur. Obtenido de <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/891/TB-Huiza%20Karen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ideas Verdes. (21 de Mayo de 2021). *El poder de las cochinillas para eliminar metales pesados*. [Entrada de blog]. Ideas Verdes. Obtenido de <https://www.ideasverdes.es/cochinilla-metales-pesados/>

INIA. (20 de Mayo de 2015). *El suelo*. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Obtenido de <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/El-suelo-2015.pdf>

Juárez Uribe, R. A. (2010). *Reciclaje de lodos residuales de la industria del papel mediante lombricultura utilizando la especie “lombriz roja*

californiana” Eisenia foetida. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional de la UNALM. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/6a0a42ab-24dd-44d4-afea-e2a96ce0eb51>

Kabata Pendias, A., & Pendias, H. (2001). *Trace elements in soils and plants* (3rd ed.). CRC Press.

Litoclean. (2024). *Gestión y tratamiento de suelos.* Litoclean. Obtenido de <https://www.litoclean.com/actividad-suelos/>

Ministerio de Agricultura y Riego del Perú. (2003). *Manual de cultivo del cacao.* Obtenido de <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2017). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo (Decreto Supremo N° 011-2017-MINAM).* Obtenido de https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/011-2017-minam_0.pdf

Ministerio del Ambiente. (2017). *Decreto Supremo N.º 011-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo.* [Decreto Supremo]. El Peruano / Ministerio del Ambiente. Obtenido de https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/12/DS_011-2017-MINAM.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2007). *Guía técnica de aplicación del RD 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.* Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/suelos-contaminados/guia_tecnica_contaminantes_suelo_declaracion_suelos_tcm30-185726.pdf

Morgan, E. (2016). *La próxima vez que veas una cochinilla*. [Edición ilustrada]. National Science Teachers Association. ISBN 1681402890.

National Geographic España. (2022). *Qué son las cochinillas de la humedad*. National Geographic España. Obtenido de https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/que-son-cochinillas-humedad_19132

Ordoñez Araque, R., Lopez Cortez, A., Casa Lopez, F., Landines Vera, E., & Fuentes, E. (2020). *Análisis de cadmio, plomo, níquel y arsénico en plantas de cacao y derivados: industria alimentaria*. CienciAmérica, Vol. 9 Núm. 4 (2020): Especial “IV Encuentro Internacional Ciencia, Tecnología e Innovación Indoamérica 2020”. Universidad Tecnológica Indoamérica. Obtenido de <https://cienciamerica.edu.ec/index.php/uti/article/view/351>

Parchéz Giner, M., & Martínez Giharo, R. (2025). *Métodos biológicos para eliminar metales pesados en suelos y sedimentos*. Universitat Politècnica de València. Obtenido de <https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/af095a7f-7ba3-409b-b514-c688b7389e2f/content>

Pardave Tineo, J. (2023). *Eficacia de la biorremediación con crustáceos isópodos (Porcellio laevis) para la reducción de metales pesados en suelos contaminados*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional de la Universidad de Huánuco. Obtenido de <https://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14257/4944/Pardave%20Tineo%2c%20Jimena.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ramírez Cota, M., Escobar Sánchez, O., & Betancurt Lozano, M. (2023). *Metales pesados: antagonistas de la salud en México*. Revista Ciencia, 74(3), 25–28. Obtenido de https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/74_3/PDF/06_74_3_1385.pdf

Ríos S., Y. (2020). *Importancia de las lombrices en la agricultura*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco. Obtenido de

<https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-juarez-autonoma-de-tabasco/protostomados/importancia-lombrices-agricultura/14050538>

- Rivera , R. E., Rodriguez, N., Marchant, M., Correa, C., Jerez, V., Pizarro Araya, J., . . . Aldunate del Solar, C. (2023). *Fauna: Un recorrido por el endemismo de Chile*. Museo Chileno de Arte Precolombino. Obtenido de Fauna: Un recorrido por el endemismo en Chile: https://museo.precolombino.cl/wp-content/uploads/2023/12/FAUNA-DE-CHILE-FINAL_compressed.pdf
- Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma. Obtenido de <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-%20investigacion.pdf>
- Supo, J., & Zacarias, H. (2020). *Metodología de la investigación científica: Para las ciencias de la salud y las ciencias sociales* (3.^a ed.). Bioestadístico. Obtenido de https://books.google.com.pe/books/about/Metodolog%C3%8Da_de_la_Investigaci%C3%93n_Cient.html?id=WruXzQEACAAJ&redir_esc=y

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

- Dionicio Guerra, S, S. (2025). *Eficacia de la capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (Porcellio laevis) y la lombriz roja (Eisenia foetida) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025*. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional UDH. <http://...>

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Titulo: “Eficacia de la capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (porcellio laevis) y la lombriz roja (eisenia foetida) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025”

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables/ Indicadores	Metodología
¿Cuál es la eficacia de la capacidad de la cochinilla de la humedad (Porcellio laevis) y la lombriz roja (Eisenia foetida) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?	Determinar la eficacia de la capacidad de la cochinilla de la humedad (Porcellio laevis) y la lombriz roja (Eisenia foetida) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025.	Hi: La capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (Porcellio laevis) y la lombriz roja (Eisenia foetida.) es diferente en la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025	<p>Variable dependiente Capacidad remediadora</p> <p>Variable independiente Remoción de metales pesados en suelos contaminados</p> <p>Parámetros</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de investigación: Prospectivos, con intervención, analítico y longitudinal <p>Enfoque: Cuantitativo</p>
Específicos ¿Cuáles son los parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (Porcellio laevis) y la lombriz roja (Eisenia foetida) en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María –	Específicos Describir los parámetros físicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (Porcellio laevis) y la lombriz roja (Eisenia foetida) en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao de	Específicos Ho1: La capacidad remediadora de la cochinilla de la humedad (Porcellio laevis) y la lombriz roja (Eisenia foetida.) no es diferente en la remoción de metales pesados en suelos contaminados destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025	<p>Parámetros físicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Textura <p>Parámetros químicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ pH ✓ Macronutrientes <p>Metales pesados</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cadmio 	<p>Alcance o nivel: Aplicada Diseño: Experimento verdadero</p> <p>GE1:01 x1 02</p> <p>GE2:01 x2 02</p> <p>GE3:01 x3 02</p>

2025? ¿Cuáles son los parámetros químicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (<i>Porcellio laevis</i>) y la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025?	cacao en la ciudad de Tingo María – 2025 Describir los parámetros químicos antes y después de la remoción de metales pesados con la cochinilla de la humedad (<i>Porcellio laevis</i>) y la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025	✓ Zinc ✓ Plomo	GE4:01 x4 02
¿Cuál es la eficacia entre la capacidad de la cochinilla de la humedad (<i>Porcellio laevis</i>) y la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025? ¿Cuál es la eficacia entre la capacidad de la cochinilla de la humedad (<i>Porcellio laevis</i>) y la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) para la remoción de metales pesados en suelos	Determinar la eficacia entre la capacidad de la cochinilla de la humedad (<i>Porcellio laevis</i>) y la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) para la remoción de metales pesados en suelos contaminados por cadmio destinados a cultivos de cacao en la ciudad de Tingo María – 2025 Determinar la capacidad de la cochinilla de la humedad (<i>Porcellio laevis</i>) y la lombriz roja (<i>Eisenia foetida</i>) para la remoción de metales pesados en suelos		

contaminados por plomo
destinados a cultivos de
cacao en la ciudad de Tingo
María – 2025?

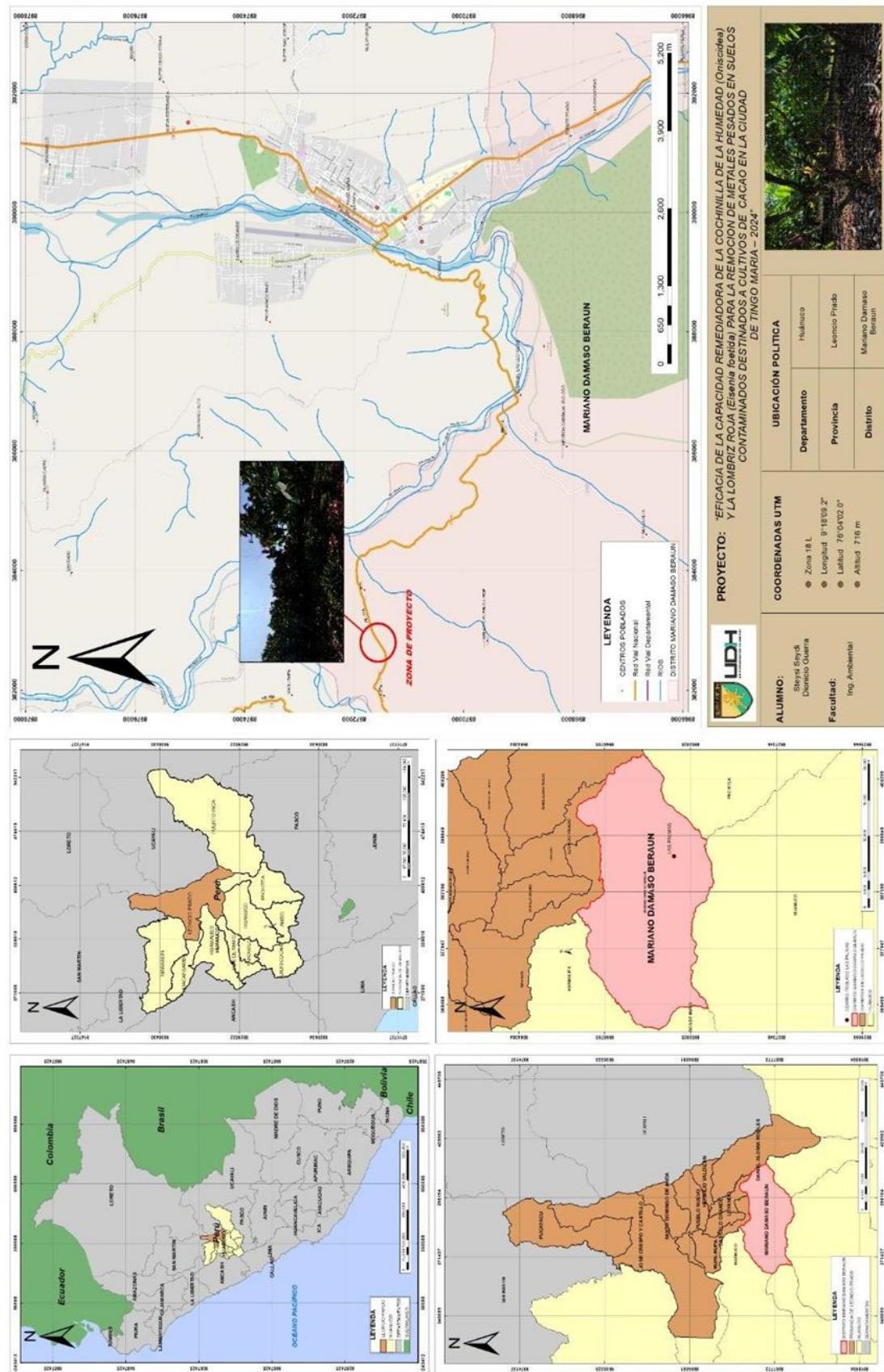
¿Cuál es la eficacia entre la
capacidad de la cochinilla de
la humedad (*Porcellio laevis*)
y la lombriz roja (*Eisenia
foetida*) para la remoción de
metales pesados en suelos
contaminados por Zinc
destinados a cultivos de
cacao en la ciudad de Tingo
María – 2025?

contaminados por plomo
destinados a cultivos de
cacao en la ciudad de Tingo
María – 2025

Determinar la eficacia entre
la capacidad de la cochinilla
de la humedad (*Porcellio
laevis*) y la lombriz roja
(*Eisenia foetida*) para la
remoción de metales
pesados en suelos
contaminados por Zinc
destinados a cultivos de
cacao en la ciudad de Tingo
María – 2025

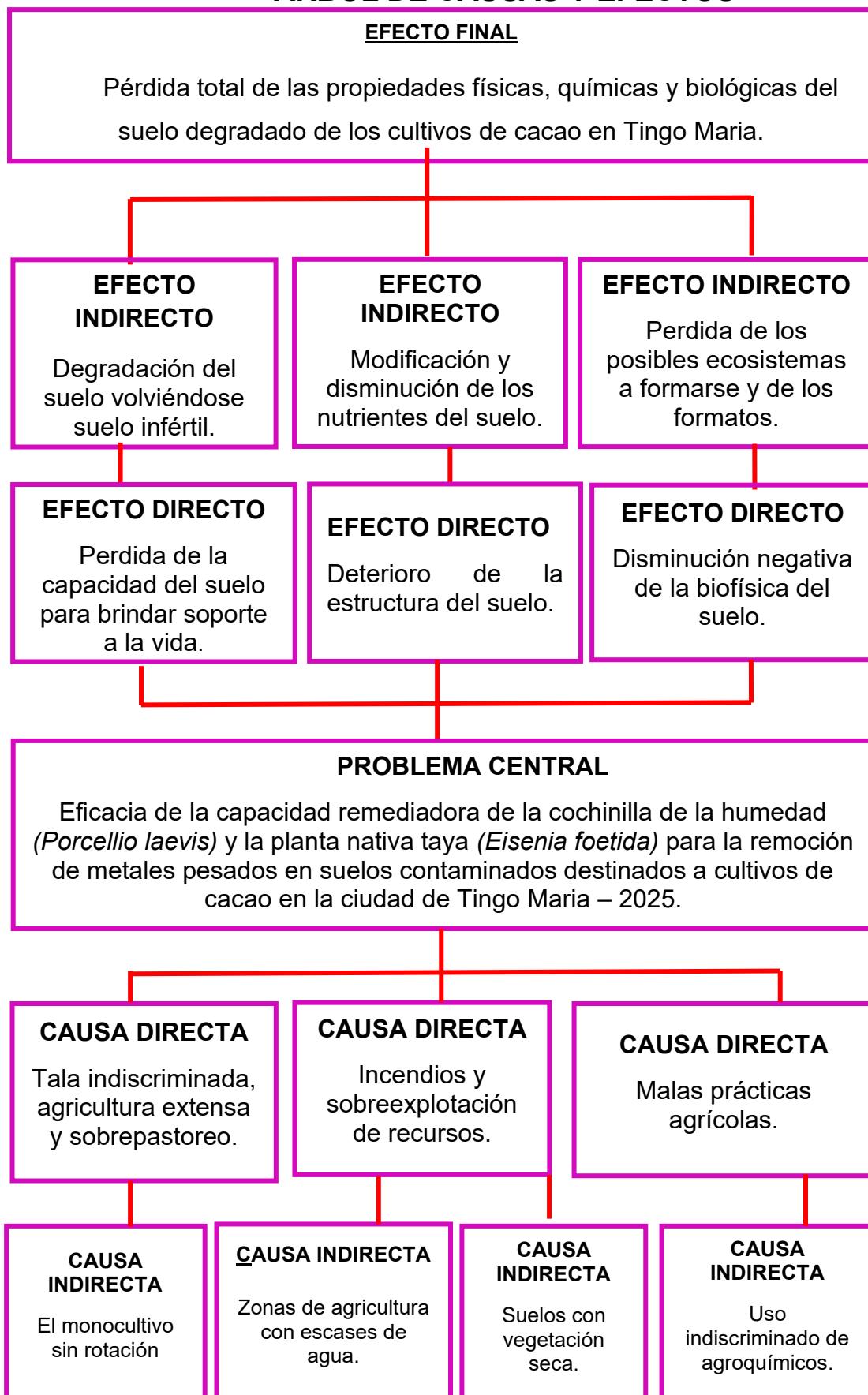
ANEXO 2

PLANO DE UBICACIÓN



ANEXO 3

ÁRBOL DE CAUSAS Y EFECTOS



ANEXO 4

ÁRBOL DE MEDIOS Y FINES



ANEXO 5

TABLA DE MORTALIDAD QUE SE UTILIZÓ PARA EL *PORCELLIO LAEVIS* Y LA *EISENIA FOETIDA* DURANTE LOS 3 MESES

MES	Nº SEMANA	MORTALIDAD								REPOSICIÓN								ALIMENTACIÓN								RIEGO							
		Porcellio Laevis				Eisenia foestida				Porcellio Laevis				Eisenia foestida				Porcellio Laevis				Eisenia foestida				Porcellio Laevis				Eisenia foestida			
		50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200	50	100	150	200
Marzo	2	43	81	125	71	20	56	72	85	43	81	125	71	20	56	72	85	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	3	16	30	50	54	-	-	-	-	16	30	50	54	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	4	15	22	30	45	-	-	-	-	15	22	30	45	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
Abril	1	10	43	24	28	-	-	-	-	10	43	24	28	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	2	7	12	15	20	-	-	-	-	7	12	15	20	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	3	5	10	12	19	-	-	-	-	5	10	12	19	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	4	4	5	11	14	-	-	-	-	4	5	11	14	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
Mayo	1	2	1	7	5	-	-	-	-	2	1	7	5	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I
Junio	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	3D	I	I	I	I	I	I	I	I

ANEXO 4

RESULTADOS DEL LABORATORIO DEL PRE-TEST

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



ANALISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	DIONICIO GUERRA STEYSI SEYDI								FECHA DE REPORTE:	4/3/2025																	
PROCEDENCIA:	CASERIO INTI								RECIBO N°	68493																	
REFERENCIA:	TIPO DE MUESTRA: SUELO								MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE																	
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO																											
DATOS		ANALISIS FISICO				ANALISIS QUIMICO																					
Nº	CÓDIGO DEL LABORATORIO	REFERENCIA DEL SOLICITANTE	Arena %	Arcilla %	Limo %	Clase Textural	CE	pH	Materia Orgánica	N	C	P	K ₂ O	CIC	Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	Bases Cambiables %	Acidez Cambiable %	Saturación de Aluminio %	Zinc Total mg/Kg	Cadmio Total mg/Kg	Plomo Total mg/Kg
							Ao		Lo	dS/m	M.O.	total	Orgánico		disponible	Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio	Aluminio							
1	S25-0083	M1	49	27	24	Franco Arcillo Arenoso	0.13	5.12	2.97	0.149	1.723	24.191	128.59	---	3.218	0.598	0.328	0.153	0.390	0.080	4.77	90.14	9.86	8.18	116.62	1.42	75.94

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

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



GRACIAS POR SU PREFERENCIA

analisisdesuelosunas@hotmail.com
WhatsApp: 944407531

ANEXO 7

RESULTADOS DEL LABORATORIO DEL POST-TEST

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUA Y ECOTOXICOLOGÍA



ANALISIS DE SUELOS



Nº	DATOS					ANALISIS QUÍMICO										Base Cambiante			Acidex Cambiante			Saturación de Aluminio			Dato Total			Cálculo Total			Pluma Total							
	CÓDIGO DEL LABORATORIO	DATOS DEL SUELO				CE dL/100g	pH	Materia Orgánica M.O.	N Total	C Orgánica	P disponible	K ₂ O	CIC	Ca Carbonato	Mg Magnesio	K Potasio	Na Sodio	Al Aluminio	H Hidrógeno	CICs	Base Cambiante			Acidex Cambiante			Saturación de Aluminio			Dato Total			Cálculo Total			Pluma Total		
		Arena Ao	Arcilla Arc	Limo Lo	Clase Textura																																	
RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO																																						
1	S25-0652-1	M1 50C	51	30	19	Francoso Arcillo Arenoso	0.39	5.14	4.39	0.219	2.545	25.142	293.840	—	4.379	0.741	0.623	0.019	0.36	0.14	6.46	92.26	7.74	5.57	40.21	0.21	25.46											
2	S25-0652-2	M2 100C	47	34	19	Francoso Arcillo Arenoso	0.40	5.22	5.25	0.263	3.048	26.324	303.090	—	4.626	0.748	0.636	0.019	0.35	0.55	6.93	87.01	12.99	5.05	36.08	0.20	24.24											
3	S25-0652-3	M3 150C	49	34	17	Francoso Arcillo Arenoso	0.36	5.15	4.12	0.206	2.388	24.985	293.690	—	4.757	0.785	0.506	0.018	0.27	0.33	6.67	91.00	9.00	4.05	23.72	0.19	23.87											
4	S25-0652-4	M4 200C	49	32	19	Francoso Arcillo Arenoso	0.34	5.13	5.20	0.260	3.016	26.170	280.012	—	4.888	0.736	0.750	0.018	0.28	0.24	6.91	92.48	7.52	4.05	16.60	0.17	23.35											
5	S25-0652-5	M1 50L	53	28	19	Francoso Arcillo Arenoso	0.61	5.15	4.93	0.246	2.859	26.358	445.596	—	7.184	0.889	0.965	0.029	0.24	0.41	9.72	93.31	6.69	2.47	44.56	0.38	33.82											
6	S25-0652-6	M2 100L	51	30	19	Francoso Arcillo Arenoso	0.65	5.47	4.98	0.249	2.691	26.958	530.919	—	7.463	0.895	0.987	0.025	0.23	0.37	9.97	93.98	6.02	2.31	41.18	0.26	32.26											
7	S25-0652-7	M3 150L	49	30	21	Francoso Arcillo Arenoso	0.74	5.40	5.90	0.295	3.425	26.287	566.892	—	7.177	0.813	0.963	0.023	0.21	0.29	9.48	94.72	5.28	2.22	31.90	0.25	31.51											
8	S25-0652-8	M4 200L	55	28	17	Francoso Arcillo Arenoso	0.73	5.24	6.18	0.309	3.582	25.323	462.167	—	8.165	0.882	0.934	0.029	0.21	0.19	10.41	96.16	3.84	2.02	30.67	0.24	30.31											

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 CASAE.

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

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



ANEXO 8

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICO

Fase 1: Recolección de suelo contaminado, de *Porcellio laevis* y *Eisenia foetida*.



Fase 2: Armado de camas y acondicionamiento



Fase 3: Adaptación del *Porcellio laevis* y la *Eisenia foetida*



Fase 4: Culminación de la ejecución del proyecto, recolección de muestras

