



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
EXTENSIÓN EN EL CARMEN
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA
Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de Noviembre 13 de 1985



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

“Inoculación de *Trichoderma Spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz”

.

AUTORA: Moreira Zambrano Brigitte Andreina

DOCENTE TUTOR: Ing. Marcos Vinicio De La Cruz, MSc

El Carmen, febrero del 2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página II de 85

CERTIFICACIÓN

En calidad de docente tutor de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **Brigithe Andreina Moreira Zambrano**, legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2025 (2), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es **“Inoculación de *Trichoderma spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz”**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 23 de enero de 2026.



Ing. De la Cruz Chicalza Marco Vinicio Mg.
Docente Tutor
Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria



UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE

MANABÍ EXTENSIÓN EL CARMEN

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Los miembros del Tribunal Examinador aprueban el Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto Integrador, titulado "Inoculación de *Trichoderma spp* en sustrato orgánico, para la producción de humus de lombriz", cuya autora es **Brigithe Andreina Moreira Zambrano** de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y como Tutor de Trabajo de Titulación el Ing. De la Cruz Chicaiza Marcos Vinicio, Mg.

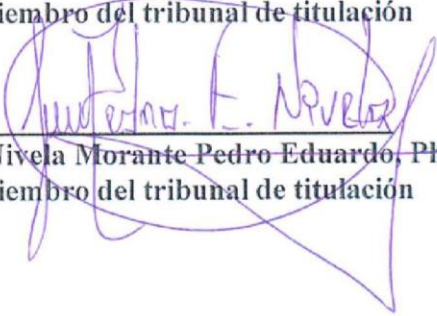
El Carmen, febrero de 2026



Ing. Tacuri Troya Elizabeth Telli, Mg.
Presidente del tribunal de titulación



Ing. Cobeña Loor Néxar Vismar, Mg.
Miembro del tribunal de titulación



Ing. Nivelá Morante Pedro Eduardo, PhD.
Miembro del tribunal de titulación



Uleam



DECLARACIÓN DE AUTORIA

La responsabilidad de este proyecto de Titulación: **"Inoculación de *Trichoderma spp* en sustrato orgánico, para la producción de humus de lombriz"** corresponde exclusivamente a **Brigithe Andreina Moreira Zambrano** con C.I 1723325187 y los derechos patrimoniales del mismo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El Carmen – Manabí

Autora

Brigithe Andreina Moreira Zambrano
C.I 1723325187

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi pequeña familia mis hijos **ISAAC Y NAZLY** por su amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y perseverancia. A mis amigos, por su apoyo constante, su paciencia y sus palabras de aliento en los momentos más difícil.

A mis padres, por ser mi ejemplo, mi fortaleza y mi inspiración. Gracias por creer en mí incluso cuando yo dudaba, por sus sacrificios y por todo el amor que me ha impulsado a llegar hasta aquí.

A mis hermanas decirles q los sueños si se cumplen, con paciencia y esfuerzos pueden llegar hacer una gran profesionales.

A ti papa NEPTA Y JOSE, cuya luz sigue guiando mis pasos, este logro también te pertenece, porque tu amor y tus enseñanzas viven en cada una de mis metas alcanzadas.

A mis profesores y mentores, por su dedicación, su sabiduría y su compromiso con la enseñanza. Gracias por inspirarme a nunca dejar de aprender.

A quienes, con su apoyo, comprensión y cariño, hicieron posible la culminación de este proyecto.

Brigithe Andreina Moreira Zambran

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a Dios, por darme la fuerza, la salud y la sabiduría necesarias para culminar esta meta.

A mis padres, por ser mi motor y mi inspiración, por creer en mí y apoyarme en todo momento.

A mis hermanos y seres queridos, por sus palabras de aliento, su paciencia y su amor incondicional.

A mis profesor de tesis, por su dedicación y guía durante mi formación académica, y de mas docentes por la motivación en cada etapa de mi formación como profesional. Y a todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron a que este sueño se haga realidad, ¡gracias infinitas!

Brigithe Andreina Moreira Zambran

ÍNDICE DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE ANEXO	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT	XV
I. CAPITULO	1
TÍTULO.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	6
1.3 METODOLOGÍA	7
1.3.1 Ubicación del ensayo.....	7
1.3.2 COORDENADAS DE LA FINCA	7
1.3.3 Caracterización climatológica de la zona	7
1.3.4 Materiales e insumos	8
1.3.5 Métodos.....	8
1.3.1 Diseño de la investigación.....	10
1.3.2 Descripción de los tratamientos	10
1.3.3 Análisis estadístico	10
1.3.4 Variables dependientes.....	11
1.3.5 Manejo del ensayo.....	12
CAPÍTULO II.....	18

1. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 Antecedentes de la lombricultura	18
2.2 Lombricario	19
2.3 Sustratos orgánicos e inoculación con <i>Trichoderma spp.</i> en el lombricario.....	20
2.4 Sustrato de pollinaza	22
2.4.1 Uso de la pollinaza	22
2.4.2 Manejo de pollinaza para su aplicación agrícola y compostaje	22
2.5 Sustratos de bovinos vacuno	24
2.5.1 Uso del sustratos bovino vacuno	24
2.5.2 Manejo del estiércol bovino para su aplicación agrícola y compostaje.	24
2.6 Uso de los residuos orgánicos	25
2.6.1 Manejo de residuos orgánicos para su aplicación agrícola y compostaje	26
2.7 <i>Trichodermas spp</i>	26
2.7.1 <i>Sepa de la Trichoderma spp.</i>	28
2.8 Lombrices compostadoras y su rol en la generación de humus	29
2.8.1 <i>Eudrilus eugeniae</i> (Lombriz Africana)	30
2.9 Lombrices compostadoras: su origen y el ambiente que necesitan para vivir	32
2.9.1 <i>Eisenia fetida</i> (Roja californiana).....	32
2.9.2 Clasificación taxonómica de <i>Eisenia fetida</i>	32
2.9.3 Condiciones de ambiente sobre <i>Eisenia fetida</i> (lombriz roja californiana)	32
2.9.4 Importancia de la lombriz roja californiana (<i>Eisenia fetida</i>)	33
2.9.5 Comportamiento y adaptabilidad de <i>Eisenia fetida</i>	34
2.10 Producción de vermicompost <i>Eisenia fetida</i>	34
2.11 Uso de <i>Eisenia fetida</i>	35
2.12 Funciones que destaca <i>Eisenia fetida</i> (lombriz roja californiana)	36
2.13 Lixiviado de lombriz	37
2.14 Humus de lombriz	37

2.15	Beneficios de humus de lombriz (vermicompost).....	39
2.	ESTADO DEL ARTE.....	¡Error! Marcador no definido.
	CAPITULO III	42
3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	42
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO	42
3.1.1.	Antecedentes	42
3.2.	Diseño y selección de tecnologías, herramientas o equipos a implementar.....	43
3.2.1.	Ubicación de la propuesta	43
3.2.2.	Metodología de la propuesta	43
3.2.3.	Descripción funcional de los componentes	46
3.2.4.	Esquema del lombricario.....	47
3.2.5.	Desglose de gastos.....	47
3.2.6.	Cronograma	49
3.3.	Plan de implementación	50
3.4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.4.1.	Longitud de la lombriz (cm).....	51
3.4.2.	Dinámica poblacional.....	52
3.4.3.	Peso (g).....	53
3.4.4.	Producción de humus (kg).....	53
3.4.5.	Caracterización química y potencial agronómico del humus de lombriz obtenido de todos los tratamientos.....	54
	CAPÍTULO IV	56
	CONCLUSIONES.....	56
	RECOMENDACIONES	XXXV
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	XXXV
	ANEXOS.....	XXXV

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características climatológicas de la localidad.....	7
Tabla 2. Análisis de varianza del experimento.....	10
Tabla 3. Análisis de varianza del experimento.....	11
Tabla 4. Costos de adquisición e implementación de las camas de lombricultura con <i>Eisenia fetida</i>	48
Tabla 5. Cronograma de la Primera Fase	49
Tabla 6. Cronograma de la segunda Fase.....	49
Tabla 7. <i>Secuencia de instalación e implementación del sistema del lombricario para la producción de inoculación de Trichoderma spp en sustrato orgánico</i>	50
Tabla 8. <i>Análisis químico del lixiviado obtenido en el tratamiento T3(50 % pollinaza + 50 % estiércol + Trichoderma spp.)</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio	7
Figura 2. Cría y manejo de lombrices para el reciclaje de residuos orgánicos	20
Figura 3. Diferentes tipos de sustratos que demuestran la importancia de una solución nutritiva para el crecimiento de las plantas.....	21
Figura 4. <i>Sustrato de lombriz californiana roja, orgánico y natural para fertilizar cultivos y jardines</i>	23
Figura 5. <i>Abono orgánico obtenido a partir de la descomposición de residuos orgánicos ..</i>	25
Figura 6. <i>Transforma los residuos orgánicos en abono natural para el suelo</i>	26
Figura 7. <i>Trichoderma es un agente de biocontrol utilizado en la agricultura</i>	28
Figura 8. <i>Proceso de vermiconpostaje, es la cria y manejo de lombrices principalmente (Eisenia fetida) para producir humo de lombriz</i>	30
Figura 9. <i>El rápido en crecimiento y gran eficiencia en la descomposición en materia orgánica</i>	31
Figura 10. <i>Abono orgánico de alta calidad que se obtiene a partir de los excrementos de la lombriz</i>	38
Figura 11. <i>Elaboración de techado para lombricario.</i>	43
Figura 12. <i>Área destinada para la elaboración del lombricario</i>	43
Figura 13. <i>Materiales utilizados en el lombricario</i>	44
Figura 14. <i>Diseño y elaboración de las camas del lombricario con sus respectivas comparticiones para cada tratamiento evaluado</i>	44
Figura 15. <i>Elaboración de las camas para el Lombricario</i>	45
Figura 16. <i>Pesaje de lombrices para la inoculación de 1 kg por tratamiento experimental</i>	45
Figura 17. <i>Diseño agrónomo de implementación</i>	45
Figura 18. <i>Esquema de la implementación del lombricario</i>	47
Figura 19. <i>Longitud promedio de las lombrices (Eisenia fetida) en función del tipo de alimento inoculado con Trichoderma spp. en sustratos orgánicos para la producción de humus de lombriz</i>	51
Figura 20. <i>Dinámica poblacional de las lombrices (Eisenia fetida) en función del tipo de alimento inoculado con Trichoderma spp. en sustratos orgánicos para la producción de humus de lombriz</i>	52
Figura 21. <i>Peso (g) de las lombrices (Eisenia fetida) en función del tipo de alimento inoculado con Trichoderma spp. en sustratos orgánicos para la producción de humus de lombriz</i>	53

Figura 22. <i>Producción de humus en función del tipo de alimento inoculado con Trichoderma spp. en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz</i>	54
Figura 23. <i>Producción final de humus en función del tipo de alimento inoculado con Trichoderma spp. en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz.....</i>	54

ÍNDICE DE ANEXO

Anexo 1. <i>Análisis en la varianza de la variable longitud en función de inoculación de la Trichoderma Spp en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz</i>	XXXV
Anexo 2. <i>Análisis en la varianza de la variable dinámica poblacional en función de la inoculación de Trichoderma Spp en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz</i>	XXXV
Anexo 3. <i>Análisis en la varianza de la variable peso en función de la inoculación de Trichoderma Spp en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz</i>	XXXV
Anexo 4. <i>Acta de Donación de Bienes</i>	XXXV
Anexo 5. <i>Resultados del análisis químico del en función de la inoculación de Trichoderma Spp en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz</i>	XXXVI
Anexo 6. <i>Acondicionamiento del terreno y conformación de la base estructural para el sistema del lombricario</i>	XXXVII
Anexo 7. <i>Diseño y elaboración de las camas del lombricario</i>	XXXVII
Anexo 8. <i>Procedimiento de la mezcla y sustrato</i>	XXXVIII
Anexo 9. <i>Siembra homogénea de Eisenia Fetida para dinamizar la biotransformación del sustrato</i>	XXXVIII
Anexo 10. <i>Llenado de las camas</i>	XXXVIII
Anexo 11. <i>Evaluación del crecimiento y desarrollo de las lombrices</i> ;	Error! Marcador no definido.

RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de la inoculación de *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos sobre el desempeño biológico de la lombriz californiana (*Eisenia fetida*) y la producción de humus de lombriz, bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: T1, estiércol + *Trichoderma spp.*; T2, residuos de mercado + estiércol + *Trichoderma spp.*; T3, pollinaza + estiércol + *Trichoderma spp.*; y T4, estiércol + pollinaza + residuos de mercado + *Trichoderma spp.* El objetivo fue determinar el sustrato más eficiente para la producción de humus y el desarrollo biológico de las lombrices. Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento T3 (pollinaza + estiércol + *Trichoderma spp.*) presentó el mejor desempeño productivo y biológico, registrando la mayor longitud promedio de las lombrices (6,67 cm), el mayor peso promedio (1,20 g), la mayor dinámica poblacional (411,33 individuos) y la mayor producción de humus, con un valor de 77,9 kg por unidad experimental. Asimismo, el análisis químico del producto obtenido en este tratamiento evidenció una composición nutricional favorable, destacándose contenidos adecuados de nitrógeno (1,3 %), calcio (3,5 %), azufre (7,13 %) y materia orgánica (35 %), lo que confirma su calidad agronómica como biofertilizante. Se concluyó que la combinación de pollinaza y estiércol inoculada con *Trichoderma spp.* optimizó el crecimiento, la dinámica poblacional y la eficiencia del proceso de vermicompostaje, consolidándose como la alternativa más eficiente para la producción de humus de lombriz bajo las condiciones del estudio.

Palabras clave: Biofertilizante, Sustrato, Nutrición, Vermicompostaje, *Trichoderma spp.*

ABSTRACT

This study evaluated the effect of *Trichoderma spp.* inoculation on organic substrates for vermicomposting using the Californian red worm (*Eisenia fetida*), under a Completely Randomized Design (CRD) with four treatments and five replications. The treatments consisted of: T1, cattle manure + *Trichoderma spp.*; T2, market waste + cattle manure + *Trichoderma spp.*; T3, poultry manure + cattle manure + *Trichoderma spp.*; and T4, cattle manure + poultry manure + market waste + *Trichoderma spp.* The objective was to identify the most efficient substrate combination for humus production and worm biological performance. The results showed significant differences among treatments. The T3 treatment (poultry manure + cattle manure + *Trichoderma spp.*) exhibited the best biological and productive performance, recording the highest average worm length (6.67 cm), highest average weight (1.20 g), greatest population dynamics (411.33 individuals), and highest humus production (77.9 kg per experimental unit). Additionally, the chemical analysis of the product obtained from this treatment revealed a favorable nutrient composition, with adequate contents of nitrogen (1.3%), calcium (3.5%), sulfur (7.13%), and organic matter (35%), confirming its agronomic quality as an organic biofertilizer. It was concluded that the combination of poultry manure and cattle manure inoculated with *Trichoderma spp.* optimized worm growth, population development, and vermicomposting efficiency, representing the most effective alternative for humus production under the conditions of this study.

Keywords: Biofertilizante, Sustrato, Nutrición, Vermicomposting, *Trichoderma spp.*

I. CAPITULO

TÍTULO

Inoculación de *Trichoderma spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz.

INTRODUCCIÓN

El *Trichoderma spp* es considerado un microorganismo del suelo de vida libre con numerosas funciones en los sistemas agrícolas, que sobrevive en regiones tropicales y templadas, son los hongos más utilizados en el control fitopatógenos y en la promoción de crecimiento por su versatilidad de acción, como parasitismo, antibiosis y competencia, además de actuar como indicadores de resistencia de las plantas frente a enfermedades, estreses bióticos y abióticos (Bae et al., 2016).

Estos hongos se encuentran en la rizosfera y son capaces de promover el crecimiento de las raíces debido a su capacidad de producción metabolitos, estableciendo vínculos directos con las plantas mediante la colonización de su sistema de raíces (Martinez et al, 2016). El uso de microorganismo promotores de crecimiento vegetal ha sido en la actualidad una importante herramienta para la agricultura, las interacciones rizosferas entre plantas y microorganismos son determinantes y fundamentales para la sanidad vegetal, la fertilidad del suelo y productividad. (Martinez et al., 2016).

La interacción se produce a través de la raíz, el hongo establece comunicación química con la planta que tienen la capacidad de sintetizar metabolitos que son producidos por los microorganismos, los mismos que actúan como bioestimulantes del crecimiento radicular, aumentando la asimilación de nutrientes esenciales para la planta y contribuyendo a obtener mayor productividad, además de promover la protección del sistema radicular contra patógenos del suelo (Martinez et al., 2017).

El uso de sustratos orgánicos para la producción ecológica, enriquecidos con microorganismos como *Trichoderma spp*, ha mostrado un gran potencial para mejorar la calidad del humus de lombriz, desde las décadas de 1980 y 1990, diversos estudios han destacado no solo como agente de control biológico de fitopatógenos, sino también como promotor del crecimiento vegetal y acelerador de la descomposición de materia orgánica (Harman et al., 1981; Papavizas, 1985).

En la década de 1990, investigaciones pioneras demostraron la compatibilidad entre

Trichoderma spp y lombrices de tierra, lo que permitió el desarrollo de tecnologías integradas para el manejo agroecológico del suelo (Edwards & Arancon, 1998)

Durante el siglo XX especialmente en las últimas décadas se han realizados investigaciones y experimentos controlados, observando que las lombrices pueden alimentarse de una amplia variedad de residuos orgánicos, incluyendo estiércoles, restos vegetales, y residuos agroindustriales como el bagazo de caña y el aserrín, sin embargo, materiales ricos en carbono, como el aserrín, deben ser mezclados con fuentes nitrogenadas para ser aprovechable (Bhat, Singh, y Vig, 2018).

La lombricultura es una técnica biotecnológica utilizada para el reciclaje de residuos orgánicos mediante lombrices, principalmente *Eisenia fetida*, las cuales transforman dichos residuos en un producto estable y rico en nutrientes llamado vermicompost (Domínguez y Edwards, 2011).

Entre los materiales más utilizados para la preparación del sustrato se encuentran el estiércol animal, restos vegetales, y aserrín, este último es una fuente importante de carbono estructural, aunque debe ser tratado previamente mediante precompostaje para reducir compuestos tóxicos y facilitar su descomposición (Elvira, Domínguez, & Aira, 2018).

La combinación de sustrato, se suele recomendar en una mezcla compuesto por estiércol de vaca precompostado, cascarillas de arroz en una proporción de 3:1, esta fórmula da una buena relación de C/N, asegurando una adecuado aireación y retención de humedad evitando problema de toxicidad, esta combinación a demostrado ser eficaz para optimizar la actividad biológica de las lombrices y mejorar la calidad del humus con materiales nitrogenados (Garg, Gupta y Satya, 2006).

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la producción agrícola sostenible demanda prácticas que mejoren la calidad del suelo sin comprometer el medio ambiente, en este contexto, el uso de microorganismos benéficos como *Trichoderma spp.*, conocidos por sus propiedades antagonistas frente a fitopatógenos y por su capacidad para mejorar la descomposición de materia orgánica, representa una alternativa viable para optimizar la producción de humus de lombriz (*Eisenia Foetiza*), sin embargo, existen limitaciones en cuanto al conocimiento sobre cómo la inoculación de *Trichoderma spp*, en distintos sustratos orgánicos puede influir en la eficiencia del proceso de vermicompostaje y en la calidad final del humus producido (Harman et., 2004).

El vermicompostaje, mediante el uso de lombrices, es una técnica ampliamente adoptada para transformar residuos orgánicos en un fertilizante de alta calidad, la incorporación de hongos como *Trichoderma spp*, podría acelerar la mineralización de nutrientes y mejorar la estructura microbiológica del sustrato, beneficiando tanto a las lombrices como al producto final, no obstante, se requiere investigación sistemática para determinar los efectos específicos de esta inoculación en diferentes tipos de sustratos orgánicos, como estiércol de vaca, residuos vegetales y pollinaza (Sánchez et al., 2018)

La generación masiva de residuos orgánicos por actividades domésticas, agroindustriales y comerciales representa un desafío ambiental creciente en muchas regiones del mundo, la acumulación de estos residuos en vertederos o su manejo inadecuado con lleva emisiones de gases de efecto invernadero, lixiviación de compuestos tóxicos al suelo y agua, y proliferación de vectores patógenos, frente a este problema, la valorización de residuos mediante procesos biológicos como la vermicompostación ha ganado interés por ser una alternativa ecológica y eficiente (Zhang et al., 2021).

La acumulación y mala gestión de desechos orgánicos en zonas urbanas y rurales representa uno de los principales problemas ambientales a nivel global, estos residuos al ser dispuestos en vertederos o incinerados, generan impactos negativos como la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), la contaminación del suelo y cuerpos de agua, y la proliferación de vectores patógenos, a pesar de que los residuos orgánicos representan entre el 40 % y 60 % de los residuos sólidos domiciliarios, su potencial para ser reciclados o transformados en productos útiles como compost o humus de lombriz es frecuentemente desaprovechado (Álvarez et al., 2018; Zhang et al., 2021).

La degradación del suelo a causa de prácticas agrícolas intensivas, el uso excesivo de agroquímicos y la inadecuada disposición de residuos orgánicos ha generado un aumento en los niveles de contaminación del suelo, afectando su capacidad de retención de nutrientes y su actividad biológicas, estas problemática se ve reflejada en alteraciones de parámetros clave como el pH, la conductividad eléctrica (CE), y el contenido de materia orgánica (MO), los cuales influyen directamente en la fertilidad y salud del suelo (Bhatt et al., 2019; Pérez-Piqueres et al., 2014).

La competencia entre *Trichoderma spp* y otros microorganismos presentes en el sustrato, lo que pueden limitar su establecimiento y efectividad, microorganismos autóctonos o patógenos pueden inhibir el crecimiento de *Trichoderma* si no se controla adecuadamente el

ambiente y el sustrato (Harman, 2006).

En este contexto, la inoculación de hongos benéficos como *Trichoderma spp*, ha sido propuesta como una solución biotecnológica para enriquecer los sustratos con microorganismos que promuevan la descomposición, estimulen la actividad microbiana nativa, y mejoren el contenido nutricional del vermicompost (Harman et al., 2004).

Sin embargo, la efectividad de esta estrategia puede verse limitada en ambientes pobres en microorganismos, donde la competencia por nutrientes y espacio entre las especies inoculadas y la biota existente es mínima, pero también donde no hay suficiente sinergia microbiana para apoyar la proliferación de *Trichoderma spp*. (Verma et al., 2007).

El uso excesivo de fertilizantes químicos y agroquímicos en la agricultura ha provocado serios impactos en la salud humana y animal, incluyendo intoxicaciones, enfermedades respiratorias, trastornos neurológicos y contaminación de alimentos y fuentes de agua, en zonas rurales de América Latina, esta práctica también afecta a la biodiversidad del suelo y contamina fuentes hídricas (Mostafalou y Abdollahi, 2013).

En la agricultura moderna, la dependencia intensiva de fertilizantes y agroquímicos químicos ha provocado una alarmante degradación de los suelos agrícolas, disminuyendo su fertilidad natural y alterando su microbiota nativa, estos productos, aunque eficaces en el corto plazo, generan impactos acumulativos como acidificación del suelo, contaminación de acuíferos y pérdida de materia orgánica (Savci, 2012).

El manejo inadecuado de residuos orgánicos genera condiciones propicias para la proliferación de patógenos y vectores que afectan directamente la salud humana y animal, la descomposición anaerobia de estos desechos produce lixiviados y gases como el metano, amoníaco y sulfuros que contaminan el aire, el suelo y las fuentes de agua, siendo un foco de enfermedades gastrointestinales, respiratorias, zoonóticas y cutáneas (Méndez et al., 2014; WHO, 2015). Además, los residuos maltratados pueden albergar microorganismos peligrosos como *Salmonella*, *Escherichia coli*, y *Clostridium*, con alto potencial de transmisión (Yazdani et al., 2010).

¿De qué manera la inoculación de *Trichoderma* en diferentes sustratos orgánicos influye en la eficiencia del proceso de vermicompostaje y en la calidad del humus de lombriz (*Eisenia fetida*)?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La inoculación de *Trichoderma spp* en sustratos orgánicos destinados a la producción de humus de lombriz representa una estrategia eficiente y sostenible para mejorar la descomposición de la materia orgánica, acelerar el proceso de vermicompostaje y aumentar el valor agronómico del producto final, en el contexto latinoamericano y ecuatoriano, donde la agricultura orgánica y regenerativa está en auge, el uso de *Trichoderma* contribuye a potenciar la actividad microbiana benéfica, controlar fitopatógenos y enriquecer el humus con metabolitos bioactivos que estimulan el crecimiento vegetal (Harman et al., 2004; Hoyos-Carvajal et al., 2009).

Trichoderma spp, mejora la disponibilidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo durante el compostaje, lo que favorece la calidad del humus y la salud del suelo en sistemas agrícolas tropicales, en Ecuador, su uso se alinea con prácticas agroecológicas promovidas por instituciones públicas y privadas que buscan reducir la dependencia de insumos químicos y fortalecer la resiliencia agro productiva (Infante et al., 2021).

El aumento en la generación de residuos orgánicos y la necesidad urgente de prácticas agrícolas sostenibles han impulsado la búsqueda de tecnologías amigables con el ambiente, una de las alternativas más eficientes es el vermicompostaje, proceso mediante el cual lombrices, especialmente *Eisenia fetida*, transforman residuos orgánicos en humus de lombriz, un fertilizante orgánico rico en nutrientes, ácidos húmicos y microbiota beneficiosa, sin embargo, la eficiencia de este proceso puede optimizarse mediante la inoculación con microorganismos benéficos, como los hongos del género *Trichoderma spp*.. (Domínguez & Edwards, 2011).

El estudio de la inoculación de *Trichoderma spp*, en sustratos orgánicos destinados a la producción de humus de lombriz se justifica por su potencial para mejorar significativamente la calidad del suelo y reducir la contaminación derivada de residuos orgánicos mal gestionados, *Trichoderma spp*, no solo mejora la descomposición de materia orgánica, sino que también puede influir positivamente en el pH y la CE del sustrato, generando un ambiente más favorable para el desarrollo de lombrices y microorganismos beneficiosos (Zhang et al., 2021).

El aprovechamiento de residuos orgánicos mediante el proceso de vermicompostaje con lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) se ha consolidado como una práctica efectiva para la producción de fertilizantes orgánicos de alta calidad, no obstante, en muchos casos los

sustratos utilizados para dicho proceso presentan una limitada cantidad de microorganismos benéficos o biota del suelo, lo cual afecta negativamente la eficiencia de la descomposición y la calidad del humus obtenido (Gómez-Brandón et al., 2011).

La inoculación de hongos benéficos como *Trichoderma spp.* se plantea como una solución biotecnológica que puede mejorar la actividad microbiana del sustrato, sin embargo, su efectividad puede verse reducida cuando la biota del suelo es escasa, dado que *Trichoderma* actúa en sinergia con otros organismos para potenciar el reciclaje de nutrientes y suprimir patógenos (Rubio et al., 2019).

Frente a esta realidad, se plantea el uso del humus de lombriz, un abono orgánico producido a partir de residuos biodegradables mediante la acción de lombrices como *Eisenia fetida*, no obstante, la eficiencia del proceso de vermicompostaje puede mejorarse significativamente mediante la inoculación de microorganismos benéficos como *Trichoderma spp.*, los cuales aceleran la descomposición, enriquecen el microbiota del sustrato y mejoran las propiedades del producto final (Sánchez-Montoya et al., 2016).

Una alternativa viable a este modelo agrícola altamente dependiente de agroquímicos es la producción de humus de lombriz a partir de residuos orgánicos, proceso que puede optimizarse mediante la inoculación con *Trichoderma spp.*, este hongo mejora la calidad del compost, promueve el crecimiento vegetal y reduce la incidencia de enfermedades, ofreciendo un sustituto efectivo a los fertilizantes y pesticidas convencionales (Contreras-Cornejo et al., 2015)

OBJETIVOS

i) Objetivo general

- Evaluar el efecto de la Inoculación de *Trichoderma spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz.

ii) Objetivos específicos

- Implementar un lombricario con sustratos orgánicos disponibles en la Granja Experimental Río Suma para la producción de lixiviado de lombriz.
- Determinar el mejor sustrato en la producción humus de lombriz con *Trichoderma spp.*

- Realizar el análisis químico de la composición mineral del humus obtenido de los diferentes sustratos.

Hipótesis

El uso de *Trichoderma spp* inoculados en sustrato orgánicos, mejorará la producción de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*).

1.3 METODOLOGÍA

1.3.1 Ubicación del ensayo

La presente investigación se realizó en el cantón El Carmen provincia de Manabí, en la granja experimental Rio-Suma (redondel de la madre, margen derecho) ULEAM extensión en el Carmen.

1.3.2 COORDENADAS DE LA FINCA

X =9971186,5 Y= 674954,3 Z= 258msnm

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio



Fuente: Google Maps (2025).

1.3.3 Caracterización climatológica de la zona

Parámetros agroclimáticos representativos del cantón El Carmen (Tabla 1):

Tabla 1. Características climatológicas de la localidad

Características	El Carmen
Clima	Trópico Húmedo
Temperatura (°C)	24
Humedad Relativa (%)	86
Heliofanía (Horas luz año ⁻¹)	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2022)

1.3.4 Materiales e insumos

a) Materiales para la construcción del lombricario

- Tablones de madera
- Malla metálica (tipo mosquitera o galvanizada)
- Clavos y tornillos
- Martillo
- Sierra manual o eléctrica
- Taladro
- Plástico negro (para base o protección contra la humedad)
- Recipientes plásticos o tinas (opcional, para sistemas reducidos)

b) Materiales para la instalación y manejo del lombricario

- Pala
- Machete
- Carretilla (opcional)
- Regadera
- Bomba mochila

c) Materiales para el registro y monitoreo de la producción

- Computadora
- Teléfono celular
- Impresora
- Cuaderno
- Esferográficos

Insumos biológicos y orgánicos:

- Lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*)
- Inóculo de *Trichoderma spp.*
- Sustratos orgánicos (Estiércol bovino, Gallinaza y residuos vegetales)

1.3.5 Métodos

a. Método experimental

Se busca evaluar el efecto de la inoculación de *Trichoderma spp.* en diferentes sustratos orgánicos (como estiércol bovino, pollinaza y residuos vegetales del mercado) sobre la producción y calidad del humus de lombriz, su impacto en la salud del ecosistema, incluyendo beneficios potenciales para la salud humana y animal.

Este tipo de estudio permite establecer relaciones causales y comprobar hipótesis mediante la manipulación de variables bajo condiciones controladas, también tiene un enfoque cuantitativo, dado que se recopilarán datos numéricos sobre variables como el rendimiento de humus, contenido de nutrientes (N, P, K), pH, capacidad de retención de agua, y actividad biológica, entre otros (Harman et al., 2004).

b. Método observacional

Se aplicó el método observacional para registrar, sin intervención disruptiva, la actividad de las lombrices y la evolución físico-química del sustrato durante el ciclo de 90 días. Las observaciones semanales incluyeron la temperatura interna de la cama, el pH y la humedad, además de la presencia de estructuras fúngicas de *Trichoderma*, asegurando la obtención de datos fidedignos en condiciones controladas de la cámara térmica.

c. Método descriptivo

Trichoderma spp. actúa como un bioestimulante que acelera la descomposición de la materia orgánica, libera nutrientes esenciales y mejora la actividad enzimática del sustrato, lo cual crea un ambiente más favorable para la alimentación y reproducción de las lombrices (Contreras-Cornejo et al., 2016).

Además, su acción como agente de control biológico frente a fitopatógenos como *Fusarium* o *Rhizoctonia* reduce la carga microbiana negativa del sustrato, aumentando la sanidad del compost final (Harman, 2014).

La implementación de esta técnica no solo mejora la eficiencia del proceso de humificación, sino que también incrementa los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio en el humus, así como su capacidad de retención de agua y estructura física (Chávez-Díaz et al., 2017). Se ha observado que la interacción simbiótica entre *Trichoderma spp.* y las lombrices potencia la diversidad microbiana del humus, mejorando su potencial como biofertilizante y su uso en suelos degradados (Gómez-Brandón et al., 2022).

d. Análisis documental

El uso de *Trichoderma spp.* promueve la descomposición eficiente de materia orgánica, mejora la estructura del suelo y reduce la presencia de patógenos, beneficiando tanto la producción agrícola como la inocuidad del producto final (Arancon et al., 2004). En este contexto, el humus de lombriz enriquecido puede ofrecer ventajas adicionales como:

- Mejora de la salud del suelo (reducción de patógenos). Szczech, M., & Smolinska, U. (2001).
- Posibles efectos indirectos positivos en la salud humana al evitar el uso de químicos. Domínguez, J., & Edwards, C. A. (2004).
- Reducción de enfermedades en animales al usar compost sanitizado en producción agrícola animal. Infante, F., & Leiva, A. (2010).

1.3.1 Diseño de la investigación

El presente estudio se realizó bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA), con el propósito de evaluar el efecto de la inoculación de *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos sobre la producción de lixiviado de lombriz (*Eisenia fetida*). Se empleó una dosis del 1 % de *Trichoderma spp.* (líquido), equivalente a 3 g L⁻¹, aplicada durante la segunda y cuarta semana del ensayo para garantizar una adecuada colonización del hongo en los sustratos. externos no controlados y garantizar la validez estadística de los resultados.

1.3.2 Descripción de los tratamientos

Los tratamientos utilizados fueron:

Tabla 2. *Análisis de varianza del experimento*

Tratamiento	Descripción del sustrato	Dosis de <i>Trichoderma spp.</i>
T1	Estiércol 100 % con <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L ⁻¹
T2	50 % residuos del mercado + 50 % estiércol + <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L ⁻¹
T3	50 % pollinaza + 50 % estiércol + <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L ⁻¹
T4	50 % estiércol + 25 % pollinaza + 25 % residuos del mercado + <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L ⁻¹

1.3.3 Análisis estadístico

Las variables evaluadas incluyeron peso de lombrices, longitud corporal promedio y número de lombrices por unidad experimental. Los datos obtenidos se organizaron a partir de los valores promedio por repetición.

Previamente al análisis inferencial, se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente. Una vez comprobados estos supuestos, los datos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, para determinar la existencia de diferencias estadísticas entre tratamientos.

Cuando el ANOVA indicó diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$) para identificar los tratamientos con medias estadísticamente distintas. El procesamiento y análisis de los datos se realizó utilizando el software estadístico InfoStat® (Singh & Sharma, 2002; Harman et al., 2004).

Tabla 3. *Análisis de varianza del experimento*

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos	3
Error	8
Total	11

1.3.4 Variables dependientes

Las variables dependientes evaluadas permitieron determinar el efecto de los diferentes sustratos orgánicos inoculados con *Trichoderma spp.* sobre el desempeño productivo y biológico del proceso de vermicompostaje con *Eisenia fetida*. Estas variables se seleccionaron por su relevancia en la evaluación de la eficiencia del sistema y la calidad del humus obtenido.

- **Producción de humus (kg):** correspondió a la cantidad total de humus generado por tratamiento, lo que permitió evaluar la eficiencia del proceso de transformación de los sustratos orgánicos.
- **Longitud de la lombriz (cm):** se determinó mediante la medición de la longitud corporal promedio de cinco lombrices representativas por tratamiento, como indicador del crecimiento y estado fisiológico de los organismos.
- **Dinámica poblacional** de *Eisenia fetida* se evaluó a partir de la variación en el número total de individuos, la tasa de reproducción (presencia de cocones y juveniles) y el incremento poblacional en función del tiempo y del tipo de sustrato orgánico utilizado.
- **Peso del humus cosechado** correspondió a la cantidad total de humus de lombriz obtenida al final del período experimental, expresada en kilogramos, y fue utilizada

como indicador directo del rendimiento productivo del lombricario en función de los diferentes sustratos orgánicos evaluados.

1.3.5 Manejo del ensayo

Este procedimiento garantiza un ambiente controlado donde la actividad conjunta de *Trichoderma spp.* y las lombrices maximiza la descomposición eficiente de materia orgánica, mejorando la calidad del humus (Domínguez & Edwards, 2004). La inoculación con *Trichoderma spp.* aporta beneficios antifúngicos y mejora la nutrición del suelo, mientras que las lombrices optimizan la aireación y fragmentación del sustrato (Harman et al., 2004).

El monitoreo constante de humedad y temperatura es crucial, ya que condiciones fuera del rango óptimo pueden inhibir la actividad microbiana y lombriz, afectando la producción y calidad final (Arancon et al., 2004). Es importante aplicar técnicas de control como la aireación del sustrato y limpieza de los alrededores, lo cual influye en la salud de las lombrices (Aira et al., 2007).

La construcción adecuada del lombricario es clave para crear un ambiente óptimo donde las lombrices y *Trichoderma spp.* puedan interactuar eficientemente, promoviendo la rápida descomposición de materia orgánica y producción de humus de alta calidad, el control de humedad, temperatura y oxigenación favorece la actividad metabólica microbiana y lombrícola (Domínguez & Edwards, 2004).

La inoculación con *Trichoderma spp.* mejora la descomposición y reduce patógenos, aumentando la calidad del humus y su beneficio en la agricultura sostenible (Harman et al., 2004).

1.3.5.1 Selección del sitio para el proceso del lombricario

Este espacio ha sido designado en los predios de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí extensión El Carmen en el área del lombricario, en unas de las camas designada para el proceso.

1.3.5.2 Materiales para el lombricario

Los materiales básico aseguran un ambiente adecuado para las lombrices, pollinaza, estiércol bobino, residuos del mercado

1.3.5.3 Construcción del lombricario

Este tipo de estructura consiste en la habilitación de una o varias camas rectangulares directamente sobre el terreno, con dimensiones adaptadas al espacio disponible y a la cantidad de lombrices a manejar, las camas deben estar delimitadas por bordes de madera, ladrillo o bloques, con una profundidad aproximada de 40 cm, permitiendo una adecuada aireación, drenaje y movilidad para las lombrices, las camas de cría horizontales a nivel del suelo, debido a su simplicidad, bajo costo y eficiencia operativa.

El diseño horizontal facilita el acceso para las labores de alimentación, riego, monitoreo y cosecha del humus, al tiempo que permite un manejo más controlado de la temperatura y la humedad, factores clave para el bienestar de las lombrices y la eficiencia del proceso, además, este sistema permite una mejor integración con la aplicación de microorganismos benéficos como *Trichoderma spp.*, ya que su acción se distribuye de manera homogénea en el sustrato.

1.3.5.4 Colocación de los tubos galvanizados

La utilización de tubos galvanizados en la construcción del lombricario cumple una función estructural clave para garantizar la durabilidad, funcionalidad y protección del sistema, estos elementos metálicos, gracias a su resistencia a la corrosión, son ideales para ambientes húmedos como los que se generan en los procesos de vermicompostaje.

Su colocación estratégica permite mejorar la estructura general del lombricario, brindando soporte firme y estable a las coberturas o techos que protegen las camas de cría de factores climáticos adversos como la radiación solar directa, lluvias intensas o vientos fuertes, esta cobertura es fundamental para mantener condiciones óptimas de temperatura y humedad, esenciales para la supervivencia y reproducción eficiente de las lombrices.

Adicionalmente, los tubos galvanizados pueden ser utilizados como parte del sistema de drenaje o canalización, facilitando la evacuación del exceso de lixiviados y previniendo la saturación del sustrato, esto contribuye a mantener un ambiente aireado y saludable, tanto para las lombrices como para el desarrollo de microorganismos benéficos como *Trichoderma spp.*, cuya acción depende también de la estabilidad de las condiciones físicas del medio.

1.3.5.5 *Elaboración de las camas*

Es una etapa fundamental en la instalación de un lombricario, ya que define el espacio físico donde se desarrolló el proceso de vermicompostaje y se criarán las lombrices, para una producción semi-intensiva o experimental, las camas horizontales construidas directamente sobre el suelo, con dimensiones adaptadas a la disponibilidad del terreno y a la capacidad de manejo del sistema, las medidas estándar suelen oscilar entre 1 metro de ancho por 3 a 5 metros de largo, con una profundidad de entre 40 cm, y 19 total aproximadamente de las camas.

El primer paso en la elaboración de las camas consiste en preparar el terreno, eliminando piedras, raíces o residuos que puedan interferir con la movilidad de las lombrices, luego, se delimita el área de las camas utilizando materiales como bloques, ladrillos, madera tratada o sacos rellenos de tierra, lo cual permite contener el sustrato y facilitar el manejo.

Es importante mantener las camas en condiciones óptimas de humedad (entre 70-80%), temperatura (15-30 °C) y protección contra la luz solar directa y la lluvia, mediante una cubierta liviana sostenida por una estructura de tubos galvanizados u otros materiales resistentes, el monitoreo regular de estas condiciones asegura un entorno adecuado para el desarrollo eficiente tanto de las lombrices como de los microorganismos benéficos, la elaboración de camas no solo define el éxito del proceso de cría y producción de humus de lombriz, sino que también constituye la base para lograr un sistema estable, eficiente y sostenible en el tiempo.

Colocación del techado: El techado es un componente esencial del lombricario, ya que protege a las lombrices de condiciones climáticas extremas como la lluvia, el sol directo y el viento.

1.3.5.6 *Inoculación de lombrices*

La inoculación de lombrices es el proceso mediante el cual se introducen lombrices vivas en un sustrato orgánico especialmente preparado para que estas transformen la materia orgánica en humus de lombriz, también conocido como vermicomposta, este humus es un abono natural de alta calidad, rico en nutrientes que mejora la fertilidad del suelo y promueve el crecimiento saludable de las plantas, para lograr un proceso efectivo, es fundamental seleccionar un sustrato adecuado que contenga los nutrientes necesarios y que sea favorable

para la actividad de las lombrices, además, se debe preparar cuidadosamente el lombricario o cama de cultivo, garantizando condiciones óptimas de aireación y drenaje.

Antes de la inoculación, es importante pre-compostar el material orgánico, como estiércol, pollinaza y residuos vegetales, durante varios días para reducir su temperatura y eliminar posibles sustancias tóxicas que puedan afectar a las lombrices, finalmente, es imprescindible controlar y mantener constantes las condiciones ambientales, principalmente la humedad, el pH y la temperatura, ya que estos factores son determinantes para la supervivencia y productividad de las lombrices en el proceso de vermicompostaje.

1.3.5.7 Preparación de sustratos y aplicación de *Trichoderma*

La preparación adecuada del sustrato es fundamental para garantizar un entorno óptimo en el proceso de vermicompostaje, la incorporación de *Trichoderma spp.*, un hongo benéfico del suelo, aporta múltiples ventajas, este microorganismo acelera la descomposición de la materia orgánica, mejorando la calidad del sustrato, además, estimula el crecimiento de las plantas al facilitar la disponibilidad de nutrientes y la salud del sistema radicular, *Trichoderma* también actúa como agente de control biológico, inhibiendo el desarrollo de hongos patógenos del suelo como *Fusarium*, *Rhizoctonia* y *Pythium*.

Su aplicación en el sustrato contribuye a crear un ambiente microbiológicamente activo, promoviendo un proceso más eficiente y sostenible en la producción de humus de lombriz.

1.3.5.8 Alimentación y riego en las lombrices

Las lombrices se alimentan principalmente de materia orgánica en descomposición, no de residuos frescos sin tratar, su dieta ideal incluye estiércol precompostado de animales como vacas, caballos, cabras o aves (pollinaza), este inicia un proceso de fermentación que facilita su digestión, también consumen residuos vegetales como restos de frutas, verduras, cáscaras y hojas secas, siempre que estén parcialmente descompuestos.

Los residuos de mercado, al ser abundantes y variados, son una excelente fuente de alimento si se dejan reposar previamente para evitar fermentaciones agresivas, es importante evitar alimentos cítricos, muy grasos o condimentados, el riego debe mantener la humedad del lecho en un nivel constante, similar al de una esponja húmeda, sin encharcar, el exceso de agua puede generar condiciones anaerobias, perjudiciales para las lombrices, un riego regular

y controlado garantiza una buena aireación y facilita la descomposición del material orgánico, así se asegura un ambiente óptimo para el desarrollo y reproducción de las lombrices.

1.3.5.9 Manejo y mantenimiento del lombricario

Se realizó con base en prácticas agroecológicas que garantizaron el bienestar de las lombrices y la eficiencia del proceso, es fundamental para garantizar la salud de las lombrices y obtener un humus de alta calidad, la humedad debe mantenerse alrededor del 70%, realizando riegos cada 2 o 3 días, según el clima, la alimentación se realiza una vez por semana o cada 10 días, utilizando residuos orgánicos precompostados como estiércol bovino, pollinaza y restos vegetales del mercado.

Es esencial airear el sustrato con frecuencia para evitar la compactación, lo que mejora la oxigenación y favorece la actividad de las lombrices, el control de la temperatura es otro factor clave; en días calurosos se debe aumentar la frecuencia de riego para evitar la deshidratación del sistema, además, se debe mantener la limpieza del entorno del lombricario, evitando acumulación de desechos que puedan atraer plagas o generar malos olores, un buen mantenimiento garantiza un entorno saludable y productivo para las lombrices.

1.3.5.10 Toma de datos

La toma de datos se llevó a cabo de manera sistemática durante todo el proceso experimental, se registraron variables como temperatura, humedad del sustrato, pH, tiempo de descomposición y actividad de las lombrices, los datos se recopilaban semanalmente utilizando instrumentos básicos como cuadernos, temperatura, etc, también se anotaron observaciones cualitativas sobre la textura y el olor del sustrato, se aplicaron fichas técnicas para el seguimiento de los tratamientos con y sin inoculación de *Trichoderma spp*, cada dato fue verificado para garantizar su fiabilidad.

Los resultados obtenidos permitieron analizar la eficiencia del proceso de vermicompostaje, toda la información fue procesada en hojas de cálculo para su interpretación estadística, esta toma de datos fue esencial para sustentar las conclusiones del estudio.

1.3.5.11 Análisis e interpretación de resultados

Esto permite evaluar la eficiencia del lombricario y tomar decisiones para optimizar el proceso, a partir de los datos registrados, se puede calcular la cantidad de humus producido, el

tiempo requerido para su obtención y el consumo promedio de alimento, se puede evaluar la relación entre el tipo de residuo utilizado y la calidad del humus obtenido, las observaciones sobre temperatura, humedad y comportamiento de las lombrices ayudan a identificar factores que afectan la producción.

La interpretación de estos datos permite ajustar la frecuencia de riego, el tipo de alimento y el manejo general, si los resultados son positivos, se puede escalar la producción, si son negativos, se corrigen las prácticas, este análisis es clave para lograr un sistema sostenible, eficiente y con mejores resultados en calidad y cantidad de humus.

1.3.5.12 Cosecha de humus

La cosecha del humus de lombriz se realizó una vez que el material orgánico mostró una transformación completa, se observó un color oscuro, una textura suelta y un olor agradable a tierra húmeda, las lombrices se desplazaron hacia zonas con alimento fresco, facilitando la recolección del humus, se empleó el método de luz para separar manualmente a las lombrices.

El producto obtenido fue aireado durante algunos días para reducir su humedad, luego, se tamizó para eliminar restos gruesos y lombrices jóvenes, el humus final presentó un pH neutro y una relación C/N adecuada, se almacenó en bolsas perforadas en un ambiente fresco y sombreado, este abono orgánico mejoró notablemente la fertilidad del suelo, la cosecha se consideró exitosa por su calidad y eficiencia.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la lombricultura

El género *Trichoderma* ha sido ampliamente estudiado por su rol como agente biocontrolador y promotor del crecimiento vegetal, su capacidad para degradar materia orgánica en ambientes naturales y agrícolas (Harman, 2014). Este hongo ha demostrado ser eficaz en la descomposición de residuos orgánicos, acelerando los procesos de compostaje y mejorando la calidad del producto final (Contreras-Cornejo et al., 2016).

En relación con el vermicompostaje, varios estudios han evidenciado que la inoculación de *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos potencia la actividad microbiana, incrementa la disponibilidad de nutrientes y reduce el tiempo de transformación del material orgánico en humus (Chávez-Díaz et al., 2017; Sánchez-Gutiérrez et al., 2020). Su acción antagonista *Fusarium* o *Rhizoctonia*, produce sustancias, contra patógenos del suelo protege tanto a las lombrices como a las plantas cultivadas posteriormente, fortaleciendo la salud del suelo (Gómez-Brandón et al., 2022).

Trichoderma spp. son hongos filamentosos que se encuentran de forma natural en suelos ricos en materia orgánica, su aplicación en sustratos orgánicos destinados a la alimentación de lombrices ha mostrado efectos positivos en la aceleración del proceso de descomposición y en la mejora de la calidad del humus producido, esto se debe a su producción de enzimas extracelulares como celulasas, xilanasas y lacasas, que descomponen celulosa, hemicelulosa y lignina, facilitando la mineralización de los residuos orgánicos (Harman et al., 2004; Altomare et al., 1999).

La inoculación de *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos representa un enfoque biotecnológico clave en la optimización de procesos de vermicompostaje, al integrar la acción sinérgica entre microorganismos beneficiosos del suelo y la actividad biológica de las lombrices, esta interacción no solo acelera la degradación de residuos orgánicos, sino que también transforma el perfil microbiológico del sustrato, generando un ecosistema más activo y resiliente, *Trichoderma* actúa mediante mecanismos como la competencia por espacio y nutrientes, la producción de enzimas líticas y la micoparasitación, lo que le permite suprimir patógenos del suelo sin afectar negativamente a las lombrices (Harman, 2014; Contreras-Cornejo et al., 2016; Gómez-Brandón et al., 2022).

El género *Trichoderma spp* ha sido ampliamente estudiado por su rol como agente biocontrolador y promotor del crecimiento vegetal, además de su capacidad para degradar materia orgánica en ambientes naturales y agrícolas (Harman, 2014). Este hongo ha demostrado ser eficaz en la descomposición de residuos orgánicos, acelerando los procesos de compostaje y mejorando la calidad del producto final (Contreras-Cornejo et al., 2016).

2.2 Lombricario

El lombricario es una infraestructura biotecnológica diseñada para la crianza y manejo de lombrices, especialmente *Eisenia fetida*, con el propósito de transformar residuos orgánicos en humus mediante el proceso de vermicompostaje (Edwards & Arancon, 2004). Este sistema busca mantener condiciones óptimas de humedad, temperatura, ventilación y pH, factores esenciales para el desarrollo saludable de las lombrices y la eficiencia del proceso de descomposición, su estructura varía según la escala (doméstica, comunitaria o industrial) y suele incluir camas de cría de entre 30 y 50 cm de profundidad, fabricadas con materiales como madera tratada, ladrillo, cemento o plástico reciclado, que permiten mantener un ambiente aireado y húmedo sin generar lixiviados (Domínguez & Edwards, 2011).

El sistema cuenta con drenaje y ventilación para evitar la saturación de agua y favorecer la oxigenación del sustrato, mediante capas de grava o tubos de desagüe que previenen condiciones anaeróbicas (Domínguez & Edwards, 2011). Se requiere cobertura para proteger a las lombrices de la luz solar directa, la lluvia y los depredadores, utilizando techos, lonas o cobertores naturales, ya que las lombrices son fotonegativas y sensibles a la desecación (Núñez & Pérez, 2016).

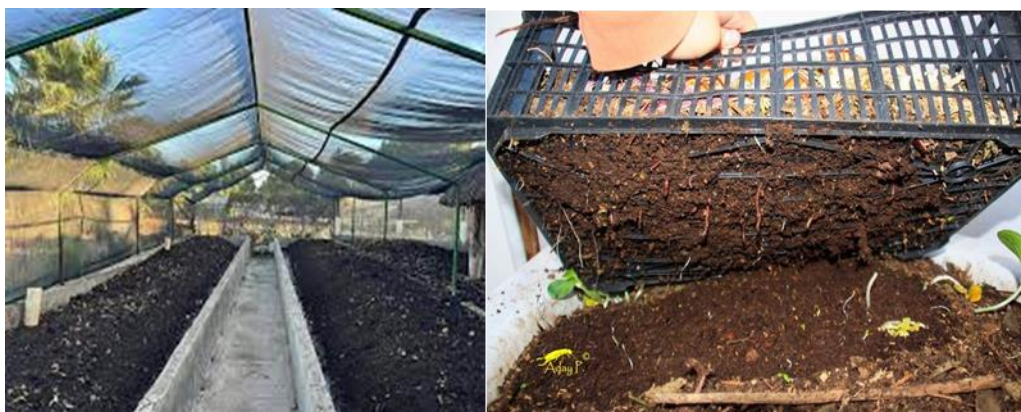
La temperatura ideal para *Eisenia fetida* oscila entre 15 °C y 30 °C, mientras que la humedad óptima debe mantenerse entre 70 % y 85 %, empleando sustratos con buena retención de agua, como el estiércol precompostado (Gutiérrez-Miceli et al., 2006). El pH neutro o ligeramente alcalino (6.5–7.5) también es fundamental, pudiendo corregirse con cal agrícola cuando se usan residuos con alta acidez (Edwards, Arancon & Sherman, 2011).

El uso de sustratos orgánicos como pollinaza, estiércol bovino y residuos de mercado representa una fuente rica en nutrientes y materia orgánica, que estimula la actividad biológica y reproductiva de las lombrices, mejorando la calidad del humus producido (Suthar, 2009; Kumar et al., 2017). Estos materiales aportan nitrógeno, carbono y microorganismos beneficiosos que enriquecen la matriz del sustrato, fomentando un equilibrio ecológico en el

sistema (Domínguez & Edwards, 2011).

El lombricario promueve una gestión sostenible de los residuos orgánicos, reduciendo su impacto ambiental y generando biofertilizantes ecológicos que mejoran la estructura y fertilidad del suelo (Kumar et al., 2017).

Figura 2. Cría y manejo de lombrices para el reciclaje de residuos orgánicos



Fuente: tomado de Kumar et al. (2017).

2.3 Sustratos orgánicos e inoculación con *Trichoderma spp.* en el lombricario

Los sustratos orgánicos son la base funcional del lombricario, pues proporcionan el medio de alimentación y reproducción para las lombrices, además de sostener la actividad microbiana que impulsa el proceso de vermicompostaje (Domínguez y Edwards, 2011). Estos materiales, de origen vegetal o animal, deben encontrarse previamente estabilizados para evitar fermentaciones activas que afecten a las lombrices, en este contexto, la inoculación con *Trichoderma spp.*, un hongo benéfico del suelo fortalece la descomposición de la materia orgánica al incrementar la actividad enzimática y mejorar el equilibrio microbiano del sistema (Sánchez et al., 2017).

Los sustratos más utilizados incluyen estiércol animal, residuos vegetales y restos de cocina no grasos, los cuales aportan carbono, nitrógeno y humedad, elementos indispensables para mantener un balance adecuado en la relación C/N del sustrato (Gajalakshmi y Abbasi, 2004).

La selección y combinación adecuada de sustratos influye directamente en el desempeño biológico de especies como *Eisenia fetida* y *Eudrilus eugeniae*, reconocidas por su alta capacidad de transformación de residuos orgánicos en humus de excelente calidad (Edwards y Arancon, 2004). El estiércol bovino, equino o aviar aporta nitrógeno y

microorganismos descomponedores, mientras que los residuos vegetales proporcionan carbono estructural que regula la humedad y oxigenación del sistema (Domínguez y Edwards, 2011). La inoculación con *Trichoderma spp.* en sustratos previamente pretratados promueve una colonización microbiana beneficiosa que acelera la descomposición, reduce la presencia de patógenos y genera un vermicompost más estable, nutritivo y de mayor valor agronómico, esta interacción sinérgica entre hongos y lombrices permite obtener un bioinsumo rico en nutrientes, materia orgánica estabilizada y microorganismos benéficos (Zaccardelli et al., 2023).

El lombricario inoculado con *Trichoderma spp.* representa una práctica sostenible e innovadora, ya que integra los principios de la agricultura regenerativa y la economía circular, transformando residuos biodegradables en un biofertilizante natural de alta calidad (Kumar et al., 2017). El humus obtenido mejora la estructura del suelo, su capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes, promoviendo un crecimiento vegetal más saludable y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos (Garg et al., 2006).

Esta tecnología contribuye a la gestión ecológica de los residuos orgánicos, reduciendo su impacto ambiental y favoreciendo sistemas agrícolas resilientes, sostenibles y económicamente rentables (Domínguez Y Edwards, 2011; En suma, la integración de sustratos orgánicos inoculados con *Trichoderma spp.* potencia el rendimiento del lombricario, optimiza la producción de humus y promueve una agricultura más limpia y eficiente (Gajalakshmi & Abbasi, 2004).

Figura 3. Diferentes tipos de sustratos que demuestran la importancia de una solución nutritiva para el crecimiento de las plantas



Fuente: tomado de Kumar et al. (2017).

2.4 Sustrato de pollinaza

La pollinaza es un residuo orgánico generado principalmente en granjas avícolas, consiste en una mezcla de estiércol de gallina, restos de cama (paja, aserrín), restos de alimento y plumas, con alto contenido en materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio, además de humedad variable, este residuo es una fuente rica de nutrientes esenciales para el suelo y las plantas, pero también puede contener patógenos, parásitos y presentar altas concentraciones de amoníaco, que si no se maneja adecuadamente puede afectar negativamente el ambiente y los cultivos (Abdalla et al., 2016; Wei et al., 2017).

Alto contenido de nitrógeno orgánico (generalmente entre 2–4 % en base seca), lo que favorece la fertilización nitrogenada, pero puede provocar pérdidas por volatilización si no se estabiliza (Pereira et al., 2014). Relación C/N variable, que puede oscilar entre 10 y 25, dependiendo de la proporción de cama y excremento, lo que influye en la velocidad de descomposición y estabilidad del sustrato, y la alta humedad favorece la proliferación de microorganismos anaerobios y malos olores si el manejo es deficiente, puede presentar material fibroso como paja o aserrín, que puede mejorar la aireación y estructura del sustrato en mezclas para vermicompostaje (Dale et al., 2019).

2.4.1 Uso de la pollinaza

En vermicompostaje, la pollinaza puede ser un excelente sustrato para la producción de humus de lombriz debido a su alta carga orgánica y nutrientes, un precompostaje o estabilización previa para reducir patógenos y volatilización de amoníaco, mezclar la pollinaza con materiales fibrosos (hojas secas, paja, cartón) para mejorar la aireación y evitar compactación, ajustar la humedad al rango óptimo (70-85 %) y pH (6.5-7.5) para favorecer la actividad de lombrices como *Eisenia fetida* (Aira et al., 2010; Sánchez et al., 2015).

En agricultura, puede aplicarse directamente en campos como fertilizante orgánico, mejorando la fertilidad del suelo y estimulando la actividad microbiana, la aplicación debe hacerse con cuidado para evitar la toxicidad por exceso de nitrógeno o la contaminación ambiental, su uso enmienda aportar materia orgánica, mejorando estructura, retención de agua y capacidad de intercambio catiónico (Abdalla et al., 2016).

2.4.2 Manejo de pollinaza para su aplicación agrícola y compostaje

El compostaje previo es fundamental para reducir la carga de patógenos, semillas de

malezas y eliminar compuestos volátiles como el amoníaco, que pueden ser tóxicos si se aplican directamente, el proceso aeróbico de compostaje permite estabilizar la materia orgánica y convertirla en un fertilizante más seguro y eficiente (Bernal et al., 2009; Abdalla et al., 2016).

Durante el compostaje, es importante mantener condiciones óptimas: humedad entre 50 y 65 %, temperatura entre 55 y 65 °C durante la fase termofílica, y una relación carbono/nitrógeno (C/N) adecuada, idealmente entre 25:1 y 30:1 para favorecer la actividad microbiana (Pereira et al., 2014).

EL control de humedad y aireación, deben controlarse cuidadosamente para evitar condiciones anaeróbicas que generan malos olores y ralentizan el proceso, la aireación frecuente es necesaria para mantener oxígeno suficiente, lo cual favorece la descomposición aeróbica y la eliminación de gases tóxicos (Tiquia & Tam, 2000).

La dosificación y aplicación agrícola de la pollinaza compostada, se debe aplicar en cantidades adecuadas, ajustadas según el tipo de cultivo, suelo y requerimientos nutricionales para evitar toxicidad o acumulación excesiva de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, que pueden causar contaminación ambiental (Wei et al., 2017).

Su aplicación mejora la fertilidad del suelo, incrementa la materia orgánica y estimula la actividad biológica, favoreciendo el desarrollo radicular y la productividad de los cultivos (Abdalla et al., 2016). Monitoreo y seguimiento, durante el manejo y aplicación de la pollinaza, es recomendable monitorear parámetros como pH, contenido de materia seca y concentración de nutrientes para asegurar la calidad del producto y el impacto ambiental controlado (Sánchez et al., 2015).

Figura 4. *Sustrato de lombriz californiana roja, orgánico y natural para fertilizar cultivos y jardines*



Fuente: tomado de Kumar et al. (2017).

2.5 Sustratos de bovinos vacuno

El estiércol de bovinos constituye un residuo orgánico valioso debido a su elevado contenido de nutrientes esenciales, tales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y materia orgánica, los cuales son fundamentales para la fertilidad y salud del suelo, la composición química del estiércol bovino puede variar significativamente en función de factores como la dieta del animal, el sistema de manejo, y las condiciones ambientales del lugar de producción, no obstante, estudios indican que en promedio presenta un contenido de nitrógeno total entre 0.5 y 1.5 %, así como niveles variables de fósforo y potasio que contribuyen a su potencial fertilizante (Chen et al., 2019).

Esta variabilidad es determinante para el diseño de estrategias adecuadas de manejo y aplicación agrícola, buscando optimizar su beneficio agronómico y minimizar impactos ambientales (Moraes et al., 2016).

2.5.1 Uso del sustratos bovino vacuno

En agricultura, la fertilización orgánica, sirva para mejorar la fertilidad del suelo, aportar nutrientes esenciales y materia orgánica que mejora la estructura y retención de agua, Mejora biológica del suelo, estimula la actividad microbiana benéfica, mejora la porosidad y la capacidad de intercambio catiónico, aplicación directa, en el campo, aunque se recomienda compostarlo o vermicompostarlo previamente para estabilizar los nutrientes y eliminar patógenos (Moraes et al., 2016).

En vermicompostaje, el estiércol bovino es un sustrato ideal para la cría de lombrices como *Eisenia fetida* debido a su contenido nutricional, se debe mezclar con materiales secos o fibrosos (paja, hojas secas) para ajustar humedad y aireación, facilitando la actividad de las lombrices, el vermicompost resultante es un fertilizante orgánico de alta calidad, con nutrientes estabilizados y microorganismos benéficos (Edwards et al., 2011).

2.5.2 Manejo del estiércol bovino para su aplicación agrícola y compostaje.

Compostaje previo, el proceso de compostaje es fundamental para reducir la carga de patógenos, semillas de malezas y minimizar la volatilización de nitrógeno, especialmente en forma de amoníaco, este tratamiento estabiliza la materia orgánica y mejora la calidad del producto final, haciéndolo más seguro y eficiente como fertilizante (Bernal et al., 2009; Pérez

et al., 2016).

Control de humedad, mantener un nivel adecuado de humedad, generalmente entre 50 % y 65 %, es crucial para evitar condiciones anaeróbicas que pueden generar malos olores y retrasar la descomposición, la humedad óptima favorece la actividad microbiana aeróbica responsable de la degradación eficiente de los residuos (Tiquia & Tam, 2000).

Dosificación, se realiza en cantidades controladas y ajustadas según el tipo de cultivo y características del suelo, para evitar efectos negativos como la fitotoxicidad o la contaminación por nitratos en el agua, la dosis adecuada maximiza el aprovechamiento de nutrientes sin impactar negativamente el ambiente (Amon et al., 2006).

Monitoreo, es indispensable controlar parámetros clave durante el compostaje y vermicompostaje, tales como el pH (idealmente entre 6.0 y 8.0), la temperatura (que debe alcanzar 55–65 °C en la fase termofílica) y la materia seca, para garantizar un proceso efectivo y seguro que produzca un compost o humus de alta calidad (de Guardia et al., 2012).

Figura 5. *Abono orgánico obtenido a partir de la descomposición de residuos orgánicos*



Fuente: tomado de Kumar et al. (2017).

2.6 Uso de los residuos orgánicos

Compostaje de los residuos orgánicos, son materia prima para estos procesos que transforman la materia biodegradable en humus o compost de alta calidad, con propiedades fertilizantes y bioestimulantes para el suelo y las plantas (Domínguez & Edwards, 2011).

Mejora del suelo, en materia orgánica que mejora la estructura, capacidad de retención hídrica y actividad biológica del suelo (Masto et al., 2014). Fertilización orgánica, proveen macro y micronutrientes de forma gradual, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos y promoviendo sistemas agrícolas sostenibles (Bernal et al., 2009). La reducción de residuos y contaminación, nos ayuda con un manejo ambientalmente responsable de desechos que de otro modo contribuirían a la contaminación (Wei et al., 2017).

2.6.1 Manejo de residuos orgánicos para su aplicación agrícola y compostaje

La clasificación, es separar residuos según su composición para optimizar procesos de compostaje o vermicompostaje (Tiquia & Tam, 2000). Pretratamiento, incluye trituración, homogeneización y en algunos casos, precompostaje para eliminar patógenos y facilitar la descomposición (Bernal et al., 2009).

Su control de parámetros físicos y químicos es mantener humedad óptima (50–65 %), pH neutro a ligeramente alcalino (6–8), temperatura adecuada (fase termofílica entre 55-65 °C) y aireación constante para favorecer la actividad microbiana aeróbica (de Guardia et al., 2012).

El monitoreo continuo, es supervisar cambios en pH, temperatura, oxígeno y contenido de materia seca para evitar condiciones anaeróbicas que generan malos olores y retrasan la degradación (Pereira et al., 2014).

Figura 6. Transforma los residuos orgánicos en abono natural para el suelo



Fuente: Tomado de Bernal et al. (2009).

2.7 *Trichodermas spp*

En Ecuador, la combinación de humus de lombriz con *Trichoderma spp*, ha mostrado resultados positivos en la propagación de plantas, evidenciando un crecimiento significativo

en longitud del brote y desarrollo del sistema radicular, los resultados se obtuvieron con la utilización del sustrato conformado por humus de lombriz, lo que permite inferir que, utilizar humus de lombriz, y el tratamiento adecuado para mejorar el desarrollo del sistema radicular y consecuentemente el crecimiento vegetativo de los nuevos brotes (Contreras-Cornejo et al., 2009).

La incorporación de cepas del género *Trichoderma* en procesos de compostaje y vermicompostaje ha demostrado ser altamente beneficiosa debido a su capacidad para acelerar la descomposición de materiales orgánicos complejos, estos hongos filamentosos producen una amplia gama de enzimas *lignocelulolíticas*, como celulasas, *xilanasas* y *quitinasas*, que permiten la degradación eficiente de componentes vegetales recalcitrantes como la celulosa, hemicelulosa y lignina (Harman et al., 2004; Martínez et al., 2016).

Esta actividad enzimática no solo favorece una transformación más rápida de los residuos lignocelulósicos, sino que también mejora la calidad del compost final, incrementando su estabilidad y disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas (Contreras-Cornejo et al., 2009).

El aumento de una sociedad consumista ha desencadenado el detrimento en los ecosistemas provocando una insólita crisis ambiental, por lo que en la actualidad se tienen problemas con la calidad del aire, suelo, el agua y la temperatura (Klaram et al., 2022). El empoderamiento del modelo de desarrollo social basado en la producción y el consumismo ha generado que la actividad agrícola afecte el ambiente por el uso excesivo de productos fitosanitarios como fertilizantes y plaguicidas, diversas investigaciones advierten un dinámico crecimiento poblacional en los próximos 30 años, por lo que las emisiones agrícolas se acrecentarán por más del 50 % para que la gente pueda adquirir alimentos en cantidad y calidad adecuadas (Fróna et al., 2019).

La evolución actual en el estudio de *Trichoderma spp*, muestra resultados de cepas no solo de origen edafológico sino también provenientes de ambientes marinos demostrando su capacidad antagónica ante patógenos de importancia agrícola.

Este género tiene capacidad de activar mecanismos de defensa y anticipar el ataque de patógenos mediante diversos elementos, como competencia de nutrientes, antibiosis, mico parasitismo o por la estimulación de sustancias como antibióticos, enzimas hidrolíticas o quelantes. También tiene un efecto promotor de crecimiento ya que segrega hormonas de

crecimiento (Klaram et al., 2022). Con ello *Trichoderma* ha demostrado ser efectivo como bioestimulantes en diversos cultivos como frijol (Sánchez-García et al., 2017).

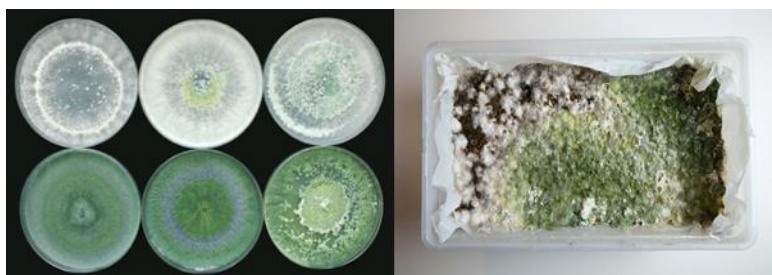
2.7.1 *Sepa de la Trichoderma spp.*

Trichoderma spp. es un género de hongos filamentosos que se encuentra ampliamente distribuido en diversos ecosistemas, especialmente en suelos fértiles y en materiales orgánicos en descomposición, como residuos agrícolas y forestales, estos hongos desempeñan un papel esencial en el equilibrio ecológico debido a su capacidad para colonizar rápidamente diferentes tipos de sustratos, gracias a su alto crecimiento micelial y a su adaptación a condiciones ambientales variadas (Harman et al., 2004).

La importancia de *Trichoderma* radica en su función como agente biocrontrador natural, ya que pueden suprimir el desarrollo de numerosos patógenos vegetales que afectan a cultivos de importancia agrícola, esto se logra mediante diversos mecanismos, como la competencia directa por nutrientes y espacio, el mico parasitismo que consiste en la destrucción física de otros hongos patógenos y la producción de metabolitos secundarios con propiedades antifúngicas y antibacterianas (Benítez et al., 2004).

Trichoderma spp. contribuye a la salud del suelo y la fertilidad a través de la descomposición de materia orgánica, facilitando la liberación de nutrientes esenciales para las plantas y mejorando la estructura del suelo, su capacidad para producir enzimas hidrolíticas, como quitinasas y celulasas, no solo le permite degradar compuestos complejos, sino que también interviene en la reducción de la incidencia de enfermedades al inhibir el crecimiento de organismos patógenos (Woo & Lorito, 2007). *Trichoderma spp.*, se ha consolidado como un recurso biotecnológico valioso en la agricultura sostenible, ya que promueve el crecimiento vegetal, protege a los cultivos de agentes dañinos y contribuye a prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente, disminuyendo la dependencia de agroquímicos sintéticos y favoreciendo la conservación de la biodiversidad del suelo (Benítez et al., 2004).

Figura 7. *Trichoderma* es un agente de biocontrol utilizado en la agricultura



2.8 Lombrices compostadoras y su rol en la generación de humus

Las lombrices compostadoras desempeñan un papel fundamental en la producción de humus, al transformar residuos orgánicos en un abono natural de alta calidad, conocido como vermicompost, estos organismos descomponen la materia orgánica a través de su sistema digestivo, generando un producto final rico en nutrientes, enzimas, microorganismos benéficos y ácidos húmicos que mejoran significativamente la fertilidad del suelo. Domínguez, J. & Edwards, C. A. (2004).

Las lombrices compostadoras, principalmente *Eisenia fetida* y *Eudrilus eugeniae*, son agentes esenciales en el proceso de vermicompostaje, una biotecnología que convierte residuos orgánicos en humus estable y bioactivo, su acción física y bioquímica acelera la descomposición, al ingerir materia parcialmente degradada y excretarla en forma de vermicast, rico en microorganismos beneficiosos, nutrientes biodisponibles y compuestos húmicos (Domínguez & Edwards, 2004), este humus mejora significativamente las propiedades físico-químicas del suelo, como la retención de humedad, la aireación y el pH, y estimula la actividad microbiana nativa, generando un entorno favorable para el desarrollo radicular (Lazcano & Domínguez, 2011).

El vermicompost actúa como un biofertilizante multifuncional, que no solo proporciona macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, sino que también incorpora fitohormonas (como auxinas y giberelinas) y compuestos con efecto supresor de patógenos (Aira et al., 2007), su aplicación en cultivos ha demostrado mejorar el rendimiento agrícola, aumentar la resistencia al estrés abiótico y reducir la dependencia de fertilizantes sintéticos, lo que lo convierte en una herramienta clave para una agricultura regenerativa y sostenible (Edwards et al., 2010).

El sistema digestivo de las lombrices actúa como un biorreactor natural, promoviendo la selección de microorganismos beneficiosos y reduciendo la carga de patógenos humanos y animales en los residuos orgánicos (Sinha et al., 2010). Este efecto higienizante es de gran relevancia para el tratamiento de desechos urbanos, agroindustriales y domésticos, en el contexto de una economía circular.

Entre las especies más utilizadas en lombricultura se destacan *Eisenia fetida* (lombriz roja californiana), *Eudrilus eugeniae* (lombriz africana) y *Perionyx excavatus* (lombriz azul), estas especies se caracterizan por su alta capacidad reproductiva, voracidad alimenticia y

adaptación a ambientes con alta carga orgánica, lo que las convierte en biofabricantes ideales de humus (Nuñez, & Pérez, 2012).

El humus producido por las lombrices no solo mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, sino que también reduce la dependencia de fertilizantes sintéticos, promueve el reciclaje de residuos y contribuye a una agricultura más sostenible, por ello, el uso de lombrices compostadoras representa una herramienta clave en el manejo ecológico de los suelos y en la optimización de procesos de compostaje. Fundación Global Nature. (2010).

Figura 8. Proceso de vermiconpostaje, es la cria y manejo de lombrices principalmente (*Eisenia fetida*) para producir humo de lombriz



Fuentes: tomando de Núñez, & Pérez (2012).

2.8.1 *Eudrilus eugeniae* (Lombriz Africana)

Eudrilus eugeniae, comúnmente conocida como lombriz africana, es una especie de anélido oligoqueto originaria de las regiones tropicales de África Occidental, ampliamente reconocida por su eficacia en sistemas de vermicompostaje. Esta lombriz epigea, adaptada a ambientes con alta temperatura y humedad, se destaca por su rápido crecimiento, madurez sexual temprana (entre 35 y 50 días) y gran capacidad reproductiva (Reinecke & Viljoen, 1990; Edwards & Bohlen, 1996).

Desde una perspectiva taxonómica, pertenece al filo *Annelida*, clase *Clitellata*, orden *Haplotaxida* y familia *Eudrilidae*. Su morfología segmentada, presencia de clitelo y respiración cutánea son características esenciales que definen su adaptabilidad ecológica y eficiencia biológica (Domínguez & Edwards, 2004).

E. eugeniae cumple un papel clave en la transformación de materia orgánica. Mediante su sistema digestivo, degrada estiércol, restos vegetales y residuos agroindustriales, generando humus de lombriz rico en nutrientes, materia orgánica estabilizada, microorganismos beneficiosos y compuestos bioactivos (Aira et al., 2002; Edwards et al., 2011). Este producto mejora la estructura del suelo, incrementa la retención de agua, estimula la actividad microbiana y promueve el desarrollo radicular de las plantas (Arancon et al., 2004).

Su eficacia depende de variables ambientales como la temperatura (24°C a 30°C), humedad del sustrato (70-85%), pH (6.0 a 7.5) y buena aireación. Condiciones fuera de estos rangos comprometen su metabolismo y reproducción, limitando su productividad (Garg & Kaushik, 2005; Gunadi et al., 2002). Como organismo aeróbico, requiere oxígeno constante; por tanto, la estructura y ventilación del sustrato son fundamentales (Domínguez & Edwards, 2004).

En términos agroecológicos, *E. eugeniae* permite cerrar el ciclo de nutrientes, facilitando la mineralización de N, P, K y otros elementos esenciales para las plantas (Edwards et al., 2011). Además, su vermicompostaje reduce drásticamente el volumen de residuos sólidos urbanos y rurales, mitigando la presión sobre rellenos sanitarios y evitando la emisión de gases como el metano (Suthar, 2009).

Desde un enfoque biotecnológico, ha demostrado eficacia en procesos de bioremediación, al disminuir la toxicidad de suelos contaminados por metales pesados u otros agentes (Sinha et al., 2008). Su biomasa, además, puede ser aprovechada como fuente proteica alternativa para acuicultura y avicultura, fortaleciendo la economía circular (Sogbesan & Ugwumba, 2008).

Figura 9. El rápido crecimiento y gran eficiencia en la descomposición en materia orgánica



Fuentes: tomando de Núñez, & Pérez (2012).

2.9 Lombrices compostadoras: su origen y el ambiente que necesitan para vivir

2.9.1 *Eisenia fetida* (Roja californiana)

Eisenia fetida, comúnmente llamada lombriz roja californiana, no es originaria de California, como sugiere su nombre, sino de regiones templadas del hemisferio norte, particularmente de Europa Occidental y partes de Asia, donde habita naturalmente suelos ricos en materia orgánica, como bosques húmedos y zonas agrícolas tradicionales, se cree que su distribución global actual se debe principalmente a la actividad humana, a través del comercio agrícola y la introducción intencionada para proyectos de compostaje y lombricultura (Edwards & Arancon, 2004).

Esta especie pertenece a la familia *Lumbricidae* y ha sido objeto de estudio desde el siglo XIX, cuando se observó su eficacia en la descomposición de residuos orgánicos, a lo largo del siglo XX, fue introducida en América del Norte, especialmente en Estados Unidos, donde se adaptó con facilidad a los climas templados y a ambientes controlados, su uso se intensificó en California debido a programas de agricultura sostenible y compostaje en la década de 1970, lo que le dio el nombre popular de “roja californiana”, desde entonces, su distribución se ha expandido por todo el mundo, convirtiéndose en la especie más utilizada en sistemas de vermicompostaje tanto a nivel doméstico como industrial (Appelhof, 1997).

2.9.2 Clasificación taxonómica de *Eisenia fetida*

Reino	<i>Animalia</i>
Filo	<i>Annelida</i>
Clase	<i>Clitellata</i>
Subclases	<i>Oligochaeta</i>
Orden	<i>Haplotaxida</i>
Familia	<i>Lumbricidae</i>
Genero	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>Eisenia fetida</i> (Savigny, 1826)

Fuente: tomado de Appelhof, (1997).

2.9.3 Condiciones de ambiente sobre *Eisenia fetida* (lombriz roja californiana)

Es de color rojizo, mide entre 6 y 10 cm, pesa alrededor de 0,5 g, y posee una esperanza de vida de hasta 2 años en condiciones controladas, es hermafrodita y se reproduce con rapidez, depositando cápsulas con hasta 20 crías cada 7 a 10 días (Edwards & Bohlen, 1996). La lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) requiere condiciones ambientales específicas para

desarrollarse eficientemente y llevar a cabo el proceso de vermicompostaje, la temperatura ideal para su actividad biológica se encuentra entre 15 °C y 25 °C, aunque puede tolerar rangos entre 10 °C y 30 °C; por debajo o por encima de estos límites, su metabolismo y reproducción disminuyen considerablemente (Edwards & Bohlen, 1996).

En cuanto a la humedad del sustrato, esta especie necesita niveles de entre 70 % y 90 %, similares a una esponja húmeda, para facilitar la respiración cutánea, ya que las lombrices no poseen pulmones (Domínguez & Edwards, 2004).

El pH óptimo para su desarrollo se sitúa entre 6.0 y 7.5, evitando ambientes demasiado ácidos o alcalinos que podrían afectar su salud (Appelhof, 1997). Es esencial mantener una buena aireación, con una temperatura de 15 °C y 25 °C., *Eisenia fetida* no sobrevive en condiciones anaerobias (sin oxígeno), estas lombrices son fotóforas, es decir, huyen de la luz, por lo que deben mantenerse cubiertas por materia orgánica, como (residuos vegetales, estiércol y materia orgánica en descomposición, esta combinación de estos factores asegura su supervivencia, reproducción y eficiencia en la transformación de residuos orgánicos en humus de alta calidad, estimula la microbiota benéfica y promueve una agricultura más sostenible al reducir el uso de fertilizantes químicos (FAO, 2021).

2.9.4 Importancia de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*)

La lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) es fundamental en la gestión sostenible de residuos orgánicos gracias a su alta eficiencia en la producción de humus de lombriz, un abono natural rico en nutrientes y microorganismos beneficiosos, su capacidad para transformar rápidamente residuos orgánicos en un fertilizante biológicamente activo convierte a esta especie en una herramienta clave para la agricultura orgánica, el reciclaje de desechos y la recuperación de suelos degradados (Edwards & Arancon, 2004). El vermicompost producido mejora la estructura del suelo, aumenta la retención de agua, promueve la actividad microbiana y reduce la necesidad de fertilizantes químicos (Domínguez & Edwards, 2004).

Desde una perspectiva ecológica, su uso contribuye a la reducción de residuos sólidos urbanos, al desviar toneladas de materia orgánica del vertedero hacia sistemas de producción de compost, *Eisenia fetida* se reproduce con rapidez, se adapta bien a condiciones controladas y no representa riesgos para cultivos o ambientes naturales, lo que la convierte en la especie preferida en proyectos de lombricultura doméstica, educativa e industrial su rol en la economía circular y en prácticas agrícolas sostenibles la posiciona como un organismo clave en la

transición hacia sistemas más ecológicos (Appelhof, 1997).

2.9.5 Comportamiento y adaptabilidad de *Eisenia fetida*

Eisenia fetida, conocida como lombriz roja californiana, es una especie epigea, lo que significa que habita principalmente en las capas superficiales del suelo y en ambientes ricos en materia orgánica en descomposición, como estiércol, residuos vegetales y compost, a diferencia de lombrices anécicas o endogeas, que cavan túneles profundos en el suelo, *E. fetida* prefiere medios húmedos, aireados y con alta carga orgánica, lo que la hace particularmente adecuada para el vermicompostaje en superficie (Edwards & Bohlen, 1996).

Esta especie muestra una notable capacidad de adaptación a entornos diversos, incluyendo espacios confinados y condiciones ambientales variables, siempre que se mantenga la humedad, temperatura y aireación apropiadas. Gracias a su resistencia y capacidad reproductiva, puede mantenerse activa en sistemas de compostaje doméstico, vermicomposteras urbanas y ambientes controlados, incluso con fluctuaciones térmicas leves, su comportamiento fotofóbico (aversión a la luz) favorece que permanezca enterrada bajo la materia orgánica, donde está protegida y activa en la descomposición (Domínguez & Edwards, 2004).

E. fetida presenta un alto índice de conversión de residuos en biomasa y vermicompost, lo que la convierte en una especie económicamente viable y ecológicamente eficiente, estas razones, es la especie más utilizada en proyectos educativos, de reciclaje urbano y en iniciativas de producción agrícola sostenible (Appelhof, 1997; Gómez-Brandon & Domínguez, 2014).

2.10 Producción de vermicompost *Eisenia fetida*

La producción de vermicompost es un proceso biotecnológico que consiste en la descomposición controlada de materia orgánica mediante la acción combinada de lombrices compostadoras, principalmente *Eisenia fetida*, y microorganismos del suelo, este proceso transforma residuos orgánicos, como estiércol, restos vegetales, residuos de cocina, en humus de lombriz, un abono natural, estabilizado y rico en nutrientes (Edwards & Arancon, 2004).

Las lombrices ingieren la materia orgánica en descomposición, la digieren en su tracto intestinal, y excretan un producto conocido como vermicompost, que contiene nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, ácidos húmicos, hormonas vegetales y microorganismos beneficiosos, este abono mejora la estructura del suelo, aumenta su capacidad de retención de

agua y favorece el desarrollo radicular de las plantas (Domínguez & Edwards, 2004).

Para una producción eficiente, es necesario mantener condiciones ambientales adecuadas: una temperatura entre 15 °C y 25 °C, humedad entre 70 % y 90 %, buen nivel de oxigenación y un pH entre 6.0 y 7.5, el tiempo promedio de transformación varía entre 45 y 90 días, dependiendo de las condiciones del sistema y la cantidad de residuos procesados (Appelhof, 1997).

El vermicompost es altamente valorado en agricultura orgánica, jardinería, producción de hortalizas y recuperación de suelos degradados, su uso permite reducir el uso de fertilizantes químicos, mejora la salud del suelo y contribuye a la sostenibilidad ambiental (Gómez-Brandon & Domínguez, 2014).

2.11 Uso de *Eisenia fetida*

Gracias a su facilidad de manejo, alta tasa reproductiva y bajo requerimiento tecnológico, *Eisenia fetida* se ha convertido en una herramienta clave tanto en la educación ambiental como en el emprendimiento sostenible, en el ámbito educativo, su uso en huertos escolares y talleres de compostaje permite a los estudiantes comprender los ciclos naturales de la materia, el valor del reciclaje y la importancia del cuidado del suelo, a través de actividades prácticas, como el montaje de vermicomposteras, los estudiantes desarrollan habilidades ecológicas y conciencia ambiental desde edades tempranas (Appelhof, 1997; FAO, 2021).

En el campo del emprendimiento ecológico, *E. fetida* es protagonista de iniciativas productivas a pequeña y mediana escala, en muchos países de América Latina, se desarrollan negocios que se dedican a la producción y venta de humus de lombriz, un abono natural altamente valorado en la agricultura orgánica, así como a la cría de lombrices para su comercialización, estos modelos de negocio generan ingresos, reducen residuos y promueven prácticas regenerativas, siendo una excelente opción para zonas rurales o urbanas con acceso limitado a recursos (Domínguez & Edwards, 2004).

Su implementación requiere poca inversión inicial, espacio reducido y conocimientos básicos, lo que la hace ideal para proyectos familiares, comunitarios, escolares o institucionales, *Eisenia fetida* no solo contribuye a mejorar los suelos, sino también a fortalecer una economía circular con enfoque ambiental. FAO. (2021).

2.12 Funciones que destaca *Eisenia fetida* (lombriz roja californiana)

Transformación de materia orgánica en humus estabilizado, a través de la ingestión y digestión de materia orgánica, *E. fetida* promueve la fragmentación física y la activación microbiana de los residuos, acelerando su descomposición y estabilización, el producto final, el vermicompost, presenta una estructura granulada, rica en macro y micronutrientes, ácidos húmicos y fúlvicos, y una alta capacidad de retención hídrica y aireación, las lombrices epigeas como *Eisenia fetida* incrementan significativamente la mineralización de la materia orgánica, facilitando la liberación de nutrientes esenciales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K)” (Domínguez & Edwards, 2004).

Aporte de microbiota benéfica y actividad enzimática, el tracto digestivo de *E. fetida* alberga y favorece comunidades microbianas activas, que contribuyen a la síntesis de enzimas como celulasas, proteasas y fosfatasa, fundamentales para la transformación bioquímica de los residuos, el humus generado presenta propiedades bioestimulantes y fitoprotectoras, los excrementos de *E. fetida* contienen una microbiota más diversificada y activa que la presente en el sustrato original, además de una mayor actividad enzimática” (Aira et al., 2007).

Eficiencia en la reducción de residuos orgánicos, esta lombriz es capaz de consumir entre el 60 % y el 100 % de su peso corporal en residuos orgánicos por día, reduciendo el volumen de desechos de manera eficiente y sin generación de olores ni lixiviados tóxicos, lo que la convierte en una herramienta ecológica clave en el tratamiento de residuos urbanos y agroindustriales, *E. fetida* puede procesar hasta su peso diario en materia orgánica, lo cual permite una reducción drástica del volumen de residuos en un corto periodo de tiempo” (Edwards & Bohlen, 1996).

Alta tasa reproductiva y adaptabilidad ecológica, presenta un ciclo de vida corto, con madurez sexual a las 4-6 semanas y producción constante de cocones (huevos), lo que permite la rápida expansión de poblaciones en condiciones óptimas: temperaturas entre 15 y 25 °C, humedad del 70–85 % y pH cercano a la neutralidad, la prolificidad de *E. fetida*, con la producción de hasta 5 cocones por semana y múltiples crías por cocón, garantiza la estabilidad y escalabilidad de los sistemas de vermicompostaje” (Nuñez & Pérez, 2018).

Mejoramiento del valor agronómico del suelo, el humus de lombriz producido por *E. fetida* mejora significativamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, favorece la germinación, estimula el desarrollo radicular y contribuye a la supresión de

patógenos del suelo, actuando como un biofertilizante natural y un bioestimulante del crecimiento vegetal, el vermicompost generado por *E. fetida* mejora el crecimiento y la resistencia a enfermedades de las plantas, gracias a su contenido de hormonas vegetales y compuestos bioactivos” (Arancon et al., 2006).

2.13 Lixiviado de lombriz

El lixiviado de lombriz, también conocido como "té de humus" o "biofertilizante líquido", es un subproducto del proceso de vermicompostaje, este genera a partir de la filtración de líquidos a través del sustrato orgánico en el lombricario, mezclado con los compuestos solubles del humus producido por las lombrices, este líquido es altamente nutritivo y contiene microorganismos benéficos, enzimas, ácidos húmicos, hormonas vegetales naturales y nutrientes en forma fácilmente asimilable por las plantas, como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (Arancon et al., 2006).

El lixiviado debe diferenciarse de los líquidos en descomposición putrefacta; un buen lixiviado proviene de un sustrato bien equilibrado, aireado y sin exceso de humedad, se recolecta periódicamente mediante un sistema de drenaje adecuado en la base del lombricario, su aplicación es principalmente foliar o al suelo, funcionando como bioestimulante, repelente natural de plagas, y fertilizante orgánico de rápida absorción (Nuñez & Pérez, 2018).

2.14 Humus de lombriz

El humus de lombriz se considera un abono ideal para la agricultura ecológica debido a su riqueza en nutrientes esenciales y su alto grado de humificación, este producto, resultado del proceso de vermicompostaje mediante lombrices como *Eisenia fetida*, contiene no solo macro y micronutrientes disponibles, sino también compuestos bioactivos como hormonas vegetales (citoquininas y auxinas), enzimas y microorganismos benéficos que contribuyen a la protección de los cultivos contra plagas y enfermedades (Edwards & Arancon, 2004; Atiyeh et al., 2002).

El vermicompost presenta características físicas superiores como alta porosidad, buena aireación, excelente capacidad de drenaje y retención de agua, lo que mejora las condiciones estructurales del suelo y promueve un crecimiento radicular más eficiente (Domínguez, 2004).

Una mayor disponibilidad de nitrógeno (N), también ofrece abundancia de carbono (C), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg), lo que lo convierte en un abono orgánico

integral (Kaviraj & Sharma, 2003). Las lombrices también liberan metabolitos beneficiosos como vitaminas del complejo B y D, contribuyendo a la estimulación del metabolismo vegetal (Arancon et al., 2006).

Los excrementos de las lombrices (conocidos como "lombrisexcrementos") tienen un mayor valor nutricional y un grado de humificación superior al obtenido en el compostaje tradicional, debido a la aceleración en la tasa de mineralización de la materia orgánica (Lazcano & Domínguez, 2011).

Su composición química, el humus de lombriz destaca por su riqueza en macronutrientes y micronutrientes esenciales para el desarrollo vegetal, este abono orgánico presenta altos niveles de carbono orgánico (entre 9,5 y 17,98 %), que favorece la estructura y la actividad microbiana del suelo, así como nitrógeno total (0,5–1,50 %), fundamental para el crecimiento vegetativo de las plantas. Asimismo, contiene fósforo (0,1–0,30 %) que estimula el desarrollo radicular y la floración, y potasio (0,15–0,56 %), que participa en la regulación hídrica y en la formación de frutos, entre los elementos secundarios, se encuentran el sodio (0,06–0,30 %), y una combinación de calcio y magnesio (22,67–47,60 meq/100 g), importantes para la estabilidad celular y la fotosíntesis, contiene micronutrientes clave como cobre (2–9,50 mg/kg), hierro (2–9,30 mg/kg), zinc (5,70–11,50 mg/kg) y azufre (128–548 mg/kg), los cuales desempeñan funciones enzimáticas, hormonales y estructurales dentro de las plantas (Ndegwa & Thompson, 2001; Lazcano & Domínguez, 2011).

Figura 10. *Abono orgánico de alta calidad que se obtiene a partir de los excrementos de la lombriz*



Fuente: Tomado de Lazcano & Domínguez, (2011).

2.15 Beneficios de humus de lombriz (vermicompost)

El humus de lombriz, también conocido como vermicompost, es un fertilizante orgánico de alta calidad obtenido mediante la transformación biológica de residuos orgánicos a través de la acción digestiva de lombrices epigeas, principalmente *Eisenia fetida*. su aplicación en sistemas agrícolas sostenibles ha cobrado relevancia debido a sus múltiples beneficios agronómicos, microbiológicos, ambientales y económicos, los cuales contribuyen a mejorar la productividad y la salud de los ecosistemas agrícolas (Edwards & Arancon, 2004; Domínguez, 2004).

Mejora la fertilidad del suelo, vermicompost enriquece el suelo con macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), así como micronutrientes esenciales como calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) y zinc (Zn), todos en formas asimilables por las plantas, esta disponibilidad inmediata favorece la nutrición vegetal sin riesgos de salinización o contaminación (Arancon et al., 2006; Lazcano & Domínguez, 2011).

El humus de lombriz aumenta la actividad microbiana alberga una alta diversidad y densidad de microorganismos beneficiosos, incluyendo bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azotobacter*, *Rhizobium*), hongos solubilizadores de fósforo (*Penicillium*, *Aspergillus*) y *actinobacterias*, estos microorganismos contribuyen a mejorar la estructura del suelo, facilitar la absorción de nutrientes y reducir la incidencia de patógenos del suelo (Edwards, 1998; Domínguez, 2004).

Este abono orgánico, estimula el crecimiento vegetal, contiene fitohormonas naturales como auxinas, citoquininas y giberelinas, las cuales estimulan el desarrollo radicular, la germinación y el crecimiento foliar, incluye enzimas, aminoácidos y vitaminas del grupo B y D, que actúan como bioestimulantes, favoreciendo el metabolismo vegetal y acelerando las respuestas fisiológicas ante condiciones de estrés (Atiyeh et al., 2002; Arancon et al., 2006).

Mejora la estructura del suelo y retención de agua, el vermicompost mejora las propiedades físicas del suelo gracias a su alta porosidad, aireación y capacidad de retención de humedad, esto resulta en una mayor capacidad de infiltración, menor compactación y un mejor aprovechamiento del agua por parte de las raíces, especialmente en suelos degradados o de baja calidad (Lazcano & Domínguez, 2011; Kaviraj & Sharma, 2003).

TRABAJOS RELACIONADOS

El uso de *Trichoderma spp.* como agente biocontrolador en la agricultura ha demostrado efectos positivos tanto en el control de patógenos como en la estimulación del crecimiento vegetal, debido a su capacidad de colonizar rizosferas, producir metabolitos antifúngicos y activar mecanismos de defensa en plantas (Harman et al., 2004; Woo et al., 2014). En este estudio, se desarrolló vermicompost enriquecido con *Trichoderma asperelloides* PSU-P1 (TBVC), con el propósito de potenciar el crecimiento y la respuesta defensiva en plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) de la variedad “Chor Khing” (MDPI, 2023).

Trichoderma harzianum es ampliamente reconocido como un agente de biocontrol por sus múltiples mecanismos de acción: micoparasitismo, competencia por nutrientes y espacio, producción de metabolitos antifúngicos y activación de defensas inducidas en plantas (Harman et al., 2004; Benítez et al., 2004). La combinación con compost o vermicompost no solo favorece su supervivencia y proliferación, sino que además aporta nutrientes y mejora la estructura del suelo, generando un ambiente supresivo contra patógenos (Edwards et al., 2011; Vinale et al., 2008).

El uso de *Trichoderma* como bioinoculante ha sido ampliamente documentado por su capacidad de mejorar la germinación, estimular el desarrollo radicular y foliar, y aumentar la tolerancia de las plantas a factores bióticos y abióticos (Harman et al., 2004; Vinale et al., 2008). La combinación con vermicompost, un abono orgánico de alta calidad microbiológica y nutricional, puede generar un efecto sinérgico al aportar tanto microorganismos benéficos como nutrientes disponibles, mejorando la estructura y fertilidad del sustrato (Edwards et al., 2011).

La lombricultura es una biotecnología que aprovecha la capacidad de *E. fetida* para transformar residuos orgánicos en humus de alta calidad, rico en nutrientes y microorganismos benéficos (Edwards & Arancon, 2004). La elección del sustrato es un factor crítico, ya que influye en la disponibilidad de nutrientes, la humedad, la porosidad y la temperatura del medio, afectando directamente la tasa de consumo, la reproducción y la longevidad de las lombrices (Domínguez et al., 2019). Diversos estudios han demostrado que estiércoles animales, restos vegetales y subproductos agroindustriales pueden ser óptimos, siempre que se ajusten las relaciones C/N y se eviten compuestos tóxicos o con pH extremos (Gajalakshmi y Abbasi, 2004).

El propósito de este estudio fue desarrollar métodos eficientes de multiplicación masiva de *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos, con el fin de obtener un inóculo de alta viabilidad y eficacia para el control de hongos fitopatógenos asociados a semillas, este enfoque busca generar un producto biológico estable, económico y fácilmente aplicable en programas de manejo integrado de plagas y enfermedades (Papavizas, 1985; Harman et al., 2004).

CAPITULO III

3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO

3.1.1. Antecedentes

La producción de humus de lombriz o vermicompost es una práctica ampliamente utilizada para mejorar la fertilidad del suelo y promover una agricultura sostenible, sin embargo, uno de los principales problemas que enfrentan los productores es la baja eficiencia en la descomposición de los residuos orgánicos y la variabilidad en la calidad del humus final, debido a las diferencias en los microorganismos presentes en los sustratos, en muchos casos, los sustratos utilizados carecen de una microbiota beneficiosa activa que acelere la mineralización de la materia orgánica y mejore las características biológicas del vermicompost (Gómez et al., 2020).

El género *Trichoderma spp.* ha demostrado ser un agente biocontrolador y promotor del crecimiento vegetal, con alta capacidad de degradar compuestos lignocelulósicos y de estimular la actividad microbiana en los sistemas de compostaje y vermicompostaje (Contreras-Cornejo et al., 2016; López y Sánchez, 2021). No obstante, su aplicación directa en sustratos orgánicos destinados a la producción de humus de lombriz no ha sido suficientemente evaluada en términos de su influencia sobre la velocidad de transformación, la calidad del humus y la interacción con las lombrices (*Perionyx excavatus* o *Eisenia fetida*).

Por tanto, el problema central radica en determinar el efecto de la inoculación de *Trichoderma spp.* en diferentes sustratos orgánicos sobre la eficiencia del proceso de vermicompostaje y la calidad del humus obtenido, considerando que una correcta integración podría optimizar los tiempos de producción, mejorar el contenido de nutrientes y potenciar la microbiología beneficiosa del producto final, este desafío requiere evaluar científicamente las condiciones óptimas de inoculación y el tipo de sustrato más adecuado para maximizar los beneficios del uso combinado de *Trichoderma spp.* y lombrices en la elaboración de humus de alta calidad.

3.2. Diseño y selección de tecnologías, herramientas o equipos a implementar

3.2.1. Ubicación de la propuesta

Latitud: 0°15' S y Longitud: 79°26' O

3.2.2. Metodología de la propuesta

La implementación del sistema se llevó a cabo mediante la construcción de camas de lombricultura con una superficie de 1 m², acondicionadas con estructuras metálicas galvanizadas y cubiertas tipo Novacero, con la finalidad de asegurar durabilidad, estabilidad estructural y condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de la lombriz californiana (*Eisenia fetida*). Las camas fueron diseñadas para favorecer el proceso de vermicompostaje sólido, permitiendo la correcta transformación de los sustratos orgánicos en humus de lombriz.

Cada unidad experimental se acondicionó con los sustratos orgánicos correspondientes a cada tratamiento, previamente homogenizados e inoculados con *Trichoderma spp.*, manteniendo condiciones controladas de humedad, aireación y temperatura. El manejo del sistema se orientó a optimizar la actividad biológica de las lombrices, promoviendo la descomposición eficiente de la materia orgánica y la obtención de un humus de lombriz de calidad homogénea como producto final del proceso.

Figura 11. *Elaboración de techado para lombricario.*



Fuente: Moreira (2026)

Figura 12. *Área destinada para la elaboración del lombricario*



Fuente: Moreira (2026)

Figura 13. *Materiales utilizados en el lombricario*



Fuente: Moreira (2026)

Figura 14. *Diseño y elaboración de las camas del lombricario con sus respectivas comparticiones para cada tratamiento evaluado*



Fuente: Moreira (2026)

Figura 15. *Elaboración de las camas para el Lombricario*



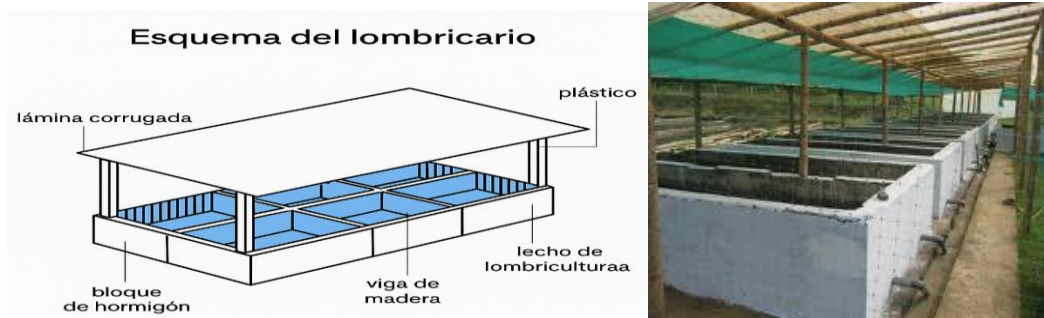
Fuente: Moreira (2026)

Figura 16. *Pesaje de lombrices para la inoculación de 1 kg por tratamiento experimental*



Fuente: Moreira (2026)

Figura 17. *Diseño agrónomo de implementación*



Fuente: Moreira (2026)

3.2.3. Descripción funcional de los componentes

Los materiales utilizados en la implementación del sistema de lombricultura cumplieron funciones estructurales, de protección y de soporte operativo, garantizando la estabilidad y durabilidad del sistema de producción de humus de lombriz.

- Los electrodos ESAB 6011 de 1/8" se emplearon para la soldadura de tubos y correas galvanizadas, permitiendo la formación de uniones firmes y resistentes.
- El spray de aluminio se aplicó como recubrimiento anticorrosivo sobre las zonas soldadas, prolongando la vida útil de la estructura metálica en condiciones de humedad constante.
- El disco de corte Norton de 7" permitió realizar cortes precisos en los elementos metálicos durante el armado del sistema.
- La varilla Adelca de 12 mm se utilizó como refuerzo estructural y elemento de fijación del recubrimiento interno, mientras que el cemento Rocafuerte, en combinación con arena y ripio de 3/4", permitió la construcción de bases sólidas y niveladas que soportaron el peso del sustrato orgánico y las lombrices. Estos materiales favorecieron la estabilidad del sistema y evitaron deformaciones por humedad.
- Los tornillos autoperforantes de 2" facilitaron la fijación de las cubiertas y elementos secundarios. Las correas galvanizadas (60×2 mm y 80×2 mm) y el tubo cuadrado galvanizado de 75×20 mm constituyeron la estructura principal del lombricario, proporcionando rigidez y resistencia mecánica frente a las cargas generadas por el material orgánico húmedo y las labores de manejo.
- El techo tipo Novacero (0,30×5,00 m) se instaló como cubierta protectora, reduciendo la incidencia directa de la radiación solar y las precipitaciones, y favoreciendo un microambiente adecuado para la actividad biológica de *Eisenia fetida* y *Trichoderma spp.*

a. Ahorro de agua

La implementación del sistema de lombricultura inoculado con *Trichoderma spp.* permitió optimizar la retención de humedad del sustrato orgánico, reduciendo la frecuencia de riego. Este efecto se atribuyó a la mejora de la estructura física del material en descomposición, lo que favoreció un uso más eficiente del recurso hídrico, con un ahorro estimado entre el 25 y 35 % en comparación con sistemas sin inoculación microbiana.

b. Beneficios sociales

El sistema propuesto fortaleció las capacidades técnicas y ambientales de la comunidad académica y productiva, al promover el aprovechamiento de residuos orgánicos y la producción sostenible de bioinsumos. Su implementación contribuyó a la formación práctica, a la reducción de costos de producción y al fomento de prácticas agroecológicas, generando impactos positivos en términos de sostenibilidad, empleo local y seguridad alimentaria.

3.2.4. Esquema del lombricario

La aplicación de esta tecnología en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, representa un avance significativo en la gestión ambiental y la producción agroecológica dentro de la comunidad universitaria. El sistema implementado no solo fortalece la formación práctica y científica de los estudiantes, sino que también constituye un modelo demostrativo de aprovechamiento de residuos orgánicos locales.

Figura 18. *Esquema de la implementación del lombricario*



3.2.5. Desglose de gastos

El monto total de USD 1.909,53 corresponde a la inversión necesaria para la adquisición de materiales estructurales, insumos de montaje y elementos auxiliares requeridos para la construcción e implementación de las camas de lombricultura. Este presupuesto incluye materiales galvanizados para la estructura y soporte, cubiertas tipo Novacero para protección del sistema, insumos de fijación y soldadura, así como materiales de cimentación y

acondicionamiento interno. En conjunto, esta inversión garantiza la durabilidad, estabilidad y correcto funcionamiento del sistema de vermicompostaje orientado a la producción de humus de lombriz.

Tabla 4. Costos de adquisición e implementación de las camas de lombricultura con *Eisenia fetida*

Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Descuento	Total
tubo cuadrado galvanizado 75x2.00 (B2) 780	34.3500	11.00	0.00	377,85
U correas galvanizada 80x2.00 (B2) 269	18.9100	10.00	0.00	182,10
U techo novacero de 0.30x5.50M	21.0900	36.00	0.00	759,13
Electrodos esab 6011-1/8	21.5200	11.00	0.00	16.74
U spray aluminio (B1)psil	1.5200	3.00	0.00	4,57
U disco de corte norte de 7 pulgada	1.5200	3.00	0.00	6,09
U variila adelca de 12	11.43	1.00	0.00	11.43
Cemento Rocafuerte	7.6200	4.00	0.00	30.48
0.50 metro de chispa 3/4	24.000	0.50	0.00	12.38
0.50 metro de arena	17.1400	0.50	0.00	8.57
U autoperforante 2 pulgadas	0.03000	400.00	0.00	13.91
U correa galvanizadas	13.48	33.00	0.00	444.78
Abrasaderas	1.000	6.00	0.00	6.00
Plastico de 1.50x3	1.2500	12.00	0.00	15.00
Tablas cortadas de 1metro	1.2500	6.00	0.00	7.50
Clavos de zinc	1.000	3.00	0.00	3.00
Plastico de 1metro	1.00	7.00	0.00	10.00

La implementación del lombricario representa una inversión estratégica orientada al aprovechamiento eficiente de residuos orgánicos y a la producción sostenible de humus de lombriz de alta calidad. Este sistema permite transformar desechos agropecuarios y de mercado en un biofertilizante sólido con alto valor agronómico, contribuyendo a la mejora de la fertilidad del suelo, al incremento de la materia orgánica y a la reducción del uso de fertilizantes químicos.

Asimismo, el lombricario favorece la gestión ambiental responsable al disminuir la carga de residuos destinados a vertederos, reducir la contaminación del suelo y del agua, y promover prácticas agroecológicas sostenibles.

3.2.6. Cronograma

Tabla 5. Cronograma de la Primera Fase

Fase 1: 2025 (1)		Primer parcial								Segundo parcial							
Actividades		Abr				May				Jun				Jul			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN		X															
INTRODUCCIÓN (antecedentes)			X	X													
PROBLEMA (Justificación)					X	X											
OBJETIVOS (generales, específicos)						X											
METODOLOGÍA (Procedimiento, métodos, técnicas)							X	X									
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO										X	X						
DEFINICIONES												X	X				
ANTECEDENTES														X	X		
TRABAJOS RELACIONADOS																X	X

Tabla 6. Cronograma de la segunda Fase

Fase 2: 2025 (2)		Primer parcial								Segundo parcial							
Actividades		Sep				Oct				Nov				Dic			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
CAPÍTULO III: DESARROLLO DE LA PROPUESTA		X															
Descripción del sistema			X														
Diseño y Selección de tecnologías, herramientas o equipos a implementar				X	X												
Plan de implementación (incluye recursos e implementación)						X	X										
Descripción y pruebas de funcionamiento del equipo implementado							X	X									
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES										X	X						
CONCLUSIONES												X	X				
RECOMENDACIONES															X	X	
BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS																X	

3.3. Plan de implementación

Tabla 7. Secuencia de instalación e implementación del sistema del lombricario para la producción de inoculación de *Trichoderma spp* en sustrato orgánico

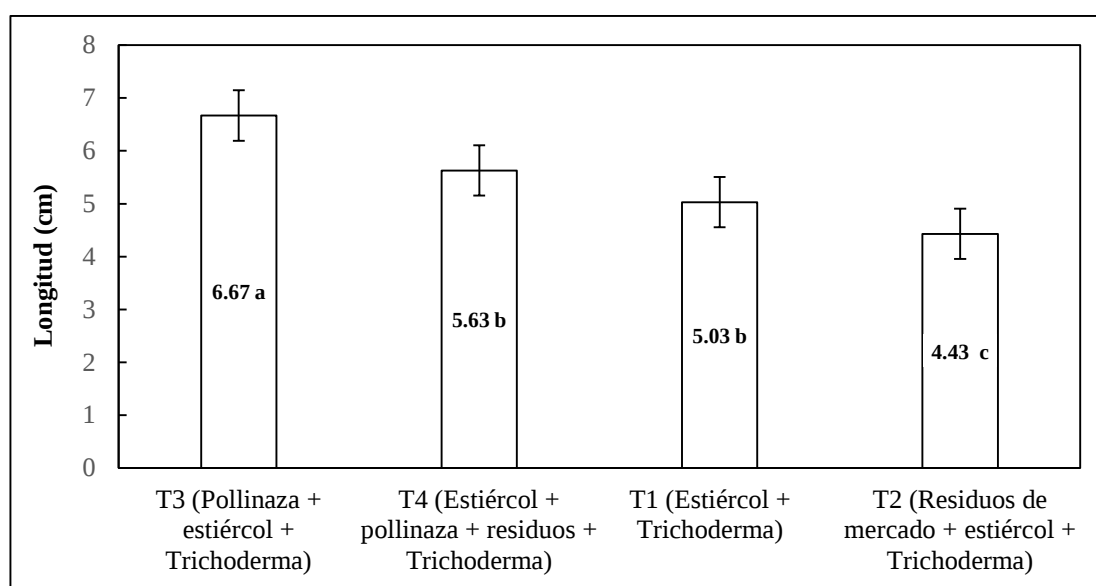
Descripción	Funcionamiento
Recepción e inventario de materiales	Se realizó la verificación y control de los materiales estructurales (láminas galvanizadas, correas, tubos, tornillería) y de los insumos orgánicos (estiércol, pollinaza y residuos de mercado), asegurando que cumplieran condiciones adecuadas de calidad y aptitud para su uso en el sistema de lombricultura.
Construcción de las camas de lombricultura	Se construyeron camas de 1 m ² mediante el ensamblaje de una estructura metálica galvanizada, resistente a la humedad y a la corrosión, diseñada para soportar el peso del sustrato orgánico y garantizar estabilidad durante el proceso de vermicompostaje.
Preparación del sustrato base	Los sustratos orgánicos fueron previamente acondicionados y mezclados de forma homogénea. Posteriormente, se colocaron en cada cama con un espesor aproximado de 20 a 30 cm, verificando el adecuado drenaje y la correcta aireación del material.
Llenado y nivelación de las camas	El sustrato preparado se distribuyó de manera uniforme en las camas, asegurando una superficie nivelada que facilitó la movilidad de las lombrices y la homogeneidad del proceso de descomposición.
Inoculación de lombrices	Una vez estabilizado el sustrato, se realizó la inoculación equitativa de <i>Eisenia fetida</i> en cada unidad experimental, con el fin de iniciar el proceso de vermicompostaje bajo condiciones controladas.
Manejo y seguimiento del sistema	Se efectuaron riegos controlados y monitoreos periódicos de humedad, temperatura y estado del sustrato, con el objetivo de mantener condiciones óptimas para la actividad biológica de las lombrices y la producción de humus.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1. Longitud de la lombriz (cm)

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la longitud promedio de las lombrices (*Eisenia fetida*) en función del tipo de sustrato orgánico inoculado con *Trichoderma spp.*, registrándose un valor de $p = 0,0007$. El tratamiento T3 (pollinaza + estiércol + *Trichoderma spp.*) presentó la mayor longitud promedio, con un valor de 6,67 cm, lo que indicó un mejor desempeño en el crecimiento corporal de las lombrices. En contraste, el tratamiento T2 (residuos de mercado + estiércol + *Trichoderma spp.*) registró la menor longitud promedio, con 4,43 cm, evidenciando una respuesta inferior en comparación con los demás tratamientos evaluados.

Figura 19. Longitud promedio en la inoculación de *Trichoderma Spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz



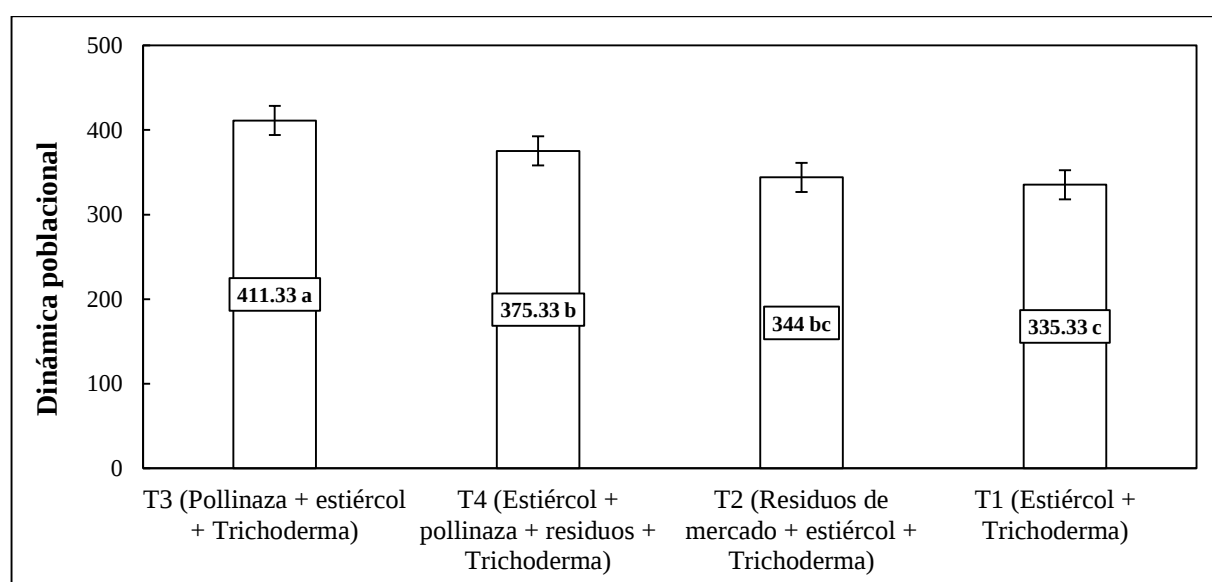
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron un mayor crecimiento corporal de *Eisenia fetida* en comparación con lo reportado por Reyes et al. (2022), quienes registraron una longitud promedio de 6,19 cm a los 45 días en tratamientos con alta proporción de estiércol bovino, sin diferencias significativas a los 60 días. En contraste, en esta investigación la longitud promedio de las lombrices osciló entre 7,80 y 9,81 cm, lo que sugiere una respuesta favorable asociada a las condiciones del sustrato y a la inoculación con *Trichoderma spp.*

3.4.2. Dinámica poblacional

Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas en la dinámica poblacional de *Eisenia fetida* en función del tipo de sustrato orgánico inoculado con *Trichoderma spp.* El tratamiento T3 (pollinaza + estiércol + *Trichoderma spp.*) registró la mayor dinámica poblacional, con un valor promedio de 411,33 individuos, lo que indicó una mayor capacidad reproductiva y adaptación de las lombrices bajo este sustrato. En contraste, el tratamiento T1 (estiércol + *Trichoderma spp.*) presentó la menor dinámica poblacional, con 335,33 individuos, reflejando un menor crecimiento poblacional en comparación con los demás tratamientos evaluados

Figura 20. Dinámica poblacional en función de la inoculación de *Trichoderma Spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Rincones, et al. (2023), indicó que la pollinaza, cuando es manejada adecuadamente y combinada con otros residuos orgánicos, mejora la disponibilidad de nutrientes y estimula la actividad biológica de las lombrices.

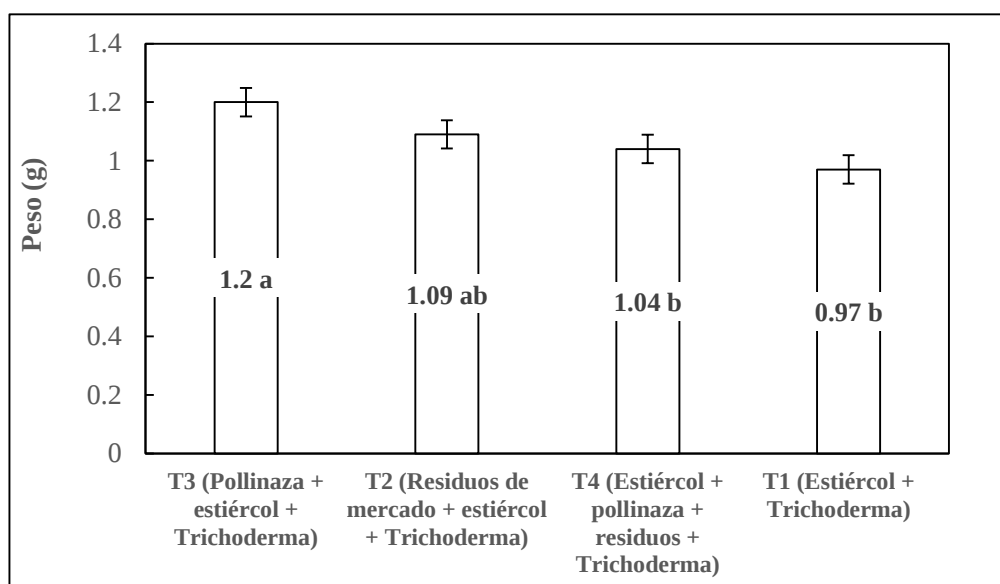
En este sentido, Rincones et al. (2023), señalaron que la diversidad de sustratos incrementa la heterogeneidad microbiana y la calidad del alimento disponible, favoreciendo la reproducción de las lombrices. Adicionalmente, la inoculación con *Trichoderma spp.* pudo haber contribuido a mejorar la descomposición de la materia orgánica y la estabilidad microbiológica del sustrato, tal como lo describen Muraira-Soto et al. (2023), quienes destacaron el papel de este hongo en la estimulación de procesos biológicos benéficos en

sistemas orgánicos.

3.4.3. Peso (g)

Los resultados evidenciaron diferencias (0,0001) en el peso promedio de las lombrices (*Eisenia fetida*) en función del tipo de sustrato orgánico inoculado con *Trichoderma spp.* El tratamiento T3 (pollinaza + estiércol + *Trichoderma spp.*) presentó el mayor peso promedio, con un valor de 1, g, lo que indicó un mejor desarrollo corporal de las lombrices. En contraste, el tratamiento T1 (estiércol + *Trichoderma spp.*) registró el menor peso promedio, con 0,91 g, evidenciando un desempeño inferior bajo este tipo de alimentación.

Figura 21. Peso (g) en función de la inoculación de *Trichoderma Spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz



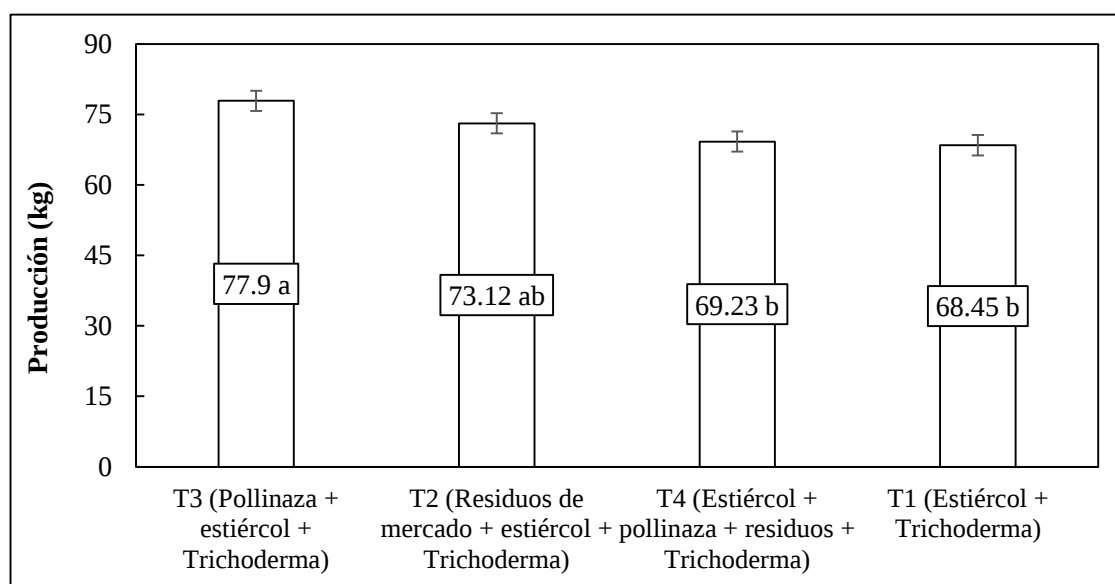
Aviles-Gómez, (2018), señalaron que la diversidad de sustratos incrementa la heterogeneidad microbiana y la calidad del alimento disponible, favoreciendo la reproducción de las lombrices. Adicionalmente, la inoculación con *Trichoderma spp.* pudo haber contribuido a mejorar la descomposición de la materia orgánica y la estabilidad microbiológica del sustrato, tal como lo describen Rincones et al. (2023), quienes destacaron el papel de este hongo en la estimulación de procesos biológicos benéficos en sistemas orgánicos.

3.4.4. Producción de humus (kg)

Los resultados evidenciaron diferencias en la producción de humus de lombriz en función del tipo de sustrato orgánico inoculado con *Trichoderma spp.* El tratamiento T3

(pollinaza + estiércol + *Trichoderma spp.*) registró la mayor producción, con un valor promedio de 77,9 kg, lo que indicó una mayor eficiencia en la transformación de la materia orgánica. En contraste, el tratamiento T1 (estiércol + *Trichoderma spp.*) presentó la menor producción de humus, con 68,45 kg, evidenciando un rendimiento inferior en comparación con el tratamiento de mayor desempeño.

Figura 22. Producción de humus en función de inoculación de *Trichoderma Spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz



Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Domínguez (2004), quien manifestó que la combinación adecuada de diferentes sustratos orgánicos incrementa significativamente la tasa de crecimiento poblacional y la actividad biológica de *Eisenia fetida*. Este autor atribuyó dicho comportamiento a una mayor disponibilidad de nutrientes fácilmente asimilables y a una mejora en la estructura física del sustrato, lo que favorece la aireación, la retención de humedad y la eficiencia del proceso digestivo de las lombrices.

Figura 23. Producción final de humus en función del tipo de alimento inoculado con *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz

3.4.5. Caracterización química y potencial agronómico del humus de lombriz obtenido de todos los tratamientos

El análisis químico del lixiviado correspondiente al tratamiento T3 evidenció una composición nutricional equilibrada, destacándose un contenido adecuado de nitrógeno (1,3

%), fundamental para el crecimiento vegetativo de los cultivos. El calcio (3,5 %) y el azufre (7,13 %) se encontraron dentro de rangos óptimos, lo que sugiere un aporte favorable para la estructura del suelo y la síntesis de proteínas vegetales. La materia orgánica (35 %) se ubicó dentro del rango recomendado, indicando un producto con buena capacidad para mejorar la actividad biológica y la retención de nutrientes en el suelo.

Por otro lado, los valores de fósforo, potasio y magnesio se situaron ligeramente por debajo de los rangos de referencia, lo que sugiere que el lixiviado puede utilizarse como biofertilizante complementario, especialmente en programas de fertilización integrados. En conjunto, estos resultados confirman que la combinación de pollinaza y estiércol inoculados con *Trichoderma spp.* favoreció la obtención de un lixiviado con características químicas adecuadas para su uso agronómico, contribuyendo a la nutrición vegetal y a la mejora de la calidad del suelo.

Tabla 8. Análisis químico del humus obtenido en el tratamiento T3(50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma spp.*)

Parámetro	Resultado	Rango de referencia (%)
N (Nitrógeno)	1,3 %	0,8 – 2,5
P (Fósforo)	0,9 %	1,5 – 2,5
K (Potasio)	1,4 %	1,5 – 4,0
Ca (Calcio)	3,5 %	1,4 – 4,1
Mg (Magnesio)	0,3 %	0,5 – 2,5
S (Azufre)	7,13 %	2,8 – 13
MO (Materia orgánica)	35 %	30 – 50

La combinación de sustratos ricos en materia orgánica y nitrógeno favorece la mineralización de este elemento y su disponibilidad en productos derivados del vermicompostaje. Este comportamiento se asocia a una mayor actividad microbiana y a una descomposición más eficiente de la materia orgánica.(Campos-Rodriguez et al., 2023).

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES

La implementación del lombricario utilizando sustratos orgánicos disponibles en la Granja Experimental Río Suma permitió establecer un sistema funcional y eficiente para la transformación de residuos orgánicos, logrando condiciones adecuadas para el desarrollo de *Eisenia fetida* y la obtención de productos derivados del vermicompostaje. El sistema mostró estabilidad operativa y favoreció el aprovechamiento sostenible de estiércol, pollinaza y residuos de mercado, confirmando su viabilidad técnica para la producción de biofertilizantes orgánicos.

En cuanto a la determinación del mejor sustrato, el tratamiento T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma spp.*) presentó el mejor desempeño productivo, registrando los valores más altos en producción de humus (77,9 kg), peso (0,65 g) longitud (6,67 cm) y dinámica poblacional de las lombrices (411). Estos resultados evidencian que la combinación de sustratos con alto contenido nutricional y la inoculación con *Trichoderma spp.* optimizaron la descomposición de la materia orgánica y mejoraron la eficiencia del proceso de vermicompostaje.

El análisis químico del humus de lombriz evidenció una composición mineral adecuada para su uso agronómico, con contenidos favorables de nitrógeno (1,3 %), calcio (3,5 %), azufre (7,13 %) y materia orgánica (35 %), los cuales se ubicaron dentro de los rangos de referencia establecidos para enmiendas orgánicas de calidad. Aunque el fósforo (0,9 %), el potasio (1,4 %) y el magnesio (0,3 %) se presentaron en concentraciones moderadas respecto a los valores óptimos, el producto final resultó apto como biofertilizante complementario, contribuyendo a la mejora de la fertilidad del suelo y al fortalecimiento de sistemas agrícolas sostenibles con menor dependencia de insumos químicos.

RECOMENDACIONES

Es importante la implementación permanente del lombricario en la Granja Experimental Río Suma utilizando sustratos orgánicos localmente disponibles, debido a su viabilidad técnica y a su contribución al aprovechamiento sostenible de residuos agropecuarios y orgánicos generados en la unidad productiva.

Se recomienda priorizar y estandarizar el uso de la mezcla al (50% de pollinaza y 50% de estiércol bovino + *Trichoderma spp*), como método principal de cría, dado que sus condiciones ambientales y nutricionales favorecen el máximo desarrollo fenotípico de *Eisenia fétida*.

Se recomendó realizar análisis químicos completos de la composición mineral del humus obtenido a partir de los diferentes sustratos orgánicos, con el fin de identificar los nutrientes disponibles y determinar su potencial de aporte al suelo y a los cultivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, D. (1999). Fertilización foliar: Un respaldo importante en el rendimiento de los cultivos. Redalyc. <https://www.redalyc.org>
- Alvarado, D. (2007). Efecto de la fertilización foliar con Ca, Mg, Zn y B en la severidad de la Sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en el crecimiento y la producción del banano (Musa AAA, cv. Grande Naine) [Tesis de licenciatura]. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.ac.cr>
- Araya, J. (2008). Agrocadena de plátano: Caracterización de la agrocadena. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00082.pdf>
- Arcos, F. (2011). Efecto de la fertilización foliar y edáfica con hierro y zinc para la biofortificación agronómica del tubérculo de papa (*Solanum tuberosum* L.). ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec>
- Arévalo, G. (2009). Manual de fertilizantes y enmiendas. Secretaría de Educación de Honduras. <https://www.se.gob.hn>
- Aristizábal, M. (2008). Evaluación del crecimiento y desarrollo foliar del plátano Hondureño Enano (Musa AAB) en una región cafetera colombiana. Revista Agronómica Colombiana. <https://www.researchgate.net>
- Aviles-Gómez. (2018). Evaluación de varios sustratos orgánicos en el crecimiento de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) alimentadas con estiércol de bovino, pollinaza y compost, en la zona de Babahoyo. [Tesis de Grado, Universidad Técnica De Babahoyo]. <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/271c1ebf-fe9a-4acc-990a-aa773b6d7547/content>
- Benavides, A. (2011). Absorción de iones por la raíz. ResearchGate. <https://www.researchgate.net>
- Barrera, J. (2011). El cultivo de plátano (Musa AAB Simmonds): Ecofisiología y manejo cultural sostenible. Editorial Zenú.
- Barrera, L. C. (2012). Nutrición mineral. Universidad Nacional de Colombia. http://www.bdigital.unal.edu.co/8545/14/07_Cap05.pdf
- Caballero, V. (2010). Evaluación de la producción de plátano Curaré enano en función de dos épocas de siembra y tres programas de fertilización en Zamorano. Honduras. <https://bdigital.zamorano.edu>
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., Moreno-Rojó, C., & Paucar-Menacho, L. M. (2023). Maracuyá (*Passiflora edulis*): Composición nutricional, compuestos bioactivos,

- aprovechamiento de subproductos, biocontrol y fertilización orgánica en el cultivo. *Scientia Agropecuaria*, 14(4), 479-497.
- Cedillo, L. (2018). Niveles de nitrógeno y potasio del plátano Curaré enano en el desarrollo, producción y calidad [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.uleam.edu.ec>
- Chica, C. L. (2017). Niveles de nitrógeno y potasio del plátano Curaré enano en el desarrollo, producción y calidad [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.uleam.edu.ec>
- Chonay, P. (1981). Efecto de la fertilización foliar sobre la compensación de la fijación biológica de nitrógeno por *Rhizobium phaseoli* en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) [Tesis de maestría]. CEDAF-CP.
- Cruz, J. C. (2011). Eficiencia agronómica y económica del manejo de la fertilización en banano en un suelo de la depresión del Lago de Valencia. INIA Venezuela. <http://www.sian.inia.gob.ve>
- Demera, C. F. (2018). Niveles de fertilización en las propiedades químicas del suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes cv. Dominico Hartón [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.uleam.edu.ec>
- Dobermann, A. (2005). Nitrogen use efficiency: State of the art. University of Nebraska-Lincoln.
- ESPAC. (2019). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua. INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec>
- Espinosa, J. A. (2018). Nutrición vegetal, exportación y eficiencia del uso de nutrientes en plátano. <https://www.3ciencias.com>
- FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- FAO. (2011). Los fertilizantes y su uso (4.^a ed.). FAO.
- FAO. (2014). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat>
- Fernández, V. (2015). Fertilización foliar. ResearchGate. <https://www.researchgate.net>
- Furcal, P. B. (2013). Respuesta del plátano a la fertilización con P, K y S durante el primer ciclo productivo. *Agronomía Costarricense*, 37(2). <https://www.scielo.sa.cr>
- Guzmán, M. (2012). Características de los fertilizantes para su uso en la fertirrigación. ResearchGate. <https://www.researchgate.net>
- Haifa Group. (2014). Recomendaciones nutricionales para banano. <https://www.haifa-group.com>

- Herrera, M. (2011). Manejo integrado del cultivo de plátano. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://www.agrobanco.com.pe>
- Herrera, K. A. (2018). Niveles de fertilización en las propiedades químicas del suelo y la eficiencia en el uso de nutrientes en plátano cv. Curaré enano [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/94/1/ULEAM-AGRO-0010.pdf>
- INAMHI. (2017). Anuario meteorológico. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
- INEC. (2011). Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua (ESPAC). Instituto Nacional de Estadística y Censos. http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/INFORME_EJECUTIVO_2011.pdf
- López, A. E. (1995). Manual de nutrición y fertilización del banano. International Plant Nutrition Institute (IPNI). <http://nla.ipni.net>
- López, D. (2017). El calcio en la producción y calidad del fruto en el cultivo de plátano (Musa paradisiaca L.) cv. Barraganete [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/122/1/ULEAM-AGRO-0013.pdf>
- López, P. J. (2018). Niveles de fertilización en la morfofisiología, producción y calidad del plátano Barraganete (Musa paradisiaca AAB) [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/92/1/ULEAM-AGRO-0008.pdf>
- MAGAP. (2015). Boletín situacional del plátano. Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2016/boletin_situacional_platano_2015.pdf
- Mendoza, L. (s. f.). Densidades de siembra del plátano Barraganete en las propiedades morfofisiológicas, producción y exportación de macronutrientes.
- Mendoza, D. (2018). Efecto de la fertilización con magnesio en el cultivo del plátano (Musa paradisiaca L.) cv. Barraganete [Tesis de grado]. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. <https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/91/1/ULEAM-AGRO-0007.pdf>
- Molina, E. (2002). Fertilización foliar: Principios y aplicación. Universidad de Costa Rica. <http://www.cia.ucr.ac.cr>

- Morales, L. U. (2009). Respuesta de genotipos mejorados de plátanos (*Musa* spp.). Universidad Central de Las Villas, Cuba.
- Muraira-Soto, M., Cardoza-José, Z. A., Pérez-López, E., & Mora-Solís, R. P. (2023). Reproducción y ganancia en masa de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)
- Ortiz, G. G. (2004). Aplicación de prácticas de conservación de suelo para la siembra de piña en ladera. CORPOICA. <https://books.google.com.ec>
- Palomino, A. (2015). Agricultura alternativa: Principios. Editorial San Pablo. <https://books.google.com.ec>
- Párraga, B. (2016). Métodos y niveles de fertilización del plátano Barraganete en la exportación y eficiencia de nutrientes [Trabajo de titulación].
- PROECUADOR. (2015). Análisis sectorial del plátano. Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones. <http://www.proecuador.gob.ec>
- Quintero, R. (1995). Fertilización y nutrición. En *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia* (pp. 153–177). CENICAÑA.
- Quintero, R. (1998). Fertilización y nutrición en plátano. Colombia.
- Quintero, R. (2005). Fertilización y nutrición. En *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia*. CENICAÑA. <https://www.cenicana.org>
- Reyes, D. M., Pérez, D. M., López, M. S. D., Arteaga, Y. R., & Díaz, R. I. (2022). Comportamiento productivo, reproductivo y morfometría de la lombriz roja californiana en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Ecovida: Revista científica sobre diversidad biológica y su gestión integrada*, 12(3), 257-266.
- Rodríguez, M. (1985). Producción de plátano (*Musa* AAB). <https://books.google.com.ec>
- Rodríguez, M. (2017). Influencia de tres niveles de carbamida sobre la inducción de hijuelos de plátano (*Musa* AAB Simmonds) en el valle del río Carrizal [Tesis de grado]. ESPAM MFL. <http://repositorio.esпам.edu.ec/handle/42000/539>
- Romero, V. (1982). Técnicas de aplicación de fertilizantes. AGROSAVIA. <https://repository.agrosavia.co>
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., Parra, C., Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., & Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Información tecnológica*, 34(2), 11-20. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000200011>
- Sánchez, J. (2012). Metodología de la investigación científica y tecnológica.

<https://es.scribd.com>

Sancho, H. (1999). Curvas de absorción de nutrientes: Importancia y uso en los programas de fertilización. Informaciones Agronómicas.

Snyder, C., & Stewart, W. (2015). Nutrient use efficiency and effectiveness in North America: Indices of agronomic and environmental benefit. International Plant Nutrition Institute.

Stewart, W. (2007). Consideraciones del uso eficiente de nutrientes. Colombia.

Stewart, W. (2011). IPNI – North Latin America. International Plant Nutrition Institute.
<http://nla.ipni.net>

Torres, B. (2006). Metodología de la investigación. <http://abacoenred.com>

Tumbaco, A. P. (2012). Manual del cultivo de plátano de exportación. ESPE Santo Domingo.
<http://giat.espe.edu.ec>

Tumbaco, A., Patiño, M., Tumbaco, J., & Ulloa, S. (2012). Manual del cultivo de plátano de exportación. Ecuador. <http://giat.espe.edu.ec>

Vaca, D. C. (2008). *Evaluación de varios niveles de fertilización en aplicación edáfica y en fertirriego en el cultivo de plátano (Musa AAB)*. Ecuador.

Vaca, D. C. (2008). *Evaluación de varios niveles de fertilización en aplicación edáfica y en fertirriego en el cultivo de plátano (Musa AAB Simmonds)*. El Carmen, Manabí, Ecuador.

<file:///C:/Users/HP/AppData/Local/Temp/41-Texto%20del%20art%C3%ADculo-68-1-10-20170914.pdf>

Valdiviezo, F. (2014). *Aplicación de soluciones nutritivas inyectadas y en drench más la adición de leonardita en el cultivo de banano (Musa AAA) variedad Williams*. Repositorio de la Universidad de Guayaquil.
<https://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/URBANViejoNESTOR>

Villareal, J. E. (2012). *Monitoreo de cambios en la fertilidad de suelos por medio de análisis de laboratorio*. Costa Rica.
<https://www.redalyc.org/pdf/437/43724664009.pdf>

Villarreal, C. R. (2015). *Fertilización foliar complementaria para nutrición y sanidad en producción de papas*. Ecuador.
<http://www.jadefo.org.mx/jwp/wp-content/uploads/Fertilizacion.pdf>

Vivas, J. (2017). *Fertilización del plátano con nitrógeno, fósforo y potasio en cultivo establecido*.
<https://dialnet.unirioja.es>

Yépez, J. C. (2015). *Efecto de altas densidades y dos sistemas de siembra sobre el rendimiento*

y rentabilidad del cultivo de plátano (Musa AAB) bajo condiciones de regadío.
Ecuador.

<https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/23/1/T-UTEQ-0009.pdf>

Zambrano, Y. M. (2018). *Niveles de fertilización en la morfología, producción y calidad del plátano dominico hartón (Musa AAB).* Ecuador.

<https://repositorio.ulead.edu.ec/bitstream/123456789/93/1/ULEAM-AGRO-0009.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. *Análisis en la varianza de la variable longitud en función de inoculación de la Trichoderma Spp en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	3622,67	3	1207,56	0,49	0,0018	
Tratamiento	3622,67	3	1207,56	0,49	0,0007	**
Error	19908	8	2488,5			
Total	23530,67	11				
CV (%)					23,3	

Anexo 2. *Análisis en la varianza de la variable dinámica poblacional en función de la inoculación de Trichoderma Spp en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	6,71	3	2,24	3,05	0,0006	
Tratamientos	6,71	3	2,24	3,05	0,0016	*
Error	85,19	116	0,73			
Total	91,9	119				
CV (%)					20,3	

Anexo 3. *Análisis en la varianza de la variable peso en función de la inoculación de Trichoderma Spp en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	2,51	3	0,84	19,72	0,0001	
Tratamientos	2,51	3	0,84	19,72	0,0001	**
Error	0,51	12	0,04			
Total	3,02	15				
CV (%)					19,80	

Anexo 4. *Acta de Donación de Bienes*

Anexo 5. Resultados del análisis químico del en función de la inoculación de *Trichoderma Spp* en sustrato orgánicos, para la producción de humus de lombriz



**CENTRO DE DIAGNÓSTICO CLÍNICO VETERINARIO
"ANIMALAB CIA. LTDA."**

Dircc: Av. Pablo Guarderas y Nardos
Telf / Cel: 0984 484 385 / 0997 060 045 * Mail: c.d.c.v.animalab@hotmail.com
Machachi-Ecuador

INFORME DE RESULTADOS

Código: R.POEAB-1901

Revisión: 02

Fecha de Aprobación: 2022-07-13

Nº DE CASO: A-012-20
CÓDIGO: BA-7.16-001-20

Fecha de recepción: lunes, 05 de enero de 2026
Fecha de realización: lunes, 05 de enero de 2026
Fecha de finalización: martes, 13 de enero de 2026
Fecha de entrega: miércoles, 14 de enero de 2026

****PROPIETARIO**: Andreina Moreira Zambrano
****RUC:** 1723325187
****HACIENDA:** Granja Experimental
****SOLICITANTE:** Andreina Moreira Zambrano
Nº DE MUESTRAS: 1
ENSAYOS SOLICITADOS: N-P-K-Mg-S-Ca-MO
METODO: Cromatografía
MUESTRA TOMADA POR: Muestra proporcionada por el cliente
OBSERVACIÓN: N/O

****TELÉFONO:** 0999551033
****UBICACIÓN:** Machachi-El Carmen-El Carmen
****MAIL:** andreina.livemorierra@gmail.com
RESPONSABLE: MVZ. Hernán Calderón
TIPO DE MUESTRA: Humus de Lombriz

RESULTADOS

IDENTIFICACIÓN: Testamento: 1

PARAMETROS	RESULTADO	UNIDAD
N	13	0,8 - 2,5 %
P	09	1,5 - 2,5 %
K	14	1,5 - 4,0 %
Ca	35	1,4 - 4,1 %
Mg	03	0,5 - 2,5 %
S	713	2,8 - 13 %
MO	35 %	30 - 50 %

Estos resultados son válidos solo para la (s) muestra (s) analizada(s) y se prohíbe la reproducción parcial de este documento, sin la autorización de ANIMALB. CIA. LTDA.

o ANIMALAB CIA. LTDA informa que los resultados emitidos aplican a las muestras como se recibieron.

Dr. Hernán Calderón
Médico Veterinario
Nº Reg 1020-09-881214

M.V.Z. HERNAN CALDERON
DIRECTOR TÉCNICO "ANIMALAB LTDA"

La información marcada " " ha sido suministrada por el cliente; El cliente asume la responsabilidad de la veracidad de estos datos, la información del cliente se considera de carácter confidencial y de dominio privado excepto lo requerido por la ley.

Anexo 6. *Recopilación de datos de la lombriz Eisenia fétida*



Anexo 7. *Medición de la lombriz Eisenia fétida*



Anexo 8. *Riego de trichoderma spp, en el lombricario*



Anexo 9. *Recolección de la muestra por tratamiento*



Anexo 10. *Peso de la lombriz*



Anexo 11. *Recolección para el respectivo análisis de la lombriz Eisenia fétida*





Tesis Brigitte Moreira

7%
Textos sospechosos

8% Similitudes
0% similitudes entre comillas (ignorado)
1% entre las fuentes mencionadas (ignorado)
5% Idiomas no reconocidos (ignorado)
14% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Tesis Brigitte Moreira.docx
ID del documento: 6ee25eb937acbedef59424ac97863024ffcdafa9
Tamaño del documento original: 9,72 MB

Depositante: Marco De la Cruz Chicaiza
Fecha de depósito: 3/2/2026
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 3/2/2026

Número de palabras: 19.640
Número de caracteres: 137.008

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Tesis Steven Angulo.docx Tesis Steven Angulo #24e912 Viene de de mi biblioteca 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (235 palabras)
2	www.scielo.org.co Trichoderma spp., una alternativa para la agricultura sosteni... http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=5012334752023000200073 2 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (221 palabras)
3	Tesis Mercy Domínguez.docx Tesis Mercy Domínguez #e59924 Viene de de mi biblioteca 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (170 palabras)
4	TESIS FINAL DINA LOOR.docx TESIS FINAL DINA LOOR #11c110 Viene de de mi grupo 8 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (159 palabras)
5	repositorio.uleam.edu.ec https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/91/1/ULEAM-AGRO-0007.pdf 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (157 palabras)

Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	talentos.ueb.edu.ec Características físicas y transformación productiva y repro... https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/379	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
2	dspace.espoch.edu.ec http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/4265/1/13T0809.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (31 palabras)
3	Documento de otro usuario #32041 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (24 palabras)
4	doi.org EXPORTACIÓN Y EFICIENCIA DEL USO DE FÓSFORO EN PLÁTANO 'BARRA... https://doi.org/10.35196/rfm.2020.1.25	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
5	Trabajo de titulación - Daniel Cedeño (Final).docx Trabajo de titulaci... #654359 Viene de de mi grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

Fuentes ignoradas

Estas fuentes han sido retiradas del cálculo del porcentaje de similitud por el propietario del documento.

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	Tesis Janira Medranda.docx Tesis Janira Medranda #a1f125 Viene de de mi biblioteca	9%		Palabras idénticas: 9% (1886 palabras)
2	Tesis Bryan Baque.docx Tesis Bryan Baque #30a81d Viene de de mi biblioteca	7%		Palabras idénticas: 7% (1435 palabras)
3	Tesis Gabriela Moreira.docx Tesis Gabriela Moreira #146fba Viene de de mi biblioteca	5%		Palabras idénticas: 5% (1059 palabras)
4	GLOVER STEVEN ZAMBRANO VERA_FINAL.docx GLOVER STEVEN ZAMB... #7004d7 Viene de de mi grupo	3%		Palabras idénticas: 3% (493 palabras)
5	"Implementación de cámara térmica para evaluar la omisión hídrica ... Viene de de mi grupo	2%		Palabras idénticas: 2% (382 palabras)
6	Anderson Jair Romero Sandoval.docx Anderson Jair Romero Sandoval #02a680 Viene de de mi grupo	2%		Palabras idénticas: 2% (366 palabras)