



**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 *Trichodermas* en sustrato orgánicos para la producción de  
lixiviado de lombriz”**

**AUTOR:** Janira Stefania Medranda Manzaba

**TUTOR:** Ing. De la Cruz Chicaiza Marco Vinicio MSc.

El Carmen, del 2026

 <b>Uleam</b> <small>UNIVERSIDAD LAICA</small> <small>ELOY ALFARO DE MANABÍ</small>	<b>NOMBRE DEL DOCUMENTO:</b> <b>CERTIFICADO DE TUTOR(A)</b>	<b>CÓDIGO: PAT-04-F-004</b>
	<b>PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	<b>REVISIÓN: 1</b> Página I de I

## 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 **Janira Stefania Medranda Manzaba**, 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 *Trichodermas* en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado 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 de este, 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, 29 de enero del 2026.

Lo certifico,



Ing. De la Cruz Chicaiza Marco Vinicio, MSc.  
**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 *Trichodermas* en sustrato orgánico para la producción de lixiviado de lombriz”**, cuya autora **Janira Stefania Medranda Manzaba**, de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria y como Tutor de Trabajo de Titulación el Ing. De la Cruz Chicaiza Marco Vinicio, MSc.

El Carmen, febrero de 2026



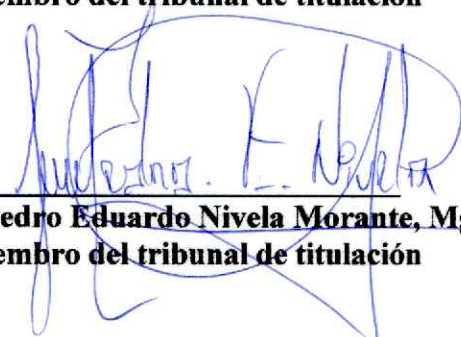
---

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



---

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



---

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



**Uleam**  
*Extensión El Carmen*

### DECLARACIÓN DE AUTORIA

La responsabilidad de este proyecto de Titulación: **“Inoculación de *Trichodermas* en sustrato orgánico para la producción de lixiviado de lombriz”** corresponde exclusivamente a **Janira Stefania Medranda Manzaba** con C.I. 1315616464 y los derechos patrimoniales del mismo a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

El Carmen – Manabí

**Autora**

---

**Janira Stefania Medranda Manzaba**  
**C.I 1315616464**

**Uleam**

## **DEDICATORIA**

A mi hija, Isis Bryanna Zambrano Medranda, el amor más puro y sublime de mi vida. Este logro, que hoy se materializa en mi tesis y mi título, es para ti. Que siempre veas en este esfuerzo la prueba de que, con dedicación, constancia y amor, todo es posible. Cada página de este trabajo lleva el reflejo de mis sueños y la esperanza de brindarte un futuro lleno de oportunidades. Que este logro sea la inspiración que te motive a perseguir tus metas con valentía y pasión, recordando siempre que los grandes sueños se alcanzan con sacrificio y fe.

*Janira Stefania Medranda Manzaba*

## **AGRADECIMIENTO**

Doy gracias a Dios, fuente de sabiduría y fortaleza, quien ha guiado cada etapa de este camino y ha permitido culminar con éxito esta importante meta académica.

A mi familia, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser el pilar fundamental que sostuvo mis esfuerzos y sueños. Su confianza y compañía hicieron posible este logro.

A mi alma máter, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, que proporcionó la formación académica y los valores necesarios para desempeñarme con responsabilidad y compromiso profesional.

Expreso mi gratitud al Ing. Marco De La Cruz, tutor de este trabajo, cuya orientación, paciencia y compromiso resultaron esenciales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Mi reconocimiento al Ing. Miguel Macay, más que un docente, un amigo y motivador cuyas palabras y apoyo impulsaron mi decisión de no rendirme y concluir con éxito mi carrera.

A todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a alcanzar este logro, manifiesto mi más sincero y profundo agradecimiento.

***Janira Stefania Medranda Manzaba***

## ÍNDICE DE CONTENIDO

TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	III
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE ANEXO.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
I. CAPITULO.....	1
1.1 TÍTULO.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
1.4 METODOLOGÍA .....	5
1.4.1 Ubicación del ensayo.....	5
1.4.2 Caracterización climatológica de la zona.....	5
1.4.3 Materiales e insumos .....	6
1.4.4 Métodos.....	7
1.4.1 Diseño de la investigación.....	8
1.4.2 Descripción de los tratamientos .....	8
1.4.3 Análisis estadístico .....	9
1.4.4 Variables dependientes.....	9
1.4.5 Manejo del ensayo.....	9
CAPÍTULO II.....	14
1. MARCO TEÓRICO.....	14

2.1	Antecedentes de la lombricultura .....	14
2.2	Lombricario .....	15
2.2.1	Ubicación del lombricario .....	16
2.2.2	Función del lombricario .....	16
2.2.3	Diseño y escala del lombricario .....	17
2.2.4	Tipos de lombricario .....	17
2.2.5	Manejo del drenaje y del lixiviado del lombricario .....	18
2.2.6	Bioseguridad y el control de calidad del lombricario.....	19
2.2.7	Manejo operativo del lombricario .....	19
2.3	Vermicultura y su importancia agroecológica.....	21
2.3.1	Impacto socioambiental en el Antropoceno .....	22
2.4	Sustratos en la lombricultura.....	22
2.4.1	Criterios generales de selección de sustratos .....	22
2.4.2	Sustratos de origen animal (estiércoles).....	23
2.5	Lombrices que producen el humus.....	24
2.5.1	Cómo elegir la especie de lombriz para producir lixiviado.....	24
2.6	Morfología, longitud y ciclo biológico de <i>Eisenia fetida</i> (lombriz roja californiana)	25
2.6.1	Taxonomía y organización corporal.....	26
2.6.2	Longitud corporal, clitelo y madurez sexual .....	26
2.6.3	Ciclo reproductivo y tasas de crecimiento .....	27
2.6.4	Ambiente térmico y estabilidad microclimática.....	27
2.6.5	Humedad del lecho y riego.....	27
2.6.6	pH, conductividad eléctrica y oxigenación .....	28
2.6.7	Alimentación y ritmo de carga .....	28
2.7	Lixiviados orgánicos: clasificación, composición y relevancia agroecológica.....	28
2.7.1	Clasificación de los lixiviados.....	28

2.7.2	Composición y propiedades .....	29
2.8	Morfología y taxonomía de <i>Trichoderma spp.</i> .....	30
2.8.1	Características funcionales y ecológicas de <i>Trichoderma spp.</i> .....	30
2.8.1	Aplicaciones en la agricultura ecológica.....	31
TRABAJOS RELACIONADOS.....		33
CAPITULO III.....		35
3.	DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	35
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO.....	35
3.1.1.	Antecedentes .....	35
3.2.	Diseño y selección de tecnologías, herramientas o equipos a implementar.....	36
3.2.1.	Ubicación de la propuesta .....	36
3.2.2.	Metodología de la propuesta .....	36
3.2.3.	Descripción funcional de los componentes .....	39
3.2.4.	Esquema del lombricario.....	42
3.2.5.	Desglose de gastos.....	43
3.2.6.	Cronograma .....	46
3.3.	Plan de implementación .....	47
3.4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
3.4.1.	Longitud de la lombriz (cm).....	49
3.4.2.	Diámetro de la lombriz (mm).....	49
3.4.3.	Producción de humus (kg).....	50
3.4.4.	Producción de lixiviado (l).....	51
3.4.5.	Caracterización química y potencial agronómico del lixiviado de lombriz obtenido en el tratamiento T3 .....	53
CAPÍTULO IV.....		55
CONCLUSIONES.....		55
RECOMENDACIONES .....		56

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	XXXV
ANEXOS.....	XXXV

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características climatológicas de la localidad.....	5
<b>Tabla 2.</b> Análisis de varianza del experimento.....	8
<b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza del experimento.....	9
<b>Tabla 4.</b> Tipos de lombricarios y sus principales características.....	18
<b>Tabla 5.</b> Sustratos animales frecuentes en lombricultura y sus características .....	23
<b>Tabla 6.</b> Especies epígeas más empleadas en lombricultura para producir humus .....	24
<b>Tabla 7.</b> Concentración de nutrientes en lixiviados de vermicompost.....	29
<b>Tabla 8.</b> Usos principales de <i>Trichoderma spp.</i> en los sistemas agrícolas.....	32
<b>Tabla 9.</b> Desglose de costos de adquisición e implementación de las camas de lombricultura con <i>Eisenia fetida</i> .....	44
<b>Tabla 10.</b> Cronograma de la Primera Fase .....	46
<b>Tabla 11.</b> Cronograma de la segunda Fase.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>Tabla 12.</b> Producción semanal de lixiviado en función del tipo de alimento inoculado con <i>Trichoderma spp.</i> en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz .....	51
<b>Tabla 13.</b> Análisis químico del lixiviado obtenido en el tratamiento T3(50 % pöllinaza + 50 % estiércol + <i>Trichoderma spp.</i> ) .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localización geográfica del área de estudio .....	5
<b>Figura 2.</b> A, B y C.Imágenes correspondientes a huellas de lombrices en el Cámbrico (anónimo) .....	14
<b>Figura 3.</b> Lombricario bajo cubierta con malla sombra perimetral, camas de 1 m <sup>2</sup> y sistema de recolección de lixiviados .....	17
<b>Figura 4.</b> Vista general de lombricario en techos elevados bajo cubierta rústica .....	18
<b>Figura 5.</b> Morfología y organización corporal de <i>Eisenia fetida</i> aparato digestivo .....	25
<b>Figura 6.</b> Lombriz roja: longitud corporal, clitelo y madurez sexual (juvenil vs. adulto) .....	26
<b>Figura 7.</b> Estructura microscópica y cultivo de <i>Trichoderma harzianum</i> .....	31
<b>Figura 8.</b> Acondicionamiento del terreno y conformación de la base estructural para el sistema del lombricario .....	37
<b>Figura 9.</b> Colocación de la cubierta metálica en la estructura del sistema del lombricario ...	37
<b>Figura 10.</b> <i>Diseño y elaboración de las camas del lombricario con sus respectivas comparticiones para cada tratamiento evaluado.....</i>	<i>37</i>
<b>Figura 11.</b> <i>Pesaje de lombrices para la inoculación de 1 kg por tratamiento experimental</i>	<i>38</i>
<b>Figura 12.</b> <i>Aplicación de la capa de sustrato orgánico en los tratamientos.....</i>	<i>38</i>
<b>Figura 13.</b> <i>Humedecimiento inicial de las camas de vermicompostaje .....</i>	<i>39</i>
<b>Figura 14.</b> <i>Aplicación de la capa de sustrato orgánico en los tratamientos .....</i>	<i>39</i>
<b>Figura 15.</b> Esquema de la implementación del lombricario.....	42
<b>Figura 16.</b> <i>Diseño y distribución espacial del lombricario experimental con cuatro tratamientos (T1–T4) y cuatro repeticiones .....</i>	<i>43</i>
<b>Figura 17.</b> Longitud promedio de las lombrices ( <i>Eisenia fetida</i> ) en función del tipo de alimento inoculado con <i>Trichoderma spp.</i> en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz.....	49
<b>Figura 18.</b> <i>Diámetro (mm) promedio de las lombrices (<i>Eisenia fetida</i>) en función del tipo de alimento inoculado con <i>Trichoderma spp.</i> en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz .....</i>	<i>50</i>
<b>Figura 19.</b> <i>Producción de humus en función del tipo de alimento inoculado con <i>Trichoderma spp.</i> en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz.....</i>	<i>50</i>
<b>Figura 20.</b> <i>Producción final de lixiviado en función del tipo de alimento inoculado con <i>Trichoderma spp.</i> en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz.....</i>	<i>52</i>

## ÍNDICE DE ANEXO

<b>Anexo 1.</b> <i>Análisis en la varianza de la variable del longitud en la Inoculación de Trichodermas en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz</i> .....	XXXV
<b>Anexo 2.</b> <i>Análisis en la varianza de la variable diámetro en la Inoculación de Trichodermas en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz</i> .....	XXXV
<b>Anexo 3.</b> <i>Análisis en la varianza de la variable producción de lixiviado en la Inoculación de Trichodermas en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz</i> .....	XXXV
<b>Anexo 4.</b> <i>Acta de Donación de Bienes</i> .....	XXXV
<b>Anexo 5.</b> <i>Resultados del análisis químico del lixiviado de lombriz obtenido a partir de sustratos orgánicos inoculados con Trichoderma spp.</i> .....	XXXVI
<b>Anexo 6.</b> <i>Acondicionamiento del terreno y conformación de la base estructural para el sistema del lombricario</i> .....	XXXVI
<b>Anexo 7.</b> <i>Diseño y elaboración de las camas del lombricario</i> .....	XXXVII
<b>Anexo 8.</b> <i>Tratamiento T1 (Estiércol bovino al 100 %, inoculado con Trichoderma spp.)</i> .....	XXXVII
<b>Anexo 9.</b> <i>T2 (50 % residuos de mercado + 50 % estiércol bovino, inoculado con Trichoderma)</i> .....	XXXVII
<b>Anexo 10.</b> <i>T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol bovino, inoculado con Trichoderma spp)</i> .....	XXXVIII
<b>Anexo 11.</b> <i>T4 (50 % estiércol bovino + 25 % pollinaza + 25 % residuos de mercado, inoculado con Trichoderma spp)</i> .....	XXXVIII
<b>Anexo 12.</b> <i>Toma de datos</i> .....	XXXVIII

## RESUMEN

El estudio evaluó el efecto de la inoculación de *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos sobre la producción de lixiviado de lombriz (*Eisenia fetida*), bajo un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron: T1, estiércol bovino al 100 %; T2, 50 % residuos de mercado + 50 % estiércol; T3, 50 % pollinaza + 50 % estiércol; y T4, 50 % estiércol + 25 % pollinaza + 25 % residuos de mercado, todos inoculados con *Trichoderma spp.* a una dosis de 3 g L<sup>-1</sup>. El objetivo fue determinar la influencia del hongo sobre la eficiencia biológica de los sustratos y la producción de lixiviado como biofertilizante orgánico. Los resultados evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. El tratamiento T3 presentó el mejor desempeño morfológico de *Eisenia fetida*, con los valores más altos en la variable morfológica evaluada (9,81) y en el diámetro corporal (2,31 mm), lo que reflejó una mejor condición fisiológica de las lombrices. Asimismo, este tratamiento alcanzó la mayor producción de humus, con 63,91 kg por cama, y la mayor producción total acumulada de lixiviado, con 9,02 L, diferenciándose del resto de los tratamientos. En contraste, el tratamiento con estiércol bovino al 100 % presentó los menores valores productivos. Se concluyó que la combinación de pollinaza y estiércol inoculada con *Trichoderma spp.* optimizó el desempeño morfológico y productivo de *Eisenia fetida*, consolidándose como la alternativa más eficiente para la producción de humus y lixiviado de lombriz.

**Palabras clave:** biofertilizante, sostenibilidad, microorganismos, lombricultura, lombricario.

## ABSTRACT

The study evaluated the effect of *Trichoderma spp.* inoculation in organic substrates on the production of earthworm leachate (*Eisenia fetida*), using a Completely Randomized Design (CRD) with four treatments and three replicates. The treatments evaluated were: T1, 100% cattle manure; T2, 50% market waste + 50% manure; T3, 50% poultry manure + 50% cattle manure; and T4, 50% manure + 25% poultry manure + 25% market waste, all inoculated with *Trichoderma spp.* at a dose of 3 g L<sup>-1</sup>. The objective was to determine the influence of the fungus on the biological efficiency of the substrates and on leachate production as an organic biofertilizer. The results showed statistically significant differences among treatments. Treatment T3 exhibited the best morphological performance of *Eisenia fetida*, with the highest values for the evaluated morphological variable (9.81) and body diameter (2.31 mm), reflecting improved physiological condition of the earthworms. Additionally, this treatment achieved the highest humus production, with 63.91 kg per bed, and the greatest total accumulated leachate production, reaching 9.02 L, clearly differentiating it from the other treatments. In contrast, the treatment with 100% cattle manure showed the lowest productive values. It was concluded that the combination of poultry manure and cattle manure inoculated with *Trichoderma spp.* optimized the morphological and productive performance of *Eisenia fetida*, establishing it as the most efficient alternative for humus and earthworm leachate production.

**Keywords:** biofertilizer; sustainability; microorganisms; vermiculture; vermicomposting system.

# I. CAPITULO

## 1.1 TÍTULO

Inoculación de *Trichodermas* en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz

### INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los residuos orgánicos representa uno de los mayores desafíos en la agricultura y la producción agropecuaria actual (Jiménez-Roa y Morales-Jiménez, 2021). El estiércol de ganado, la paja y los residuos vegetales generados en actividades agrícolas y domésticas, cuando no reciben un tratamiento adecuado, provocan contaminación del suelo y del agua, favorecen la proliferación de vectores de enfermedades y contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero, agravando el cambio climático (Molina-Lores et al., 2022; Venegas-Vera y Pincay-Menéndez, 2024). Sin embargo, estos residuos poseen un alto potencial como recursos para la producción de insumos agrícolas sostenibles (Tenecela, 2012).

La lombricultura se ha consolidado como una tecnología eficaz para transformar estos residuos en biofertilizantes sólidos y líquidos, a través de la actividad biológica de especies como *Eisenia fetida*, conocida comúnmente como lombriz roja californiana, los residuos orgánicos se convierten en vermicomposta y lixiviado de lombriz (Andrade et al., 2025). Esta lombriz destaca por su elevada tasa de reproducción y su capacidad de adaptación a diversos sustratos, lo que facilita su empleo en sistemas de producción de biofertilizantes (P. Wang et al., 2020).

Durante el proceso de vermicompostaje, *Eisenia fetida* fragmenta y consume la materia orgánica, acelerando su descomposición y estimulando la actividad microbiana beneficiosa (Andrade et al., 2025). Como resultado, se obtiene vermicomposta de alta calidad y lixiviado de lombriz, un fertilizante líquido rico en nutrientes y compuestos bioactivos que promueven el crecimiento vegetal y mejoran la salud del suelo (Contreras-Ramos et al., 2006).

Además, el uso de *Trichoderma* mejora la estructura de los sustratos, promueve el desarrollo de raíces más robustas y aumenta la capacidad de las plantas para absorber nutrientes y resistir condiciones adversas (Lugo-Soto et al., 2013). Estudios recientes han demostrado que la inoculación de *Trichoderma* en sustratos orgánicos acelera la descomposición de los residuos y mejora las características fisicoquímicas de los biofertilizantes obtenidos (Chávez et al., 2020).

Molina-Lores et al. (2022), reportaron que la incorporación de *Trichoderma harzianum* y hongos micorrícicos arbusculares en sustratos agrícolas incrementó significativamente el porcentaje de germinación, el crecimiento y el desarrollo de plántulas de tomate, estos hallazgos sugieren que la combinación de lombricultura y bioaumentación microbiana permite generar productos con mayor calidad y eficacia agronómica.

Por lo tanto, evaluar la inoculación de *Trichoderma* en desperdicios orgánicos destinados a la producción de lixiviado de lombriz contribuirá al desarrollo de biofertilizantes líquidos con mejores propiedades nutricionales y mayor capacidad para estimular el crecimiento vegetal (Abreu Cruz et al., 2018). Esta estrategia no solo fortalecerá el manejo sostenible de los residuos orgánicos, sino que también impulsará la agricultura limpia y la producción agroecológica, garantizando la productividad y la conservación de los recursos naturales (Sánchez y Fernández, 2009).

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El manejo inadecuado de residuos orgánicos en Ecuador, como estiércol de ganado, pollinaza, gallinaza y desechos vegetales provenientes de mercados y actividades agrícolas, genera impactos ambientales y sanitarios significativos (Zambrano, 2022). La acumulación de estos residuos sin tratamiento favorece la contaminación del suelo y el agua, la proliferación de vectores de enfermedades y la emisión de gases de efecto invernadero, además de desaprovechar su potencial como recurso agrícola (Sánchez, 2025).

La agricultura convencional ha incrementado la dependencia de fertilizantes químicos para compensar el agotamiento de nutrientes en los suelos, sin embargo, esta práctica ha generado costos elevados y efectos negativos sobre la salud del suelo y del ambiente (Vergara, 2019). Frente a este escenario, la agricultura orgánica propone alternativas sostenibles, como el uso de biofertilizantes obtenidos mediante procesos biológicos que mejoran la fertilidad y la estructura del suelo (Barbaro et al., 2011).

El suelo destinado a la producción hortícola ha mostrado signos evidentes de deterioro: el pH descendió hasta valores de acidez moderada ( $< 5,5$ ), la conductividad eléctrica superó  $2 \text{ dS m}^{-1}$  por acumulación de sales solubles y la materia orgánica cayó por debajo del 2 % (Bravo et al., 2018; Contreras-Ramos et al., 2006). Estos indicadores revelan una merma progresiva de la fertilidad físico-química (Barbaro et al., 2011). El uso prolongado de insumos sintéticos y las labores de labranza intensiva ocasionaron una disminución drástica de la biomasa

microbiana, de modo que la mineralización, el reciclaje de nutrientes y la supresión natural de patógenos perdieron eficiencia (Sánchez, 2025).

Esta investigación busca evaluar la inoculación de *Trichoderma* en estos sustratos para optimizar la producción de lixiviado de lombriz y ofrecer una alternativa sostenible que reduzca el uso de fertilizantes químicos.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

El aumento de los residuos orgánicos derivados de actividades agrícolas, pecuarias y comerciales representa una oportunidad para implementar tecnologías sostenibles que transformen estos desechos en recursos útiles (Zambrano, 2022). Frente al creciente costo de los fertilizantes químicos y sus impactos negativos en la salud del suelo y el ambiente, resulta urgente desarrollar biofertilizantes de alta calidad que respondan a las demandas de una agricultura sostenible y económicamente viable (Jiménez-Roa y Morales-Jiménez, 2021).

La utilización de sustratos orgánicos provenientes de estiércol bovino, pollinaza, gallinaza y residuos vegetales de mercado permite diseñar sistemas de producción de fertilizantes líquidos que no solo aporten nutrientes esenciales a los cultivos, sino que también mejoren la salud del suelo a largo plazo (Barbaro et al., 2011). Estos sustratos, al ser tratados mediante procesos biológicos controlados, pueden convertirse en insumos de alto valor agronómico capaces de reducir la dependencia de agroquímicos sintéticos (Sánchez, 2025).

La lombricultura se destaca como una estrategia eficiente para transformar residuos orgánicos en vermicomposta y lixiviado de lombriz, productos que aportan nutrientes esenciales y estimulan la actividad biológica del suelo (Sánchez, 2025). Especies como *Eisenia fetida* desempeñan un papel clave en este proceso al acelerar la descomposición de la materia orgánica. No obstante, el tiempo de descomposición y la calidad de los biofertilizantes pueden optimizarse mediante la incorporación de *Trichoderma* (Bravo et al., 2018; Contreras-Ramos et al., 2006)

Entre estos, el género *Trichoderma* destaca por su capacidad para degradar materia orgánica, controlar fitopatógenos y promover el crecimiento vegetal, la inoculación de *Trichoderma* en sustratos orgánicos puede acelerar el proceso de vermicompostaje y mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del lixiviado de lombriz (Nogales et al., 2014). Sin embargo, se dispone de poca información sobre su eficacia en residuos heterogéneos como los provenientes de mercados y desechos pecuarios (Barbaro et al., 2011). Estos biofertilizantes mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, incrementan la disponibilidad

de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, y reducen la dependencia de fertilizantes químicos (Römbke et al., 2016). Además, disminuyen los costos de producción y favorecen la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

En este contexto, la utilización de microorganismos benéficos como las especies del género *Trichoderma* complementa las estrategias de transformación orgánica (Sánchez y Fernández, 2009). Estas especies no solo actúan como agentes de control biológico frente a fitopatógenos, sino que también estimulan el crecimiento de las plantas mediante la solubilización de nutrientes y la producción de metabolitos bioactivos (Molina-Lores et al., 2022).

Al transformar estos materiales en biofertilizantes líquidos, se promueve una gestión más eficiente de los recursos disponibles y se reducen los problemas asociados al manejo inadecuado de residuos, como la contaminación y la generación de enfermedades zoonóticas (Sánchez, 2025).

Los resultados de este estudio podrán beneficiar a pequeños y medianos productores interesados en adoptar prácticas agrícolas más limpias y sostenibles. En particular, la población del cantón El Carmen, donde gran parte de los habitantes se dedica a explotaciones agrícolas y pecuarias, podría implementar esta tecnología como una alternativa rentable para mejorar la productividad de sus sistemas y reducir los impactos ambientales asociados al manejo de residuos, por ello se planteó el siguiente trabajo de investigación, titulado: Inoculación de *Trichodermas* en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz.

## **OBJETIVOS**

### **i) Objetivo general**

- Evaluar la inoculación de *Trichodermas* en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz

### **ii) Objetivos específicos**

- Construir un lombricario para la producción de humus de lombriz mediante la utilización de sustratos orgánicos.
- Cuantificar la producción de lixiviado de lombriz obtenida con la inoculación de *Trichoderma*.

- Analizar las propiedades químicas del lixiviado de lombriz producido con cada sustrato orgánico

## Hipótesis

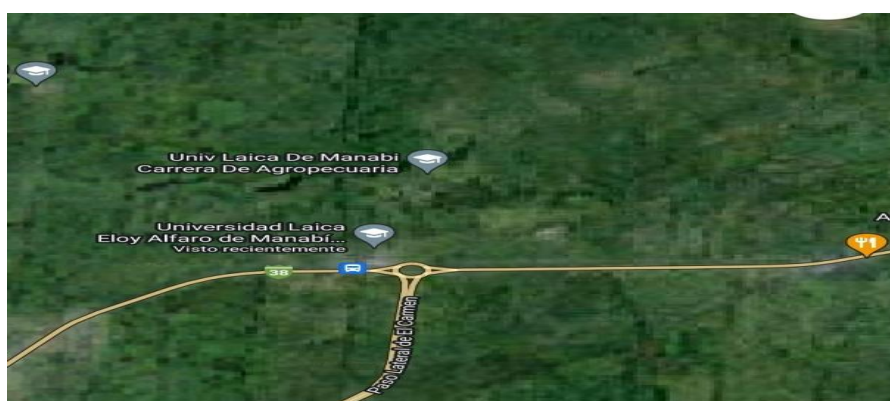
La inoculación de *Trichoderma* en sustratos orgánicos incrementa la producción y mejora las propiedades fisicoquímicas del lixiviado de lombriz en comparación con sustratos sin inoculación.

## 1.4 METODOLOGÍA

### 1.4.1 Ubicación del ensayo

El experimento se desarrollará en la Granja Experimental Río Suma (redondel de la Madre, margen derecho) de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador localizada en las coordenadas UTM X = 9 971 186,5 m; Y = 674 954,3 m; Z = 258 m s. n. m. La zona corresponde a un trópico húmedo.

**Figura 1.** Localización geográfica del área de estudio



Fuente: Google Maps (2025).

### 1.4.2 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 <sup>-1</sup> )	1026,2
Precipitación media anual (mm)	2659
Altitud (msnm)	249

### 1.4.3 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 foetida*)
- Inóculo de *Trichoderma spp.*
- Sustratos orgánicos (Estiércol bovino, Gallinaza y residuos vegetales)

#### **1.4.4 Métodos**

##### **a. Método experimental**

Este estudio adoptó el método experimental porque resultó indispensable para establecer relaciones de causalidad entre las variables controladas y los resultados obtenidos (Hidalgo, 2005). Al manipular deliberadamente factores específicos en un entorno regulado, el enfoque experimental aseguró la validez interna del análisis estadístico y permitió determinar con precisión el impacto de cada intervención sobre la producción y calidad del lixiviado.

##### **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**

Se recurrió al método descriptivo porque el objetivo central fue caracterizar el estado final de los bioinsumos (humus y lixiviado) producidos tras la inoculación de *Trichoderma spp.*, sin introducir nuevas manipulaciones que alteraran el sistema. Este enfoque permitió documentar con precisión los atributos físico-químicos y microbiológicos realmente obtenidos, generar líneas base comparables con la literatura científica y evaluar la homogeneidad y estabilidad de los tratamientos, aspectos indispensables para juzgar su calidad agronómica y su eventual escalamiento o registro como biofertilizantes.

Además, el método descriptivo complementó al experimental al traducir los efectos causales en perfiles analíticos concretos, facilitando la comparación entre tratamientos y la transferencia de resultados a productores y normativas técnicas. En síntesis, se adoptó porque garantizó una lectura objetiva, estandarizada y comunicable de los productos del proceso, fortaleciendo la validez externa de las conclusiones sin contaminar la interpretación con nuevas intervenciones (Flores et al., 2013).

##### **d. Análisis documental**

Se incorporó el análisis documental para contextualizar teóricamente la inoculación de *Trichoderma spp.* y alinear el estudio con protocolos validados (dosis, tiempos, parámetros de calidad y normas técnicas). Este método permitió seleccionar con rigor las variables críticas y garantizar que los resultados fueran comparables y transferibles a otras investigaciones y a marcos normativos. Además, el análisis documental reforzó la validez externa mediante la triangulación de los hallazgos experimentales con la evidencia disponible en revistas indexadas y guías metodológicas (PRISMA-ScR), evitando decisiones ad hoc y asegurando replicabilidad y defendibilidad normativa.

#### 1.4.1 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 foetida*). Se empleó una dosis del 1 % de *Trichoderma spp.* (granular o líquido), equivalente a 3 g L<sup>-1</sup>, aplicada durante la segunda y cuarta semana del ensayo para garantizar una adecuada colonización del hongo en los sustratos. El experimento comprendió cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno, conformando un total de 12 unidades experimentales. Cada unidad correspondió a una cama de lombricultura de 1 m<sup>2</sup>, manteniéndose condiciones homogéneas de humedad (70–80 %), densidad inicial de lombrices, aireación y temperatura ambiental. Las unidades experimentales se dispusieron aleatoriamente para minimizar el efecto de factores externos no controlados y garantizar la validez estadística de los resultados.

#### 1.4.2 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>	Repeticiones
T1	Estiércol 100 % con <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L <sup>-1</sup>	3
T2	50 % residuos del mercado + 50 % estiércol + <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L <sup>-1</sup>	3
T3	50 % pollinaza + 50 % estiércol + <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L <sup>-1</sup>	3
T4	50 % estiércol + 25 % pollinaza + 25 % residuos del mercado + <i>Trichoderma spp.</i>	3 g L <sup>-1</sup>	3

### 1.4.3 Análisis estadístico

El análisis estadístico se efectuó mediante un ANOVA de un factor para detectar diferencias entre los cuatro tratamientos con *Trichoderma harzianum* ( $\alpha = 0,05$ ). Cuando se encontraron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. Todo el procesamiento de datos se realizó en el software InfoStat 2022, y la visualización de los resultados se llevó a cabo en Microsoft Excel, lo que garantizó la reproducibilidad y la claridad en la interpretación de los efectos de *Trichoderma spp.* sobre la producción y calidad del lixiviado de lombriz.

**Tabla 3.** Análisis de varianza del experimento

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

### 1.4.4 Variables dependientes

Las variables evaluadas fueron las siguientes:

- Producción (kg) de humus en función de los sustratos orgánicos evaluados
- Longitud de la lombriz (cm): se midió la longitud corporal promedio de cinco ejemplares representativos de cada tratamiento.
- Diámetro de la lombriz
- Volumen de lixiviado ( $\text{mL kg}^{-1}$ ): se cuantificó el volumen total de lixiviado recolectado por tratamiento, como indicador de la actividad biológica del sistema.

### 1.4.5 Manejo del ensayo

#### A. Selección del sitio

El experimento se llevó a cabo en la Granja Experimental Río Suma, seleccionándose un lote de 300 m<sup>2</sup> que presentó sombra natural continua, buen drenaje superficial y suelo previamente nivelado para evitar encharcamientos y gradientes de humedad que comprometieran la uniformidad del ensayo. La elección del sitio respondió a la necesidad de controlar las variaciones térmicas y lumínicas, elementos críticos para la estabilidad fisiológica de *Eisenia fetida* y la actividad metabólica de *Trichoderma spp.*

Se verificó que el área contara con protección frente a lluvias intensas y radiación solar directa, y que estuviera lo suficientemente alejada de fuentes de contaminación química o biológica. Adicionalmente, se dispuso de acceso a agua no clorada, indispensable para no afectar la viabilidad de los microorganismos inoculados ni la respiración cutánea de las lombrices. Esta selección estratégica del entorno garantizó condiciones microclimáticas estables, facilitando el manejo experimental y la obtención de resultados reproducibles.

## **B. Materiales para el lombricario**

Para la construcción del sistema se utilizaron maderas tratadas como elementos estructurales, malla de sombra al 50 % para atenuar la radiación y agua no clorada para todas las operaciones de riego e inoculación.

Los sustratos orgánicos estiércol bovino, gallinaza y residuos vegetales provinieron de la propia granja, lo que permitió trazabilidad y control sanitario de los insumos. Se dispuso de una población inicial de *Eisenia fetida*, previamente aclimatada a las condiciones del sustrato y del ambiente, así como de instrumentos de seguimiento (termómetro, higrómetro y medidor de pH/CE). Como bioinoculante, se utilizaron cepas autóctonas de *Trichoderma spp.*, seleccionadas por su capacidad descomponedora y potencial de biocontrol. La elección de materiales estandarizados, junto con una batería instrumental adecuada, aseguró consistencia metodológica, calidad de datos y minimización de sesgos experimentales.

## **C. Construcción del lombricario**

Se eligieron estructuras de madera por su disponibilidad local, bajo costo y facilidad de reparación, complementadas con tubos galvanizados utilizados como elementos de arriostamiento y soporte longitudinal para incrementar la rigidez del conjunto. Todas las piezas de madera se trataron con sellador ecológico a base de linaza para prolongar su vida útil y reducir el riesgo de colonización por hongos saprófitos.

Se construyeron diez camas experimentales de 1 m<sup>2</sup> de superficie y 0,40 m de profundidad, reforzadas con escuadras metálicas para resistir la carga del sustrato y los riegos periódicos. Se implementó una cubierta de duratecho y una malla sombra (50 %) que cubrió toda la periferia de la construcción de las camas, con el fin de amortiguar la radiación solar, desviar el exceso de precipitación y estabilizar el microclima.

Las camas se orientaron de norte a sur para optimizar la ventilación cruzada y se dispusieron pasillos de 0,90 m que facilitaron las labores de riego, muestreo y cosecha. Esta configuración estructural favoreció la homogeneidad térmica e hídrica, redujo el estrés ambiental sobre lombrices y microorganismos, y aumentó la durabilidad y seguridad del sistema.

#### **D. Inoculación de lombrices**

Cada unidad experimental se inoculó con  $1 \text{ kg m}^{-2}$  de *Eisenia fetida*, lo que representó un rango aproximado de 600 a 1 000 individuos adultos por metro cuadrado, calculado a partir del peso fresco promedio del lote de cría. Las lombrices fueron previamente aclimatadas al sustrato precompostado para minimizar el estrés osmótico y térmico durante la transición al nuevo ambiente.

La distribución se realizó de manera homogénea sobre la superficie del lecho para asegurar una colonización uniforme y evitar zonas de sobrepoblación o desabasto de alimento. Esta estrategia permitió estandarizar la presión biológica de consumo, garantizando que los cambios fisicoquímicos y microbiológicos observados en el sustrato y en el lixiviado fueran atribuibles a los tratamientos y no a diferencias de densidad poblacional. La densidad aplicada respondió a valores reportados como óptimos para maximizar la conversión de residuos en humus y lixiviado sin provocar competencia excesiva.

#### **E. Preparación del sustrato e inoculación sólida de *Trichoderma***

Los sustratos (estiércol bovino, gallinaza y residuos vegetales) se trituraron y homogenizaron hasta alcanzar  $\approx 60\%$  de humedad, y se precompostaron durante 15 días con volteos cada 48 h para disipar calor y estabilizar el amonio a niveles no tóxicos para las lombrices. Concluida esta fase, se inocularon con *Trichoderma spp.* ( $1 \times 10^8$  esporas  $\text{g}^{-1}$ ) a razón de  $5 \text{ g kg}^{-1}$ , con el objetivo de acelerar la despolimerización de compuestos lignocelulósicos y reducir la presión de patógenos oportunistas.

La elección de cepas autóctonas apuntó a preservar la ecología microbiana local, mejorar la compatibilidad funcional con el microbioma del sustrato y evitar interrupciones por introducción de genotipos exógenos. Esta combinación de precompostaje controlado + inoculación sólida estratégica generó un sustrato bioactivo, estable y seguro para la incorporación de las lombrices.

## **F. Preparación e inoculación acuosa de *Trichoderma* (20 L)**

Se preparó una suspensión acuosa de *Trichoderma spp.* en 20 L de agua no clorada, ajustada para alcanzar  $1 \times 10^6$ – $10^7$  UFC mL<sup>-1</sup>, disolviendo 200 g del formulado ( $1 \times 10^8$  UFC g<sup>-1</sup>). Se añadió melaza al 1 % como fuente rápida de carbono y un tensioactivo no iónico (0,05 %) para mejorar la dispersión y adhesión del inóculo. La mezcla se aireó durante 12–24 h para activar fisiológicamente al hongo. Posteriormente, se aplicó 1 L m<sup>-2</sup> o 100–150 mL kg<sup>-1</sup> de sustrato húmedo, evitando condiciones de CE > 3 dS m<sup>-1</sup> o pH extremos que redujeran la viabilidad.

Se contempló un re-inoculación a los 30 días cuando los recuentos de viabilidad o la colonización visible indicaron descenso de actividad. Esta vía acuosa permitió uniformar la distribución, reducir pérdidas por adsorción y estandarizar dosis, incrementando la reproducibilidad y la eficacia del tratamiento fúngico en toda la matriz del sustrato.

## **G. Alimentación de las lombrices**

Se mantuvo un régimen de alimentación semanal utilizando el mismo tipo de sustrato por tratamiento, con proporciones constantes definidas en el plan experimental. Este esquema evitó fluctuaciones bruscas en la calidad nutricional y en la relación C/N, lo que favoreció la estabilidad del microbiota del lecho y la eficiencia digestiva de *Eisenia fetida*. Al garantizar que los aportes fueran isócronos y homogéneos, se logró reducir la variabilidad intra-tratamiento y, por ende, mejorar la potencia estadística del diseño. Además, se minimizó el riesgo de fermentaciones indeseadas y picos de temperatura asociados a aportes erráticos o excesivamente ricos en nitrógeno, protegiendo la viabilidad de las lombrices y la actividad enzimática de *Trichoderma spp.*

## **H. Riego**

El riego se ejecutó cada dos días, ajustándose de forma anticipatoria cuando la evaluación táctil evidenciaba sequedad, con el fin de sostener la humedad del sustrato entre 70 % y 80 %. Este rango hídrico resultó crítico para mantener la respiración cutánea de las lombrices, así como para apoyar los procesos de mineralización microbiana y la solubilización de compuestos orgánicos que migran hacia el lixiviado.

Se evitó la saturación hídrica, que induce condiciones anaeróbicas y pérdidas de nitrógeno por desnitrificación, y se previno la desecación, que reduce la movilidad de los anélidos y

ralentiza la biodegradación. La regularidad en la lámina aplicada aseguró la consistencia en el volumen y calidad del lixiviado, variable clave para la evaluación del biofertilizante líquido.

### **I. Toma de datos**

Se efectuó un monitoreo semanal de temperatura y humedad del lecho, así como del pH y la conductividad eléctrica (CE) del lixiviado, con el objetivo de seguir el curso de la estabilización del sistema y detectar desviaciones que comprometieran la calidad del bioinsumo.

Se registró la presencia y vigor de estructuras fúngicas de *Trichoderma* como indicador indirecto de su actividad y persistencia en el sustrato. Asimismo, se cuantificó el volumen de lixiviado por unidad experimental, relacionándolo con las condiciones ambientales para interpretar patrones de producción.

### **I. Análisis e interpretación de resultados**

Al finalizar el proceso de lixiviado, las muestras de humus se remitieron a laboratorio para determinar N, P, K y MO, mientras que los lixiviados se caracterizaron para estimar su potencial como biofertilizante líquido.

## CAPÍTULO II

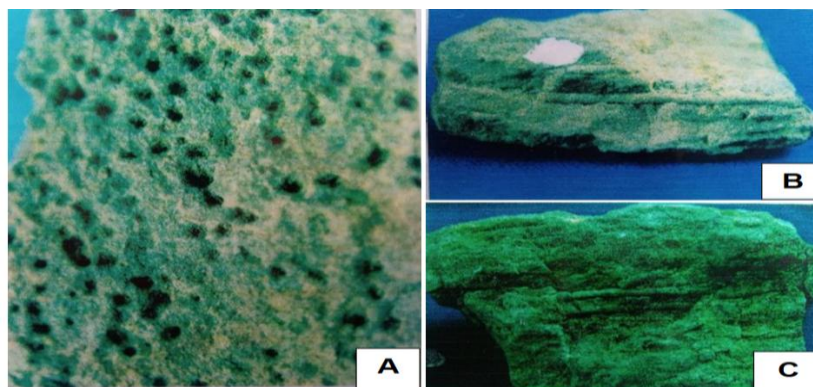
### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes de la lombricultura

La evidencia paleontológica sugiere que los anélidos y, dentro de ellos, los linajes que dieron lugar a las lombrices de tierra se originaron muy tempranamente en la historia de los metazoos (Ramos, 2023). Se han descrito trazas y restos atribuibles a anélidos en depósitos del Cámbrico temprano (514 millones de años), lo que indica una temprana colonización de sedimentos marinos y la rápida diversificación funcional del grupo (Dominguez y Edwards, 2011). Aunque el registro fósil de oligoquetos terrestres es escaso, la persistencia de sus huellas bioturbadoras respalda su papel estructural en los ecosistemas desde etapas geológicas tempranas (Llivicura et al., 2021; Sánchez et al., 2022).

Las civilizaciones agrícolas más antiguas reconocieron el valor de las lombrices para la fertilidad del suelo. Textos clásicos atribuidos a Aristóteles las describieron como el “intestino de la tierra”, aludiendo a su función transformadora de la materia orgánica (Sletto et al., 2015). En el Egipto ptolemaico, la normativa consagró su protección debido a su contribución a la productividad del valle del Nilo, intuición que la edafología moderna terminó por confirmar: la mejora de la porosidad, la agregación y el reciclaje de nutrientes depende, en buena medida, de su actividad bioturbadora y coprogénica (Velásquez y Herrera, 1986).

**Figura 2.** *A, B y C. Imágenes correspondientes a huellas de lombrices en el Cámbrico (anónimo)*



**Fuente:** tomado de Ramos (2023)

Durante el siglo XX emergió la lombricultura como tecnología para el reciclaje controlado de residuos orgánicos y la producción de bioinsumos (humus y lixiviados). Thomas Barrett

(1947) sistematizó los primeros procedimientos de cría intensiva y selección de especies epigeas *Eisenia fetida*, *Eudrilus eugeniae* y *Lumbricus rubellus* por su alta tasa de ingestión, rápida reproducción y capacidad para prosperar en lechos ricos en materia orgánica (Villegas-Cornelio y Laines Canepa, 2017). Décadas después, los trabajos de Edwards, Domínguez y colaboradores consolidaron las bases fisiológicas, microbiológicas y tecnológicas de la vermicultura moderna (Cando et al., 2024).

En términos agroecológicos, las lombrices sostienen múltiples servicios ecosistémicos: aceleran la mineralización y humificación de residuos, incrementan la capacidad de intercambio catiónico, mejoran la infiltración y retención de agua, y favorecen comunidades microbianas beneficiosas (Vásquez y Iannacone, 2014). El humus y los lixiviados derivados del vermicompostaje aportan nutrientes disponibles, ácidos húmicos y fúlvicos, así como consorcios microbianos con potencial de biocontrol, lo que los convierte en insumos estratégicos para la transición hacia sistemas agrícolas de menor dependencia de fertilizantes sintéticos (Villalobos y González, 2013).

La importancia actual de la lombriz trasciende la fertilidad clásica del suelo: se vincula con economía circular, mitigación del cambio climático y bioeconomía, la vermicultura permite valorizar residuos pecuarios y agroindustriales, reducir emisiones asociadas al manejo inadecuado de desechos y generar biofertilizantes de calidad estandarizable (Llivicura et al., 2021; Sánchez et al., 2022). Ello explica el creciente interés científico y normativo por definir parámetros de calidad (físicoquímicos y microbiológicos) para humus y lixiviados, y por evaluar su efecto en rendimiento y sanidad vegetal bajo diferentes contextos agroecológicos (Domínguez y Edwards, 2011; Blakemore, 2006).

## **2.2 Lombricario**

La lombricultura se reconoce como una biotecnología clave dentro de la economía circular por su capacidad para transformar residuos orgánicos en bioinsumos de alto valor agronómico: humus y lixiviado mediante la actividad conjunta de lombrices epigeas (principalmente *Eisenia fetida*) y consorcios microbianos especializados (Aira et al., 2007).

Desde la ecología del suelo, las lombrices se consideran “ingenieras ecosistémicas” porque modifican la estructura, la porosidad, la disponibilidad de nutrientes y la dinámica hídrica del suelo, con impactos positivos demostrados sobre la productividad vegetal y múltiples servicios ecosistémicos (Arancon et al., 2012). En este contexto, el lombricario opera como una unidad

controlada donde se optimiza la biotransformación de residuos y se asegura la obtención de productos estandarizables, lo que exige criterios técnicos claros de ubicación, diseño y manejo (Abdel-Haleem et al., 2022).

### **2.2.1 Ubicación del lombricario**

La ubicación del lombricario constituye un componente estratégico porque determina la estabilidad microambiental del sistema y, con ello, la viabilidad fisiológica de las lombrices y el microbiota benéfico (Dominguez y Edwards, 2011). Debe emplazarse en un sitio alto y no inundable, con ventilación cruzada, sombra estable natural o provista con malla sombra  $\geq 50\%$  y drenaje garantizado para impedir condiciones anaerobias y pérdidas de nitrógeno por desnitrificación (Blouin et al., 2013).

Se debe evitar la descarga directa de aguas de techos, utilizar agua no clorada y proteger perimetralmente el módulo para excluir roedores e insectos vectores (Kalita et al., 2017). Estos lineamientos, ampliamente recogidos en manuales técnicos y obras de referencia, buscan mantener la humedad del lecho entre 70 y 80 %, el pH cercano a la neutralidad y temperaturas operativas que no comprometan la respiración cutánea de las lombrices ni el rendimiento metabólico de los microorganismos inoculados (Domínguez, 2004a).

### **2.2.2 Función del lombricario**

La función del lombricario no se limita a la degradación primaria de los residuos, sino que integra procesos de humificación, estabilización de nutrientes y enriquecimiento biológico, lo cual deriva en bioinsumos con propiedades físicas, químicas y microbiológicas diferenciadas frente al compost tradicional (Sinha et al., 2010).

El humus de lombriz aporta fracciones húmicas y fúlvicas que incrementan la capacidad de intercambio catiónico, mejoran la estructura del suelo y facilitan la retención de agua, mientras que el lixiviado concentra nutrientes solubles y metabolitos microbianos con potencial bioestimulante y de biocontrol (Domínguez, 2004a).

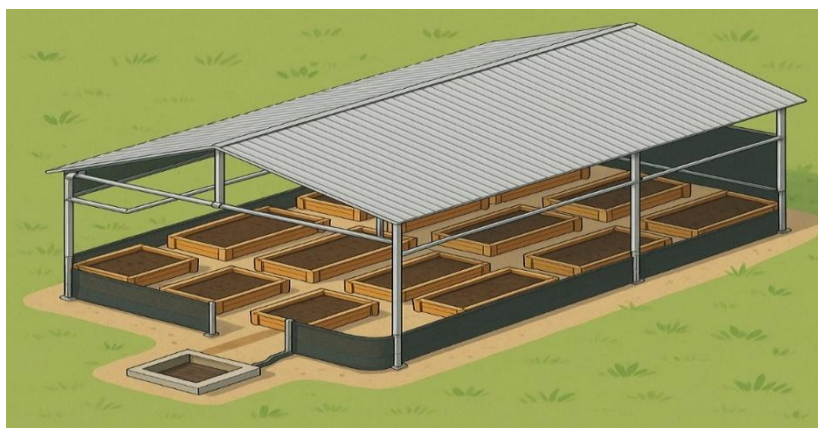
La literatura reciente ha demostrado aumentos consistentes del rendimiento vegetal y mejoras en la eficiencia en el uso de nutrientes cuando se incorporan vermicompost y lixiviados en programas de fertilización sostenible, lo que refuerza su relevancia en esquemas productivos de baja dependencia de insumos sintéticos (Kalita et al., 2017).

### 2.2.3 Diseño y escala del lombricario

Desde el diseño y la escala, los lombricarios pueden clasificarse en domésticos, semi-intensivos e intensivos (Satchell, 2012). Los domésticos, por ejemplo, recipientes de ~20 L con perforaciones laterales de aireación y drenaje permiten implementar sistemas bipartidos que alternan fases de carga y maduración, facilitando la migración natural de las lombrices hacia el compartimiento con alimento fresco y la cosecha del humus estabilizado sin interrumpir el ciclo (Sherman, 2018).

Los sistemas con “ventana de cosecha” replican a pequeña escala el principio de los reactores de flujo continuo, favoreciendo extracciones periódicas del material maduro y manteniendo una producción estable en el tiempo (Ghorbani y Sabour, 2021). En escalas semi-intensivas e intensivas, las camas de  $\geq 1 \text{ m}^2$  exigen infraestructura permanente, drenajes canalizados, techado y protocolos analíticos que aseguren la calidad del producto final (Aira et al., 2007).

**Figura 3.** *Lombricario bajo cubierta con malla sombra perimetral, camas de 1 m<sup>2</sup> y sistema de recolección de lixiviados*



**Fuente:** tomado de Ramos (2023)

### 2.2.4 Tipos de lombricario

La lombricultura ofrece diversas opciones de diseño y estructura adaptadas a las condiciones y recursos de las unidades productivas rurales (Ghorbani y Sabour, 2021). Los lombricarios, en sus distintas modalidades, se destacan por ser sistemas de bajo costo, fácil implementación y alta eficiencia en la transformación de residuos orgánicos (Satchell, 2012). Estas estructuras no solo facilitan la producción de bioinsumos como el humus y el lixiviado,

sino que también contribuyen a mejorar la calidad del suelo y a fomentar prácticas agroecológicas sostenibles (Aira et al., 2007).

**Tabla 4.** *Tipos de lombricarios y sus principales características*

<b>Tipo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Lombricario en canteros</b>	Construido directamente sobre el suelo, delimitado con bloques, ladrillos o madera; ideal para áreas rurales con espacio disponible.
<b>Lombricario en bandejas</b>	Sistema modular que permite el apilamiento vertical de bandejas con drenaje; facilita la recolección y es útil en espacios reducidos.
<b>Lombricario elevado</b>	Estructura sobre soportes que mejora la ventilación y el manejo; permite mayor control de lixiviados.
<b>Lombricario móvil</b>	Montado sobre ruedas o estructuras móviles para facilitar el traslado; común en unidades educativas o urbanas.
<b>Lombricario subterráneo</b>	Excavado parcialmente en el suelo; conserva mejor la humedad, aunque requiere mayor cuidado sanitario.

Fuente: adapta de Aira et al. (2007).

### 2.2.5 Manejo del drenaje y del lixiviado del lombricario

El manejo del drenaje y del lixiviado constituye una dimensión crítica del marco teórico por sus implicaciones agronómicas y ambientales (Kalita et al., 2017). En suelos no absorbentes o instalaciones interiores se requieren bandejas colectoras para recuperar el lixiviado, que debe filtrarse y almacenarse en recipientes opacos para proteger compuestos bioactivos de la fotodegradación (Ghorbani y Sabour, 2021).

Su aplicación agronómica demanda diluciones típicas entre 1:10 y 1:50, condicionadas al monitoreo de pH y conductividad eléctrica (CE), dado que valores elevados pueden comprometer la germinación y el crecimiento temprano de plántulas (Blouin et al., 2013). Ensayos controlados han mostrado que lixiviados con pH neutro-alcalino y  $CE < 3 \text{ dS m}^{-1}$  maximizaron respuestas fisiológicas en solanáceas y hortalizas, mientras que concentraciones superiores requirieron ajustes de dilución para evitar fitotoxicidad (Chinsamy et al., 2014).

**Figura 4.** *Vista general de lombricario en techos elevados bajo cubierta rústica*



Fuente: tomado de Chinsamy et al. (2014).

### **2.2.6 Bioseguridad y el control de calidad del lombricario**

La bioseguridad y el control de calidad completan el andamiaje teórico, la exclusión de residuos cárnicos, aceites, detergentes y materiales clorados evita disrupciones microbianas y riesgos sanitarios; los registros operativos (tipo y volumen de residuos, frecuencia de carga, volumen y parámetros del lixiviado) aportan trazabilidad y facilitan la toma de decisiones (Ghorbani y Sabour, 2021).

Paralelamente, la adopción de protocolos analíticos validados determinaciones de N, P, K, pH, CE, materia orgánica, metales traza y unidades formadoras de colonias de microorganismos funcionales y el apego a estándares mínimos de calidad propuestos en la literatura científica aseguran comparabilidad, replicabilidad y elegibilidad regulatoria de los bioinsumos producidos (Sherman, 2018). Este enfoque integra ciencia del suelo, microbiología aplicada y gestión de residuos, y posiciona al lombricario como un módulo tecnológicamente robusto dentro de sistemas agroecológicos contemporáneos (Kalita et al., 2017).

### **2.2.7 Manejo operativo del lombricario**

La experiencia productiva indica que la época de iniciación influye de manera decisiva en la adaptación de *Eisenia fetida* al nuevo hábitat (Blouin et al., 2013). Aunque el sistema puede iniciarse en cualquier momento del año, los meses con temperaturas templadas y fotoperíodos largos facilitan la aclimatación, incrementan la actividad metabólica y reducen el estrés derivado del traslado, mientras que los periodos fríos ralentizan la tasa de ingestión y la reproducción (Dominguez y Edwards, 2011).

Estudios conducidos en climas subtropicales señalan que la puesta en marcha durante la transición de la estación seca a la húmeda eleva la supervivencia inicial y la velocidad de colonización del sustrato, dado que la humedad ambiente amortigua variaciones térmicas y favorece la migración en busca de alimento (Domínguez, 2004a).

La siembra de lombrices requiere que el sustrato se encuentre estabilizado térmicamente. Por ello resulta imprescindible verificar, antes de la inoculación, que el precompostaje haya disipado el calor y que la temperatura interna permanezca por debajo de 35 °C (Dominguez y Edwards, 2011). Cuando existen lombricarios en funcionamiento, los adultos suelen detectar la presencia de residuos frescos y colonizar por sí solos el nuevo lecho; de lo contrario se incorpora un «núcleo» de aproximadamente 500 g de vermicompost activo para sistemas

domésticos o 1 000 individuos cada 2 m<sup>2</sup> en emprendimientos mayores, con el fin de garantizar diversidad etaria y un arranque rápido del proceso (Soni y Sharma, 2016).

El «test de 48 h», que consiste en exponer un lote controlado de 25–50 lombrices a la mezcla a evaluar y observar su comportamiento, constituye un método práctico para descartar sustratos que aún liberan amoníaco o ácidos grasos volátiles en concentraciones letales (Kalita et al., 2017). El riego se ajustó a las condiciones climáticas y a la respiración cutánea de la especie, asegurando una humedad del lecho entre 75 % y 80 %. Esta franja hídrica mantiene la plasticidad celular, permite la ingestión de partículas orgánicas y sostiene poblaciones microbianas descomponedoras (Soni y Sharma, 2016).

En composteras cerradas o bajo techo, el propio metabolismo del sistema aporta la mayor parte del agua necesaria, y sólo durante eventos de calor extremo fue imprescindible añadir humedad de forma suplementaria (Hussaini, 2013). Contrariamente, en climas fríos se observó exceso hídrico por condensación, lo que obligó a airear y verificar el drenaje para evitar la instauración de condiciones anaeróbicas y la generación de lixiviados malolientes (Sinha et al., 2010).

Para evaluar el contenido de agua se emplearon protocolos de campo sencillos pero fiables. La “prueba del puño” consiste en comprimir una muestra de sustrato con la mano: si emergen entre ocho y diez gotas, la humedad ronda el 80 % de la capacidad de retención, equilibrio que garantiza simultáneamente oxígeno y agua en la matriz (Sinha et al., 2010). Complementariamente, la “prueba de la pesa” utiliza un cilindro con una capa de material de dos centímetros y una pesa de un kilogramo; la presencia de escurrimiento inmediato señala exceso hídrico, la condensación ligera indica nivel óptimo, y la superficie seca evidencia déficit que requiere riego (Chinsamy et al., 2014). Estos métodos, descritos inicialmente por Figueroa (1996) y aún vigentes en guías técnicas, permiten ajustes operativos sin necesidad de instrumental sofisticado (Llivicura et al., 2021).

La calidad del agua aplicada influyó en la longevidad del cultivo: se empleó líquido con pH neutro, conductividad < 1 dS m<sup>-1</sup>, relación de adsorción de sodio (RAS) < 3 y libre de patógenos. Cuando un olor a amoníaco, metano o sulfuros reveló la instauración de un ambiente anaeróbico, fue necesario remover el lecho, airear y drenar; en sistemas de pequeña escala se corrigió el desequilibrio incorporando pasto seco o pequeñas cantidades de aserrín

para absorber el exceso de humedad, cuidando de no alterar significativamente la relación C/N (Sherman, 2018; Edwards y Arancon, 2011).

El manejo térmico también resultó determinante: *E. fetida* alcanzó su mayor eficiencia entre 15 °C y 25 °C, mientras que temperaturas superiores a 50 °C redujeron drásticamente la supervivencia (Ghorbani y Sabour, 2021). Durante épocas frías se añadió una capa aislante de paja y se incrementó la oferta de material orgánico fresco, cuya oxidación microbiana generó calor; en periodos cálidos se aplicaron riegos ligeros y frecuentes para disipar el exceso térmico, evitando el uso prolongado de películas plásticas que restringieran la ventilación (Llivicura et al., 2021).

En cuanto a la alimentación, la lombriz roja prefirió sustratos con alto contenido de materia orgánica semidegradada estiércoles, residuos hortícolas, pulpas y efluentes de molino (Rocano et al., 2021). En sistemas de alimentación única se sembraron lombrices sobre un volumen definido de compost y se cosechó una vez estabilizado; en esquemas continuos se agregaron capas sucesivas de residuos hasta alcanzar un umbral preestablecido, momento en el cual se permitió la maduración (Sherman, 2018).

La dinámica poblacional de lombrices sirvió como indicador de manejo: un aumento sostenido en la densidad sugirió condiciones óptimas, mientras que pérdidas o fugas masivas señalaron pH, temperatura o humedad fuera de rango (Abdel-Haleem et al., 2022). La literatura especializada recomienda censos rutinarios para anticipar estas desviaciones y asegurar un equilibrio entre carga alimentaria y capacidad biológica del sistema (Vásquez y Iannacone, 2014).

### **2.3 Vermicultura y su importancia agroecológica**

En el actual escenario del Antropoceno la etapa en que la actividad humana condiciona los procesos planetarios es cada vez más urgente impulsar soluciones agroecológicas que favorezcan la adaptabilidad ante el cambio global (Rocano et al., 2021). Entre estas soluciones, la vermicultura destaca como una estrategia de “bricolaje” innovadora que integra ideas preexistentes para producir transformaciones positivas en la agricultura y en los sistemas socio medioambientales (Llivicura et al., 2021; Sánchez et al., 2022).

La vermicultura implica la cría de lombrices principalmente *Eisenia fetida* con el propósito de transformar residuos orgánicos en productos valiosos como el humus y el lixiviado (Rocano

et al., 2021). Este último, también llamado “té de lombriz” o vermiwash, es un líquido drenado que contiene compuestos húmicos, enzimas como proteasas y fosfatasas, nutrientes asimilables (N, P, K) y microorganismos beneficiosos, incluyendo bacterias fijadoras y solubilizadoras de nutrientes como *Azotobacter* y *Rhizobium* (Suquilanda, 2003).

### **2.3.1 Impacto socioambiental en el Antropoceno**

En el marco del Antropoceno, donde los desafíos ecológicos requieren respuestas integradas que consideren la interdependencia entre lo social y lo ambiental, la vermicultura emerge como una alternativa tecnológica con alto potencial transformador (Lourenço, 2014). Esta práctica no solo contribuye a la gestión sostenible de residuos orgánicos, sino que también favorece la regeneración del suelo, fortalece la funcionalidad de los agroecosistemas y protege los recursos hídricos (Murrira-Soto et al., 2023; Rocano et al., 2021).

Su carácter accesible y de bajo costo la hace especialmente viable para pequeños productores y sistemas agrícolas familiares, promoviendo así procesos de transición hacia modelos alimentarios más justos, resilientes y sostenibles (Sánchez et al., 2022).

## **2.4 Sustratos en la lombricultura**

En lombricultura, el sustrato es la fuente energética y mineral para las lombrices epígeas (usualmente *Eisenia fetida*) y para la micro-biota que acompaña el proceso (Domínguez, 2004a). Su composición controla la velocidad de descomposición, la generación de compuestos húmicos y fúlvicos, la calidad del humus y del lixiviado, y la sanidad del sistema (Dominguez y Edwards, 2011).

Por ello, resulta imprescindible conocer su relación carbono/nitrógeno (C/N), el pH, la conductividad eléctrica (CE), la humedad inicial y la presencia potencial de contaminantes (sales, metales pesados, residuos farmacológicos) (Ghorbani y Sabour, 2021). La literatura especializada coincide en que el desempeño del lombricultor depende más de la calidad y el pretratamiento del sustrato que de la densidad inicial de lombrices (Blouin et al., 2013).

### **2.4.1 Criterios generales de selección de sustratos**

Un sustrato apto debe presentar C/N entre 25:1 y 35:1, pH cercano a la neutralidad (6,5–7,5), CE < 3 dS m<sup>-1</sup> y humedad alrededor de 60 % antes de la siembra (Ghorbani y Sabour, 2021). El material debe carecer de olores amoniacales o pútridos, señal de que aún libera

compuestos tóxicos. Cuando el residuo es “caliente” (gallinaza, conejo, cama de pollo), resulta necesario un precompostaje corto (10–21 días) para disipar calor y amonio, reducir patógenos y estabilizar el sustrato. Estos umbrales permiten colonizaciones rápidas y seguras y facilitan la estandarización analítica de los bioinsumos resultantes (Domínguez, 2004a).

#### 2.4.2 Sustratos de origen animal (estiércoles)

Los estiércoles de bovinos, ovinos, caprinos, equinos, aves y conejos constituyen la base más extendida por su aporte de N, P, K y microorganismos descomponedores (Kalita et al., 2017). El estiércol bovino aporta estructura y humedad equilibradas; el equino mejora la porosidad y la aireación; la gallinaza y el estiércol de conejo elevan la concentración de nutrientes, pero incrementan el riesgo de salinidad y amoníaco, por lo que requieren dilución con residuos vegetales y precompostaje riguroso (Tabla 5) (Ghorbani y Sabour, 2021).

**Tabla 5.** *Sustratos animales frecuentes en lombricultura y sus características*

Sustrato (origen animal)	N	P <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Relación C/N típica	Humedad inicial (%)	CE típica (dS m <sup>-1</sup> )	Ventajas principales
<b>Estiércol bovino</b>	1,5–2,5	0,8–1,2	1,0–2,0	15–25	70–80	2–4	Buena estructura, “templa” mezclas ricas en N; amplia disponibilidad
<b>Gallinaza (aves)</b>	3,0–6,0	2,0–4,0	2,0–3,0	8–15	50–70	5–12 (elevada)	Muy rica en N, P y K; acelera la mineralización
<b>Estiércol porcino</b>	2,0–4,0	1,5–2,5	1,5–2,5	10–18	70–85	3–6	Alta carga nutritiva y rápida degradación
<b>Estiércol equino</b>	1,0–1,5	0,5–0,8	1,0–1,5	25–35	60–75	1–3	Muy buen agente estructurante (rico en fibra), mejora la aireación
<b>Estiércol ovino/caprino</b>	2,0–3,0	1,5–2,0	2,0–3,0	12–20	60–75	3–6	Alta concentración de nutrientes; menor volumen de manejo
<b>Estiércol de conejo</b>	2,4–3,0	1,0–1,5	1,5–2,0	12–18	60–70	2–4	Nutrientes balanceados, baja humedad (fácil manejo)
<b>Lodos de corral / cama de pollo</b>	2,0–4,0	1,0–2,5	1,5–2,5	15–25	50–70	3–8	Aporta N y estructura (aserrín, cascarilla)
<b>Vaciado ruminal bovino</b>	1,5–2,5	0,5–1,0	1,0–2,0	15–25	75–85	2–5	Alta actividad microbiana inicial; acelera el arranque

Fuente: tomado de Kalita et al., (2017)

## 2.5 Lombrices que producen el humus

A nivel mundial, tres especies epigeas destacan por su alta tasa de ingestión, rápida reproducción y tolerancia a sustratos orgánicos frescos, lo que las hace ideales para la vermicompostaje (Tabla 6):

**Tabla 6.** Especies epigeas más empleadas en lombricultura para producir humus

Especie	Nombre común	Temperatura (°C)	Humedad del lecho	pH óptimo	Tiempo a madurez
<i>Eisenia fetida</i>	“Roja californiana	15–25 (tolerante 0–35)	70–85 %	6,0–8,0	40–60 días / 25–30 días; 3–10 juveniles/cocón
<i>Eudrilus eugeniae</i>	African nightcrawler	25–30 (sensible < 15)	70–90 %	6,5–7,5	30–45 días / 12–20 días; 2–4 juveniles/cocón
<i>Perionyx excavatus</i>	Indian blue	20–30 (sensible < 15)	70–85 %	6,5–7,5	30–45 días / 14–21 días; 1–3 juveniles/cocón

Fuente: tomado de Kalita et al., (2017)

### 2.5.1 Cómo elegir la especie de lombriz para producir lixiviado

Para climas templados, con amplitudes térmicas marcadas entre estaciones, la especie más robusta y fácil de manejar es *Eisenia fetida*. Su plasticidad térmica y su tolerancia a variaciones moderadas de salinidad y pH la convierten en el estándar cuando no se dispone de control estricto de la temperatura (Villalobos y González, 2013).

En cambio, en ambientes tropicales húmedos, con posibilidad de mantener temperaturas estables y altas, suelen preferirse *Eudrilus eugeniae* o *Perionyx excavatus*, ya que ambas muestran sus mejores tasas de crecimiento y reproducción en rangos cálidos; no obstante, son más sensibles al frío y a los shocks de manejo, por lo que requieren un control más fino del microclima (Contreras-Ramos et al., 2006; Maraña-Santacruz et al., 2018).

Si el objetivo productivo principal es obtener humus y lixiviado estandarizables, con un manejo sencillo y reproducible, *E. fetida* sigue siendo la opción más segura. Cuando, además del humus, interesa producir gran cantidad de biomasa de lombriz para uso como fuente proteica animal, *E. eugeniae* destaca por su mayor tamaño y rápido crecimiento, siempre que se respeten sus exigencias térmicas (Contreras-Ramos et al., 2006).

Para conversiones muy rápidas de residuos en climas cálidos y con un manejo muy cuidadoso del proceso (precompostaje, salinidad, riego y ventilación), *P. excavatus* puede rendir al máximo, aunque su tendencia a “fugarse” ante el estrés la hace menos recomendable para principiantes. La calidad del sustrato también pesa en la decisión. Con conductividades eléctricas moderadas y pH cercano a la neutralidad, cualquiera de las tres especies puede funcionar correctamente (Rincones, Zapata, Figueroa, & Parra, 2023).

Sin embargo, cuando se trabaja con mezclas potencialmente “calientes” altas en amonio y sales, como gallinaza o estiércol porcino es imprescindible un precompostaje para estabilizar el material antes de introducir las lombrices; en ese escenario, *E. fetida* suele mostrar mayor tolerancia una vez que el sustrato ha sido correctamente acondicionado (Wang et al., 2015).

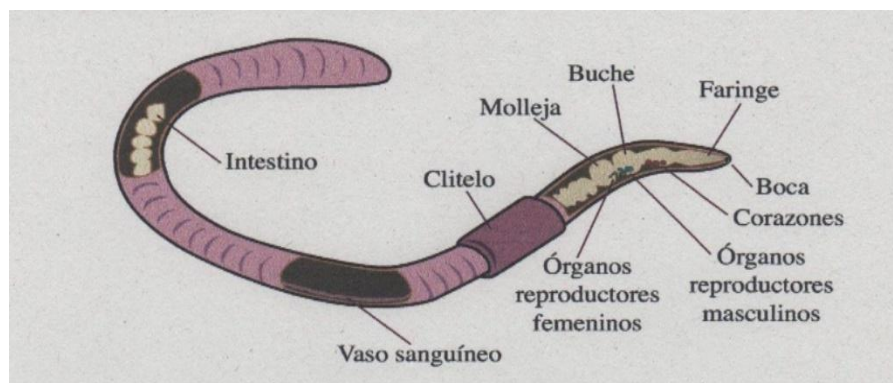
Finalmente, el nivel de tecnificación disponible termina de inclinar la balanza. En sistemas de baja o media tecnología, sin control estricto de temperatura, riego y conductividad eléctrica, *E. fetida* es la alternativa más resiliente (Rincones, Zapata, Figueroa, & Parra, 2023). En instalaciones altamente controladas, donde se monitorean y corrigen con precisión la temperatura, la humedad, el pH y la CE, se puede optar por *E. eugeniae* o *P. excavatus* para aprovechar su elevada velocidad de conversión y/o producción de biomasa (Contreras-Ramos et al., 2006).

## **2.6 Morfología, longitud y ciclo biológico de *Eisenia fetida* (lombriz roja californiana)**

Las lombrices de tierra son ingenieras ecosistémicas que, mediante la bioturbación, crean macroporos conectados, mejoran la aireación y el drenaje del suelo y depositan anualmente decenas de toneladas de deyecciones por hectárea, coprolitos que presentan más materia orgánica mineralizada, mayor concentración de N, P y K, menor acidez y mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) que el sustrato ingerido (Wang et al., 2015)

Esa mejora físico-química explica en gran parte la históricamente reconocida relación entre presencia de lombrices y fertilidad edáfica, demostrada de forma experimental desde Darwin (1881) y confirmada posteriormente por meta-análisis que cuantifican incrementos de la productividad vegetal asociados a su actividad (Rincones, Zapata, Figueroa, & Parra, 2023).

**Figura 5.** *Morfología y organización corporal de Eisenia fetida aparato digestivo*



Fuente: tomado de Ramos (2023)

### 2.6.1 Taxonomía y organización corporal

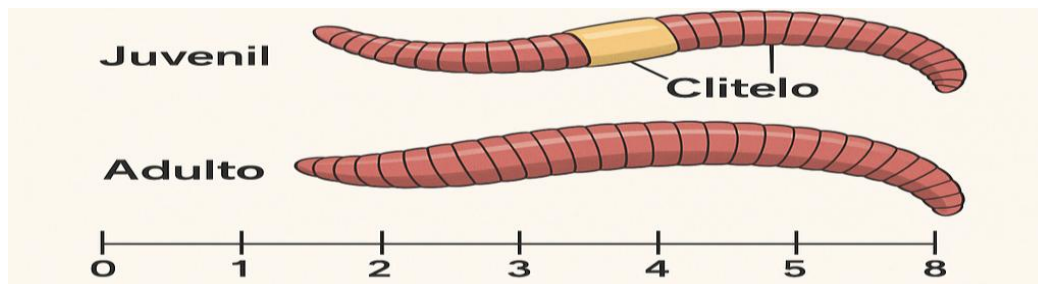
*Eisenia fetida* pertenece al filo Annelida, clase Clitellata, orden Haplotaxida y familia Lumbricidae. Se trata de un oligoqueto epígeo: vive y se reproduce en horizontes ricos en materia orgánica (camas de estiércol, residuos agroindustriales), a diferencia de las especies endógeas o anécicas que habitan y construyen galerías profundas (Domínguez y Edwards, 2011). Presenta simetría bilateral y un cuerpo cilíndrico segmentado en 80–120 metámeros; cada segmento (excepto el primero y el último) porta cuatro pares de quetas (cerdas) retráctiles dos ventrales y dos laterales, de alrededor de 1 mm de longitud, que funcionan como puntos de anclaje para la locomoción y para el apareamiento (Muraira-Soto et al., 2023).

### 2.6.2 Longitud corporal, clitelo y madurez sexual

En condiciones de cría, los adultos de *E. fetida* alcanzan longitudes típicas de 6–13 cm y pesos de 0,3–1,0 g, dependiendo de la dieta, densidad y temperatura (Domínguez y Edwards, 2011). La longitud corporal aumenta de manera rápida durante la fase juvenil y se estabiliza al aproximarse la madurez sexual, que se reconoce por la aparición del clitelo: un anillo liso, más claro, situado aproximadamente entre los segmentos 24–32 (el rango varía entre individuos), exclusivo de los adultos y esencial en la cópula, formación, lubricación y deslizamiento de los cocones (Alcívar-Cedeño et al., 2016).

En términos prácticos, longitud, peso fresco y desarrollo del clitelo son indicadores morfo-funcionales utilizados para estimar edad fisiológica, estado nutricional y condición reproductiva en estudios de vermicultura (Muraira-Soto et al., 2023).

**Figura 6.** *Lombriz roja: longitud corporal, clitelo y madurez sexual (juvenil vs. adulto)*



Fuente: tomado de Ramos (2023)

### 2.6.3 Ciclo reproductivo y tasas de crecimiento

*E. fetida* es hermafrodita con fecundación cruzada; el acoplamiento puede ocurrir con frecuencia semanal bajo condiciones óptimas (15–25 °C, 70–85 % de humedad del sustrato, pH 6–8). Cada cópula da lugar a  $\approx 2$  cocones, y de cada cocón eclosionan 3–10 juveniles tras 25–30 días de incubación (Wang et al., 2015). Los juveniles alcanzan la madurez sexual en 40–60 días, momento en el que su longitud y masa corporal se aproximan a las de un adulto funcional (Domínguez y Edwards, 2011). Este ciclo corto y la alta tasa de reproducción explican por qué *E. fetida* es la especie dominante en sistemas de vermicompostaje a escala productiva (Römbke et al., 2016).

### 2.6.4 Ambiente térmico y estabilidad microclimática

La cría eficiente de *Eisenia fetida* exige un ambiente mesófilo, con temperaturas entre 15 y 25 °C. En este rango las lombrices presentan máxima ingesta, reproducción acelerada y baja mortalidad (Vásquez y Iannacone, 2014). Por encima de 30 °C o por debajo de 10 °C el metabolismo se deprime, aumentan las bajas y disminuye la producción de cocones. Para amortiguar oscilaciones térmicas se recomienda trabajar bajo sombra permanente (natural o malla sombra  $\geq 50$  %) y asegurar ventilación cruzada que evite el sobrecalentamiento del lecho (Römbke et al., 2016).

### 2.6.5 Humedad del lecho y riego

El contenido hídrico óptimo del sustrato se mantiene entre 70 y 85 %. Esta franja garantiza agua suficiente para la respiración cutánea y el tránsito de los microorganismos, sin comprometer la aireación (Rincones, Zapata, Figueroa, & Parra, 2023). La “prueba del puño” es un método práctico: al comprimir el material deben aparecer unas pocas gotas, nunca un goteo continuo. El riego, con agua no clorada, se ajusta cada 2–3 días o antes si el tacto indica

sequedad; en climas fríos pueden presentarse excesos por condensación, lo que obliga a airear y mejorar el drenaje (Muraira-Soto et al., 2023).

### **2.6.6 pH, conductividad eléctrica y oxigenación**

El pH ideal oscila entre 6,5 y 7,5 (aceptable 6,0–8,0). Valores fuera de ese rango afectan el microbiota beneficioso y el confort fisiológico de las lombrices. La conductividad eléctrica (CE) debe ser  $< 3 \text{ dS m}^{-1}$  al momento de introducir el inóculo, ya que salinidades altas producen estrés osmótico y frenan la reproducción (Vásquez y Iannacone, 2014). Paralelamente, el lecho debe permanecer bien aireado: la compactación o el exceso de agua inducen anaerobiosis, con generación de olores a amoníaco, sulfuros o metano, signos inequívocos de que se requiere mezclar, airear y drenar (Cando et al., 2024).

### **2.6.7 Alimentación y ritmo de carga**

La alimentación semanal, regular y homogénea estabiliza el microbiota del lecho y previene picos de temperatura o amonio. Como guía, se puede ofrecer 0,5–1,0 veces el peso fresco de las lombrices por día, ajustando según el consumo real (Andrade et al., 2025). Es preferible fraccionar aportes y evitar “golpes” de gallinaza u otros materiales con alta CE, que deben usarse solo como correctores nutricionales y siempre precompostados (Maraña-Santacruz et al., 2018).

## **2.7 Lixiviados orgánicos: clasificación, composición y relevancia agroecológica**

Los lixiviados orgánicos son líquidos ricos en nutrientes y microorganismos beneficiosos, generados durante el proceso de descomposición aeróbica de materia orgánica (Vergara, 2019). Estos líquidos son altamente valorados en la agricultura ecológica por su capacidad para mejorar la fertilidad del suelo, estimular la actividad microbiana, y reducir la dependencia de insumos químicos (Venegas-Vera y Pincay-Menéndez, 2024). Su uso responde a los principios de la agroecología, al permitir la valorización de residuos y el cierre de ciclos de nutrientes (Chávez et al., 2020).

### **2.7.1 Clasificación de los lixiviados**

Los lixiviados pueden clasificarse en función del origen del material compostado y del proceso de obtención:

1. **Lixiviado de compost:** Se genera espontáneamente durante el compostaje aeróbico, especialmente cuando el contenido de humedad es alto (Rocano et al., 2021). Contiene nutrientes solubles, ácidos húmicos y compuestos orgánicos en descomposición (Vergara, 2019).
2. **Té de compost (compost tea):** Es una infusión obtenida al sumergir compost maduro en agua, frecuentemente aireada y enriquecida con fuentes energéticas (melaza, harinas vegetales), lo cual incrementa la proliferación de microorganismos benéficos (Larco, 2004).
3. **Lixiviado de vermicompost:** Proveniente del vermicompostaje, es el líquido que percola por el sustrato digerido por las lombrices (*Eisenia fetida*), destacándose por su alta carga microbiana, fitohormonas y nutrientes disponibles (Chávez et al., 2020).
4. **Extracto fermentado:** Obtenido mediante fermentación controlada de residuos vegetales o estiércol, que también puede tener aplicaciones bioestimulantes (Hanc y Pliva, 2013).

### 2.7.2 Composición y propiedades

El lixiviado derivado del vermicompost muestra una alta concentración de macronutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, además de micronutrientes esenciales como calcio, boro, hierro, manganeso, zinc y cobre (Rocano et al., 2021). Su composición varía según el tipo de sustrato utilizado y las condiciones del proceso.

Diversos estudios, como los de Casco Chávez et al., (2020); Hanc y Pliva, (2013) evidencian que los lixiviados obtenidos de estiércol ovino o bovino poseen concentraciones relevantes de potasio (hasta 2,4 g/L) y nitrógeno (61 mg/L), lo que los convierte en fertilizantes líquidos de gran valor. Además, estos extractos presentan efectos benéficos en la supresión de patógenos del suelo, estimulación radicular y mejora en la absorción de nutrientes (Maraña-Santacruz et al., 2018).

**Tabla 7.** Concentración de nutrientes en lixiviados de vermicompost

Tipo de vermicompost	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	B (mg/L)
Estiércol de vaca	800	600	600	71	0.151
Residuos vegetales	700	500	400	94	0.182
Estiércol de vaca + residuos vegetales	700	500	500	85	0.191

Fuentes: (Maraña-Santacruz et al., 2018).

La composición química del humus varía según el tipo de residuo empleado y las condiciones de manejo, aunque por lo general contiene elementos esenciales como carbono, oxígeno y nitrógeno, así como nutrientes minerales en diferentes concentraciones (Maraña-Santacruz et al., 2018). Entre estos se incluyen macronutrientes como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K) y fósforo (P), así como micronutrientes esenciales como hierro (Fe), manganeso (Mn) y zinc (Zn), cuya disponibilidad dependerá principalmente de la materia prima y del grado de humedad al final del proceso (Cruz-Hernández et al., 2015).

## **2.8 Morfología y taxonomía de *Trichoderma spp.***

*Trichoderma* corresponde a un género de hongos imperfectos que no presentan reproducción sexual conocida (Pineda-Insuasti et al., 2017). Se localiza en suelos agrícolas, ambientes forestales y sobre madera en descomposición, su presencia suele estar asociada a sitios ricos en materia orgánica y humedad (Pineda-Insuasti et al., 2017). Este género ha demostrado gran adaptabilidad, pues sus cepas toleran amplios rangos de pH, temperaturas extremas y salinidad, la mayoría de las especies son saprófitas, es decir, descomponen materia orgánica y conviven en el suelo sin generar daños a otras especies (Chávez et al., 2020).

Taxonómicamente, *Trichoderma* se ubica dentro de la subdivisión Deuteromycotina, clase *Hyphomycetes* y familia *Moniliaceae*. Presenta conidióforos erectos o rastreros, con estructuras ramificadas que desarrollan conidias subglobosas o elipsoidales (Molina-Lores et al., 2022). Las colonias crecen rápidamente, mostrando una coloración que cambia de blanco a verde o verde amarillento con el tiempo debido a la producción abundante de esporas (Michel-Aceves et al., 2008).

### **2.8.1 Características funcionales y ecológicas de *Trichoderma spp.***

Las especies de *Trichoderma* destacan como agentes de control biológico altamente eficaces frente a diversos fitopatógenos del suelo (Sánchez, 2025). Su éxito se debe a varios mecanismos de acción, como el micoparasitismo, la competencia por nutrientes y espacio, la producción de antibióticos y metabolitos secundarios, así como la estimulación del crecimiento vegetal (Lugo-Soto et al., 2013).

En el entorno agrícola, *Trichoderma spp.* aparece con frecuencia en zonas donde existe abundante materia orgánica o residuos vegetales en descomposición (Molina-Lores et al., 2022). Su desarrollo se ve favorecido por la actividad radicular densa, lo que permite una rápida

colonización. La mayoría de las cepas se comportan como anaerobios facultativos, lo cual les permite adaptarse a diversas condiciones ambientales (Abhishek Tripathi et al., 2010).

Las esporas de *Trichoderma* presentan alta viabilidad, lo que facilita su uso en formulaciones comerciales de biocontrol. Estas cepas degradan compuestos orgánicos complejos como celulosa, almidón y pectinas gracias a su arsenal enzimático compuesto por amilasas, celulasas, quitinasas, entre otras enzimas hidrolíticas (Benítez et al., 2004).

Este hongo mantiene un amplio rango de tolerancia térmica y ecológica, siendo capaz de desarrollarse en diversas condiciones agroclimáticas, los valores óptimos para su crecimiento y esporulación rondan los 25 °C. Estudios recientes recomiendan alternar periodos de luz y oscuridad para favorecer la colonización eficiente del hongo sobre sustratos sólidos (Shoresh et al., 2010).

**Figura 7.** Estructura microscópica y cultivo de *Trichoderma harzianum*



**Fuente:** Tomado de Llivicura et al. (2021)

### 2.8.1 Aplicaciones en la agricultura ecológica

El uso de *Trichoderma spp.* en la agricultura sostenible representa una alternativa eficaz y ambientalmente segura frente al uso de agroquímicos (Llivicura et al., 2021). Se ha demostrado su eficacia en cultivos como tomate, banano, maíz y otros sistemas hortícolas (Cano, 2011). Además, se ha empleado en vermicompostaje para potenciar la descomposición de materia orgánica y enriquecer el lixiviado con metabolitos de interés agrícola (Hjeljord et al., 1998).

Dadas sus propiedades, este hongo no solo actúa como protector vegetal, sino también como bioestimulante del crecimiento radicular, incrementando la absorción de nutrientes y promoviendo una mayor productividad del cultivo sin comprometer la salud del agroecosistema (Llivicura et al., 2021).

**Tabla 8.** Usos principales de *Trichoderma spp.* en los sistemas agrícolas

<b>Uso principal</b>	<b>Descripción</b>	<b>Beneficio agronómico</b>
<b>Control biológico de patógenos</b>	Compite con hongos fitopatógenos como <i>Fusarium</i> , <i>Rhizoctonia</i> , <i>Sclerotinia</i> y <i>Pythium</i> .	Reduce el uso de fungicidas químicos y las pérdidas por enfermedades.
<b>Estimulador del crecimiento vegetal</b>	Libera compuestos como auxinas, citoquininas y gibberelinas.	Promueve la elongación radicular, desarrollo foliar y biomasa.
<b>Mejorador de disponibilidad de nutrientes</b>	Solubiliza fósforo, zinc y hierro, además de mejorar la absorción de nitrógeno.	Mejora la nutrición vegetal y la eficiencia en el uso de fertilizantes.
<b>Inducción de resistencia sistémica</b>	Activa mecanismos de defensa en la planta mediante la producción de elicitores y enzimas.	Aumenta la tolerancia frente a estreses bióticos y abióticos.
<b>Biorremediación del suelo</b>	Degrada compuestos tóxicos y mejora la calidad biológica del suelo.	Contribuye a la regeneración de suelos contaminados o degradados.
<b>Reducción de estrés abiótico</b>	Favorece la tolerancia a condiciones de salinidad, sequía o temperaturas extremas.	Mejora el rendimiento en condiciones adversas.
<b>Aumento en la producción de biomasa</b>	Estimula la actividad enzimática del suelo y la formación de raíces finas.	Incrementa la productividad total del cultivo.
<b>Compatibilidad con otros bioinsumos</b>	Puede combinarse con micorrizas, bacterias PGPR y lixiviado de lombriz.	Favorece sinergias en sistemas agroecológicos.

**Fuente:** adaptado de Cano (2011).

## TRABAJOS RELACIONADOS

Rodríguez-Fernández (2017), evaluó el efecto de tres dosificaciones del lixiviado de humus de lombriz (150, 300 y 450 mL por 16 L de agua), aplicadas por vía foliar en el cultivo de habichuela (*Phaseolus vulgaris* L.), en comparación con un tratamiento testigo sin aplicación. Los resultados mostraron que el lixiviado influyó de forma significativa en el crecimiento vegetativo, la producción y el rendimiento agrícola. La dosis de 450 mL resultó ser la más efectiva, al generar mayores alturas de planta, número de vainas y peso de grano. Además, el análisis económico evidenció que, aunque los costos se incrementaron con dosis más altas del bioproducto, las utilidades también se elevaron debido al aumento en la productividad, lo cual se tradujo en un mayor margen de rentabilidad para los agricultores.

Por su parte, Conde et al. (2017), analizaron el uso de solución de humus de lombriz como fertilizante foliar en dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). En su estudio, aplicaron diferentes dosis del biofertilizante, observando una respuesta agronómica favorable en ambas variedades, destacándose la dosis de 5 litros por parcela. Esta aplicación generó un incremento en la altura de las plantas, el desarrollo de la panoja, y un mayor rendimiento por planta. Además, los autores destacaron la facilidad de implementación de este insumo orgánico, así como su aporte a la rentabilidad del sistema productivo, al permitir un retorno de capital favorable y beneficios económicos sostenibles para los productores.

Se realizó una investigación en un suelo de tipo Fluvisol para evaluar el efecto de la aplicación foliar de cuatro dosis de lixiviado de humus de lombriz sobre el crecimiento, la productividad y el impacto económico del cultivo de habichuela (*Vigna unguiculata* L. Walp.), variedad Lina. Los resultados indicaron que el uso del bioproducto ejerció un efecto positivo significativo en los indicadores agronómicos evaluados, tales como altura de planta, número de vainas por planta, peso de grano y rendimiento total. La comparación con el testigo sin aplicación reveló que el mejor desempeño agronómico y económico se obtuvo con la dosis de 450 mL por aplicación, la cual promovió mayores rendimientos. Desde el punto de vista económico, aunque los costos de producción aumentaron con el uso de mayores concentraciones del lixiviado, las utilidades también se incrementaron de forma proporcional al rendimiento alcanzado. Esto demuestra que la aplicación escalonada del lixiviado de lombriz no solo mejora la eficiencia productiva, sino que también contribuye a aumentar la rentabilidad del cultivo, validando su uso como estrategia bioeconómica sostenible (Rodríguez-Fernández, 2017).

Wonglom et al. (2024), elaboraron un vermicompost enriquecido con *Trichoderma asperelloides*, evaluando sus efectos en plantas de arroz (*Oryza sativa*). El lixiviado resultante fue aplicado al suelo y originó un incremento significativo en la actividad de enzimas de defensa, tales como peroxidasa (POD) y polifenol oxidasa (PPO). Las plantas tratadas exhibieron mayor longitud de raíces y brotes, mejor contenido de clorofila y reducción de la incidencia de la enfermedad de la pandereta (causada por *Rhizoctonia solani*). Además, se comprobó la viabilidad prolongada de *Trichoderma* en el vermicompost por hasta seis meses, con una densidad de  $1.2\text{--}2.8 \times 10^7$  CFU/mL. Este enfoque demuestra que el lixiviado micorrícico puede actuar como bioestimulante natural y agente de inducción sistémica de resistencia frente a patógenos.

Ma et al. (2025), desarrollaron un lixiviado de vermicompost enriquecido con nanosilicio e inoculado con *Trichoderma harzianum* (NSVCL) para evaluar su efecto en el crecimiento de ginseng (*Panax quinquefolius*) en sistemas forestales. Su aplicación mejoró notablemente la actividad de enzimas del suelo, como ureasa y fosfatasa, y promovió la absorción de nutrientes, síntesis de fitohormonas y desarrollo radicular. Los brotes y raíces tuvieron mayor biomasa y vigor, confirmando que esta combinación actúa como un potente bioestimulante que mejora la calidad del cultivo bajo condiciones subóptimas de suelo.

Jarquín-Campos & Urbina-Correa, (2025), desarrolló una investigación en el Centro Experimental Las Mercedes de la Universidad Nacional Agraria de Managua entre noviembre de 2023 y marzo de 2024, con el propósito de evaluar el comportamiento productivo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) bajo diferentes condiciones ambientales y alimenticias. El estudio se estructuró bajo un arreglo bifactorial en un diseño de bloques completamente al azar, donde el factor A correspondió al ambiente (luz y sin luz) y el factor B a los sustratos alimenticios empleados. Se evaluaron seis tratamientos con tres repeticiones, utilizando estiércoles bovinos en distintos grados de maduración: fresco (1–9 días), maduro (10–18 días) y envejecido (más de 20 días). Los resultados evidenciaron que el tratamiento con estiércol envejecido sin exposición a la luz presentó el mayor rendimiento productivo y mejor adaptación biológica, lo que demuestra la influencia significativa de las condiciones ambientales sobre la eficiencia vermicompostadora. En términos de producción de humus, los tratamientos con estiércol fresco sin luz y maduro con luz alcanzaron valores similares (4,39 kg), mientras que el tratamiento con estiércol envejecido y sin luz fue el más eficiente globalmente. Este antecedente sustenta la relevancia de estudiar la calidad del sustrato y su

interacción con factores biológicos o microbianos, como la inoculación de *Trichoderma spp.*

## CAPITULO III

### 3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA O PROCESO

##### 3.1.1. Antecedentes

La presente propuesta se fundamentó en la incorporación de cepas del género *Trichoderma* en sustratos orgánicos elaborados a partir de residuos de mercado y estiércol bovino, con el propósito de fortalecer la eficiencia biológica en la obtención de lixiviado de lombriz, considerado un fertilizante líquido de alto valor agronómico (Venegas-Vera & Pincay-Menéndez, 2024).

Este tipo de sustratos ofrece una alternativa ecológica y económica para el manejo de desechos biodegradables, al transformarlos en materiales ricos en microorganismos activos que mejoran la estructura y fertilidad del suelo (Alcívar-Cedeño et al., 2016). De acuerdo con lo expuesto por Santana Díaz & Castellanos González (2018), las especies de *Trichoderma* constituyen uno de los microorganismos más empleados en el control biológico de patógenos vegetales, gracias a su crecimiento acelerado, su inocuidad ambiental y su capacidad para adaptarse a distintos tipos de materia orgánica.

Además de su función antagonica frente a hongos dañinos, este hongo benéfico estimula el desarrollo radicular, originando sistemas de raíces más vigorosos y profundos que favorecen la absorción de nutrientes y la resistencia al estrés hídrico. Dichas cualidades justifican su inclusión en prácticas agroecológicas y procesos de compostaje avanzado (Alcívar-Cedeño et al., 2016).

Bajo esta premisa, el proyecto planteó la integración del *Trichoderma* al sistema de vermicompostaje como estrategia para intensificar la actividad microbiana del sustrato y mejorar las propiedades fisicoquímicas del lixiviado obtenido. Este enfoque promueve una agricultura sostenible, basada en la valorización de los desechos orgánicos locales y la producción de bioinsumos que fortalecen la fertilidad natural de los suelos y reducen la dependencia de fertilizantes sintéticos.

## **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 realizó mediante la construcción de camas de lombricultura de 1 m<sup>2</sup>, diseñadas con estructuras metálicas galvanizadas y cubiertas tipo Novacero, con el propósito de garantizar durabilidad, estabilidad y condiciones óptimas para el desarrollo de *Eisenia fetida*. Cada cama fue equipada con un sistema de drenaje controlado que permitió recolectar el lixiviado generado por la actividad biológica de las lombrices, asegurando uniformidad en la obtención de las muestras y en la calidad del bioproducto final.

El estudio se estructuró con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno, conformando un total de doce unidades experimentales. Los sustratos empleados fueron: estiércol bovino, gallinaza, residuos vegetales y una mezcla de los tres materiales, todos inoculados con *Trichoderma spp.* a una dosis de 3 g L<sup>-1</sup>, aplicada en la segunda y cuarta semana del ciclo. Esta práctica permitió favorecer la colonización del hongo en el sustrato, potenciar la actividad enzimática responsable de la descomposición de la materia orgánica y mejorar la liberación de nutrientes en el lixiviado, incrementando su valor biológico y agronómico.

En la selección de materiales se priorizó el uso de insumos resistentes a la humedad y a la corrosión, tales como tubos y correas galvanizadas, varillas de refuerzo, tornillos autoperforantes y láminas metálicas protectoras. Además, se incorporaron instrumentos de monitoreo ambiental, como termómetros e higrómetros digitales, para controlar temperatura y humedad del sustrato, variables determinantes en la eficiencia del proceso vermicompostador. La integración de estos elementos permitió establecer un sistema tecnológicamente eficiente, funcional y sostenible, orientado a la producción de lixiviado de alta calidad biológica.

Los resultados obtenidos impulsan la creación de biofertilizantes líquidos de bajo costo y alto rendimiento, los cuales pueden ser utilizados en los cultivos de la zona de El Carmen, mejorando la fertilidad del suelo, estimulando el crecimiento vegetal y reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos.

En consecuencia, esta innovación tecnológica contribuye directamente al incremento de la productividad agrícola local, promueve la sostenibilidad de los sistemas de cultivo y consolida el compromiso institucional con la investigación aplicada y la conservación del medio

ambiente.

**Figura 8.** *Acondicionamiento del terreno y conformación de la base estructural para el sistema del lombricario*



Fuente: Medranda (2026)

**Figura 9.** *Colocación de la cubierta metálica en la estructura del sistema del lombricario*



Fuente: Medranda (2026)

**Figura 10.** *Diseño y elaboración de las camas del lombricario con sus respectivas comparticiones para cada tratamiento evaluado*



Fuente: Medranda (2026)

**Figura 11.** *Pesaje de lombrices para la inoculación de 1 kg por tratamiento experimental*



Fuente: Medranda (2026)

**Figura 12.** *Aplicación de la capa de sustrato orgánico en los tratamientos*



Fuente: Medranda (2026)

**Figura 13.** *Humedecimiento inicial de las camas de vermicompostaje*



Fuente: Medranda (2026)

**Figura 14.** *Aplicación de la capa de sustrato orgánico en los tratamientos*



Fuente: Medranda (2026)

### **3.2.3. Descripción funcional de los componentes**

- **Electrodo ESAB 6011 de 1/8"**

Se utilizó en el proceso de soldadura para unir los tubos y correas galvanizadas, generando uniones firmes y resistentes. Este tipo de electrodo garantiza una estructura sólida capaz de soportar las vibraciones, el peso del sustrato y las tareas operativas realizadas durante la producción del lixiviado de lombriz.

- **Spray de aluminio**

Se aplicó sobre las uniones metálicas soldadas como recubrimiento protector contra la humedad y la corrosión. Este acabado contribuyó a incrementar la durabilidad de la estructura, evitando el deterioro del metal en un ambiente de trabajo húmedo y biológicamente activo.

- **Disco de corte Norton de 7"**

Herramienta utilizada para realizar cortes precisos en tubos y correas metálicas durante el proceso de armado. Su empleo permitió ajustar las dimensiones de los componentes según el diseño del lombricario, asegurando uniformidad y precisión estructural.

- **Varilla Adelca de 12 mm**

Se incorporó como elemento de refuerzo en las uniones y puntos de soporte de las camas. También se utilizó para fijar los bordes superiores y sostener el plástico impermeable que recubre el interior de los compartimientos, evitando filtraciones y garantizando la firmeza de los módulos donde se alojó el sustrato inoculado.

- **Cemento Rocafuerte**

Fue empleado para la construcción de las bases y el piso del sistema de lombricultura. Este material proporcionó una superficie sólida, nivelada y estable, evitando el hundimiento de las camas debido al peso del sustrato y la humedad constante presente durante el proceso de fermentación y lixiviación.

- **Ripio chispo de ¾ de pulgada (m<sup>3</sup>)**

Se utilizó tanto como agregado grueso en la mezcla de hormigón como en la capa de drenaje inferior del sistema. Su granulometría permitió un adecuado flujo del lixiviado y evitó la acumulación de agua, manteniendo un ambiente aireado que favoreció la descomposición del material orgánico y la actividad microbiana del *Trichoderma*.

- **Arena (m<sup>3</sup>)**

Formó parte de la mezcla de hormigón junto con el ripio y el cemento, aportando una textura homogénea y compacta. Además, mejoró la permeabilidad de la base, facilitando el drenaje y evitando el exceso de humedad que podría afectar el equilibrio del sistema de vermicompostaje.

- **Tornillo autoperforante de 2"**

Se utilizó para fijar las láminas del techo y unir los componentes secundarios de la estructura. Su diseño autoperforante permitió una instalación eficiente, garantizando un sellado firme que protege las camas de la exposición directa al agua y del deterioro por condiciones externas.

- **Correa galvanizada de 60×2 mm**

Fue implementada como refuerzo adicional en los bordes intermedios de las camas y como soporte del plástico impermeable. Este elemento permitió mantener la integridad del diseño y prevenir deformaciones durante las actividades de riego, remoción del sustrato e inoculación del *Trichoderma* en los tratamientos evaluados.

- **Tubo cuadrado galvanizado de 75×20 mm**

Se utilizó como componente estructural principal del lombricario. Su función fue proporcionar soporte y estabilidad al sistema, resistiendo el peso del sustrato orgánico húmedo, las lombrices y los materiales empleados en la inoculación del *Trichoderma*. El galvanizado aporta una capa protectora contra la oxidación, lo que prolonga la vida útil de la estructura en condiciones de alta humedad.

- **Correa galvanizada de 80×2 mm**

Fue empleada como refuerzo lateral de las camas de cría, brindando firmeza y evitando la deformación del armazón metálico durante el manejo del material orgánico. Su correcta disposición aseguró la estabilidad del sistema durante las labores de inoculación y mantenimiento del lombricario.

- **Techo Novacero de 0,30×5,00 m**

Sirvió como cubierta protectora del área de lombricultura. Su principal función fue resguardar las camas de la radiación solar directa y de las precipitaciones, manteniendo un ambiente controlado de temperatura y humedad que favoreció la actividad biológica del *Trichoderma* y el bienestar de las lombrices durante la descomposición de los residuos orgánicos.

- **Ahorro de agua**

Se espera lograr una reducción significativa en el consumo de agua utilizada en la producción de biofertilizantes líquidos, gracias a la capacidad del *Trichoderma* para mejorar la estructura y retención hídrica del sustrato orgánico. La inoculación de este hongo favorece la formación de agregados estables y una mayor porosidad en el material, permitiendo conservar la humedad durante más tiempo dentro de las camas del lombricario. Este efecto reduce la frecuencia de riego y optimiza el uso del recurso hídrico, alcanzando un ahorro proyectado del 25 al 35 % en comparación con sistemas tradicionales sin inoculación microbiana.

- **Beneficios sociales**

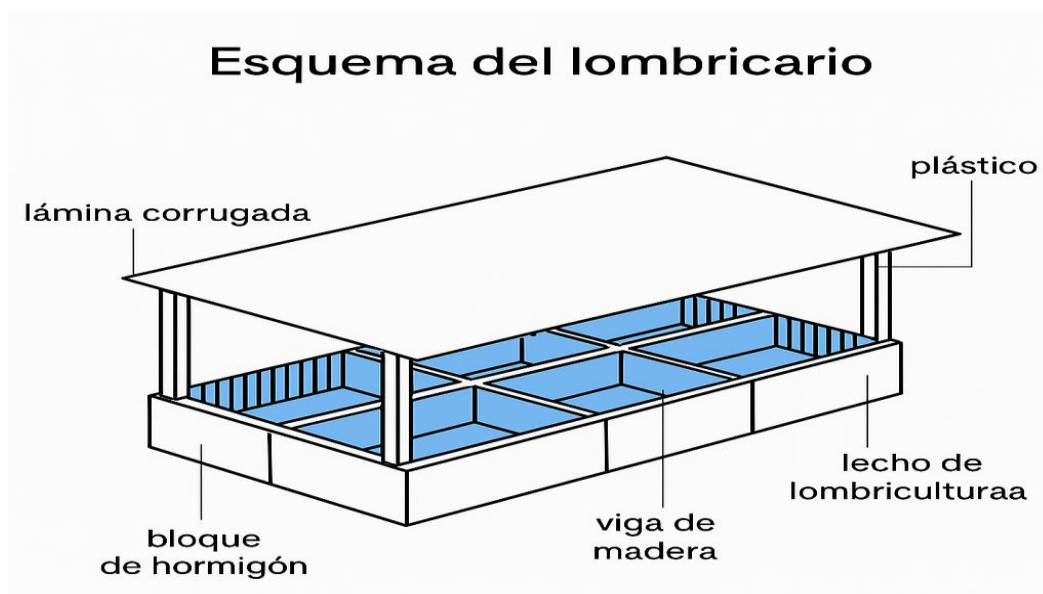
La implementación del sistema de lombricultura inoculado con *Trichoderma* fortalece las capacidades técnicas y ambientales de la comunidad agrícola local, al promover prácticas sostenibles de manejo de residuos y producción de bioinsumos.

Este proceso fomenta la capacitación de productores en el uso de microorganismos benéficos, el aprovechamiento de desechos de mercado y la producción autónoma de fertilizantes orgánicos líquidos. Además, contribuye al desarrollo de una cultura agroecológica participativa, generando empleo local, reduciendo costos de producción y mejorando la seguridad alimentaria mediante el uso de tecnologías limpias y regenerativas.

### 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 15.** Esquema de la implementación del lombricario



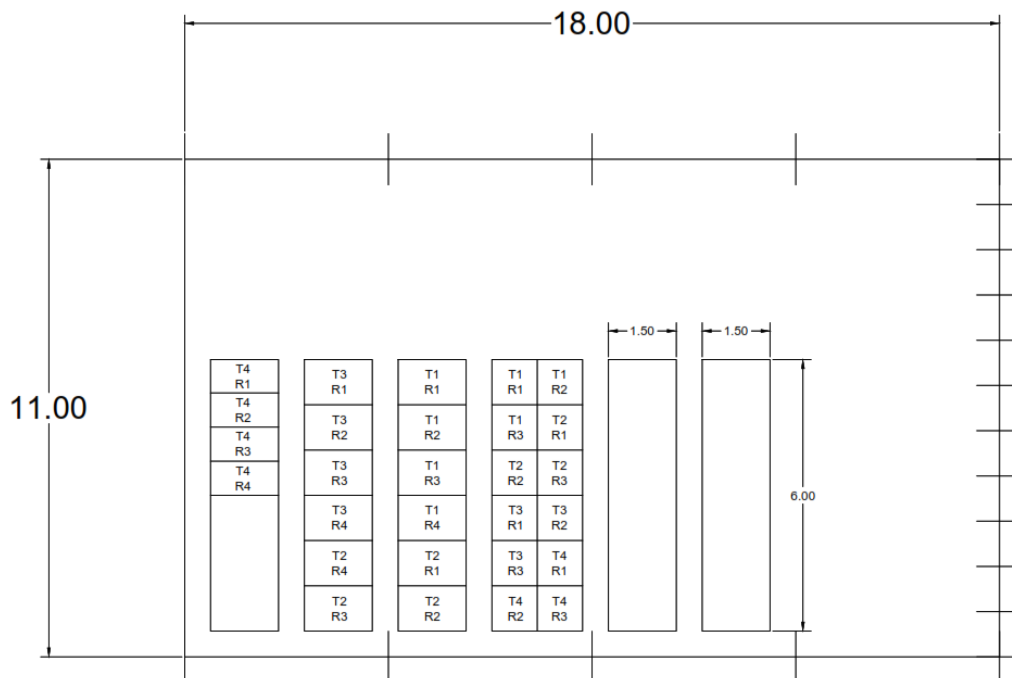
### 3.2.5. Desglose de gastos

La implementación del sistema de lombricultura se realizó sobre camas previamente construidas, adecuadas para el manejo de *Eisenia fetida*. En esta fase, la intervención consistió en la instalación de una estructura metálica superior elaborada con tubos y correas galvanizadas, destinada a conformar el techo protector del área experimental.

Dicha estructura fue cubierta con láminas tipo Novacero, que proporcionaron sombra, ventilación y protección contra la lluvia, asegurando condiciones estables de temperatura y humedad para el desarrollo de las lombrices y la producción continua de lixiviado.

Para la recolección del lixiviado, se implementó un sistema artesanal conformado por mangueras conectadas al drenaje inferior de las camas, que dirigían el flujo hacia botellas plásticas utilizadas como recipientes de almacenamiento. Este método permitió obtener el lixiviado de manera eficiente y económica, manteniendo la pureza del bioproducto sin pérdidas de material.

**Figura 16.** *Diseño y distribución espacial del lombricario experimental con cuatro tratamientos (T1–T4) y cuatro repeticiones*



El costo total de implementación de la estructura y sistema complementario ascendió a USD 2 150,00, distribuido en cuatro rubros principales. La estructura metálica representó la mayor inversión con USD 1 321,79 (61,45 %), correspondiente a la adquisición de tubos,

correas galvanizadas, varillas y accesorios de soporte. En segundo lugar, la cubierta o protección superior, conformada por las láminas Novacero, alcanzó USD 759,24 (35,31 %), garantizando la durabilidad del sistema. Los consumibles y fijaciones como electrodos, tornillos autoperforantes, discos de corte y pintura de aluminio sumaron USD 61,44 (2,86 %), mientras que los materiales de obra menor (cemento, ripio y arena) representaron USD 30,48 (1,38 %) del total.

En conjunto, se evidencia que más del 96 % de la inversión se destinó a materiales estructurales de larga vida útil, mientras que el 4 % restante correspondió a insumos complementarios necesarios para la instalación y operación del sistema. Esta inversión permitió optimizar el área experimental de lombricultura, fortaleciendo las condiciones de producción del lixiviado y garantizando la sostenibilidad del proceso en la Granja Experimental Río Suma.

**Tabla 9.** Desglose de costos de adquisición e implementación de las camas de lombricultura con *Eisenia fetida*

<b>Concepto</b>	<b>Comprobante (fecha)</b>	<b>Valor (USD)</b>
Tubo cuadrado galvanizado 75×20	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	377,85
Correa galvanizada 80×2	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	189,3
Techo Novacero 0.30×5.00 m	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	759,24
Electrodo ESAB 6011 1/8	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	18,24
Spray aluminio	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	6,73
Disco de corte Norton 7"	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	22,56
Varilla Adelca de 12	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	11,43
Cemento Rocafuerte (saco)	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	30,48
Ripio chispo ¾ (m³)	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	12,38
Arena (m³)	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	8,57
Tornillo autoperforante 2"	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	13,91
Correa galvanizada 60×2	Factura 001-020-00011809 (25/08/2025)	444,84
<b>Subtotal</b>		<b>1 895,53</b>
<b>IVA e impuestos (15 %)</b>		<b>254,47</b>
<b>TOTAL</b>		<b>2 150,00</b>



### 3.2.6. Cronograma

Tabla 10. Cronograma de la Primera Fase

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

Tabla 11. Cronograma de la segunda Fase

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

### 3.3. Plan de implementación

La implementación del sistema de lombricultura se desarrolló en la Granja Experimental de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, bajo condiciones controladas de humedad y temperatura. Inicialmente, se construyeron doce camas de lombricultura de 1 m<sup>2</sup> cada una, utilizando estructuras metálicas galvanizadas y cubiertas tipo Novacero, con el fin de proteger el sistema de la radiación solar directa y de las precipitaciones. Cada cama se dotó de un sistema de drenaje inferior con pendiente regulada, diseñado para recolectar el lixiviado generado por la actividad biológica de *Eisenia fetida* sin pérdidas de material sólido.

Una vez construidas las camas, se procedió a su llenado con los diferentes sustratos orgánicos (estiércol bovino, gallinaza, residuos vegetales y mezcla de los tres), previamente homogeneizados y humedecidos al 70 % de capacidad de campo. La inoculación de *Trichoderma spp.* se realizó mediante aspersión líquida directa, aplicando una suspensión conidial de 3 g L<sup>-1</sup> en la segunda y cuarta semana del ensayo, garantizando la colonización uniforme del hongo en todo el sustrato.

Posteriormente, se incorporaron las lombrices *Eisenia fetida* en densidad estándar, asegurando su adaptación al medio y su distribución homogénea dentro del material orgánico. Durante el desarrollo del proceso, se ejecutaron monitoreos periódicos de temperatura y humedad del sustrato cada 72 h, utilizando termómetros y higrómetros digitales.

El lixiviado se recolectó semanalmente a través del sistema de drenaje inferior y se cuantificó su volumen total (mL kg<sup>-1</sup>) por tratamiento. De manera complementaria, se registraron las variables biológicas asociadas a la actividad de *Eisenia fetida*, incluyendo el peso fresco promedio (g kg<sup>-1</sup>), la longitud corporal (cm) y el número total de lombrices (ind kg<sup>-1</sup>) presentes en cada unidad experimental, con el fin de evaluar su crecimiento y comportamiento poblacional. El manejo operativo incluyó la aireación semanal de los sustratos para mantener condiciones adecuadas de oxigenación y evitar la compactación del material, lo que garantizó un entorno óptimo para el desarrollo y actividad biológica de las lombrices.

La operación del sistema implicó inspecciones visuales continuas de la vitalidad de las lombrices, limpieza del área de drenaje, reposición de humedad y control de posibles contaminantes externos. De forma semanal se verificó la integridad estructural de las camas, el correcto funcionamiento del drenaje y la pureza del lixiviado recolectado.

Este plan garantizó la eficiencia biológica del proceso, la estabilidad de las condiciones experimentales y la obtención de un biofertilizante líquido de alta calidad, aplicable a los sistemas agrícolas de la región. La puesta en marcha de este sistema dentro de la universidad no solo permitió generar resultados experimentales relevantes, sino también ofrecer una alternativa sostenible para el aprovechamiento de residuos agropecuarios locales.

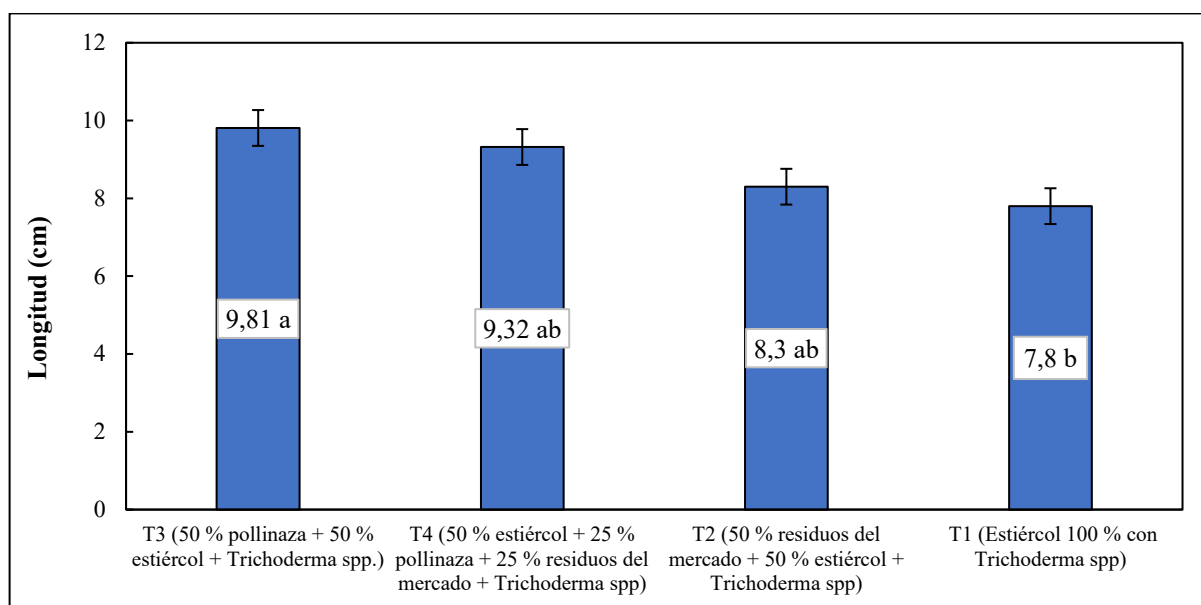
La aplicación de los lixiviados enriquecidos con *Trichoderma spp.* en los cultivos de la zona constituye una estrategia ecológica de fertilización que mejora la estructura del suelo, incrementa la productividad agrícola y promueve la transición hacia una agricultura más sustentable en el cantón El Carmen.

### 3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.4.1. Longitud de la lombriz (cm)

El análisis de varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $p = 0,0305$ ), lo que evidenció un efecto diferencial de los sustratos sobre la variable analizada. El mayor valor promedio correspondió al Tratamiento T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma spp*) 9,81 cm, mientras que el menor valor promedio se registró en el Tratamiento T1 (estiércol 100 % con *Trichoderma spp*) 7,80 cm.

**Figura 17.** Longitud promedio de las lombrices (*Eisenia fetida*) en función del tipo de alimento inoculado con *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz



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

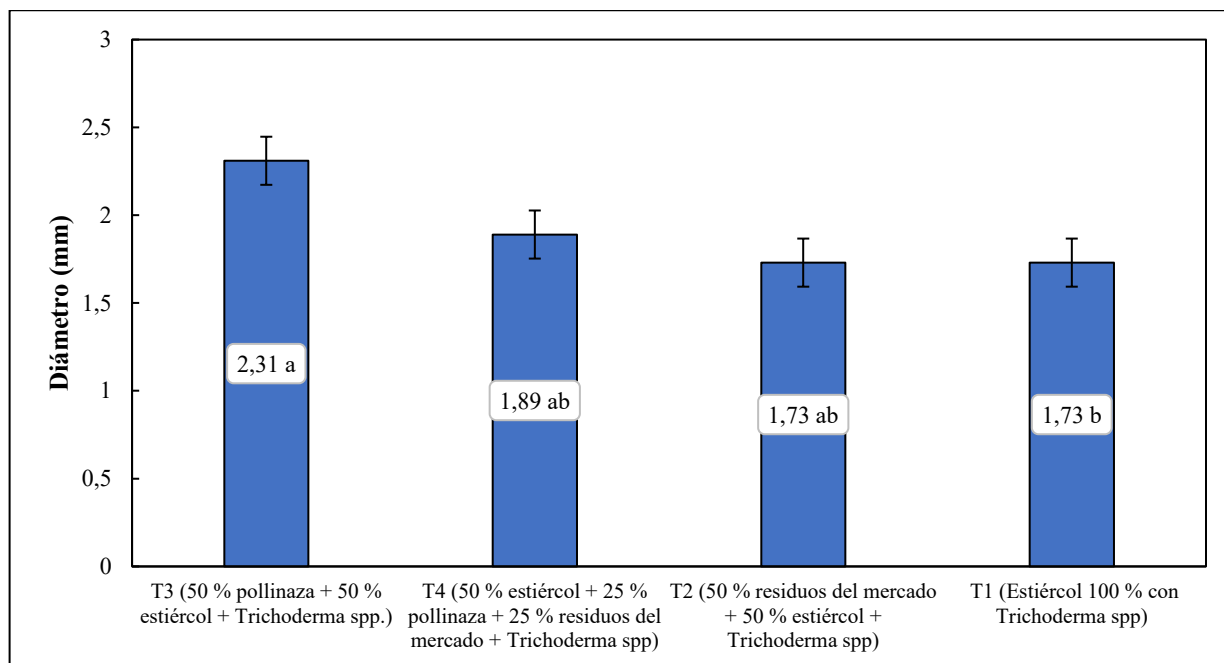
Reyes et al. (2022), reportaron que la longitud de la lombriz roja californiana alcanzó 6,19 cm a los 45 días en el tratamiento con mayor proporción de estiércol bovino, sin diferencias significativas a los 60 días. En el presente estudio, la longitud promedio osciló entre 7,80 y 9,81 cm, sin diferencias estadísticas entre tratamientos.

#### 3.4.2. Diámetro de la lombriz (mm)

El análisis de la variable diámetro (grosor) evidenció diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p = 0,0316$ ). El mayor valor promedio se registró en el tratamiento T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma spp*) (2,31), mientras que los

menores valores correspondieron al Tratamiento T2 (50 % residuos del mercado + 50 % estiércol + *Trichoderma spp*) y T1 (Estiércol 100 % con *Trichoderma spp*) (1,73).

**Figura 18.** Diámetro (mm) promedio de las lombrices (*Eisenia fetida*) en función del tipo de alimento inoculado con *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz



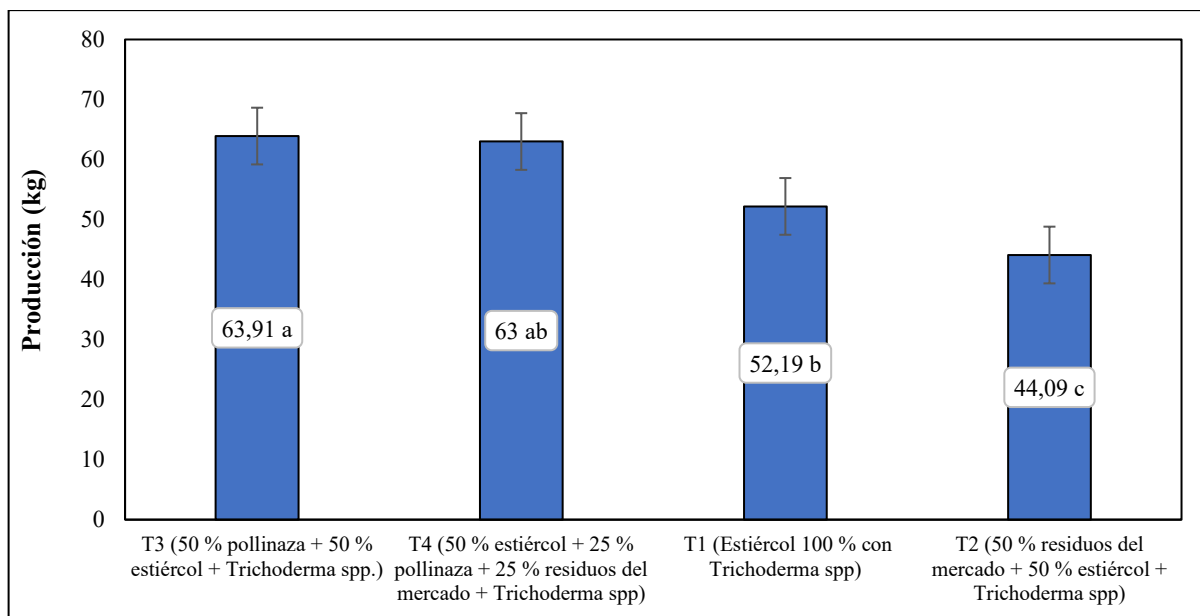
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Rincones, et al. (2023), reportaron que el diámetro promedio de la lombriz roja californiana alcanzó 2,6 mm en el tratamiento con 100 % estiércol bovino, mientras que disminuyó a 1,8 mm y 1,6 mm en mezclas con sustitución parcial del sustrato.

### 3.4.3. Producción de humus (kg)

La producción de humus de lombriz (*Eisenia fetida*) presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $p < 0,05$ ). En este contexto, el tratamiento T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma spp.*) registró la media más alta de producción, con 63,91 kg. En contraste, el menor rendimiento se observó en el tratamiento T2 (50 % residuos del mercado + 50 % estiércol + *Trichoderma spp.*), con una media de 44,09 kg, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos.

**Figura 19.** Producción de humus en función del tipo de alimento inoculado con *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz



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

Domínguez (2004), quien demostró que mezclas orgánicas balanceadas incrementan significativamente la tasa de crecimiento poblacional de *Eisenia fetida*. Estos autores atribuyeron este efecto a una mayor disponibilidad de nutrientes fácilmente asimilables y a una mejor estructura física del sustrato.

#### 3.4.4. Producción de lixiviado (l)

Durante el periodo de evaluación se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a partir de la semana 3, de acuerdo con los valores de  $p$  obtenidos ( $p = 0,0053$  en la semana 3;  $p = 0,0043$  en la semana 4;  $p = 0,0001$  en la semana 5;  $p = 0,0002$  en la semana 6;  $p = 0,0009$  en la semana 7 y  $p = 0,0004$  en la semana 8), mientras que en la semana 2 no se detectaron diferencias significativas ( $p = 0,0597$ ).

En todas las semanas con significancia estadística, el tratamiento T3 presentó las medias más altas de producción de lixiviado, con valores de  $0,80 \pm 0,10$  en la semana 3,  $1,03 \pm 0,12$  en la semana 4,  $1,38 \pm 0,10$  en la semana 5,  $1,65 \pm 0,13$  en la semana 6,  $2,10 \pm 0,20$  en la semana 7 y  $2,43 \pm 0,21$  en la semana 8; mientras que el tratamiento T1 registró las medias más bajas en cada una de estas semanas, con valores de  $0,18 \pm 0,10$ ,  $0,24 \pm 0,12$ ,  $0,30 \pm 0,10$ ,  $0,41 \pm 0,13$ ,  $0,55 \pm 0,20$  y  $0,68 \pm 0,21$ , respectivamente, evidenciando un efecto consistente del tratamiento T3 sobre la producción de lixiviado frente a T1.

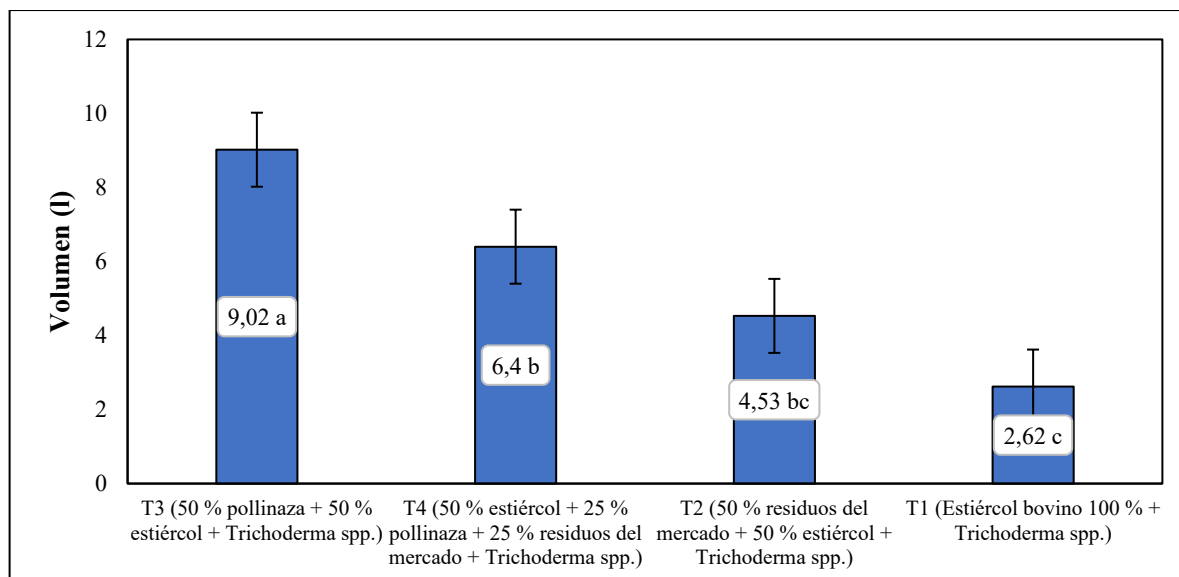
**Tabla 12.** Producción semanal de lixiviado en función del tipo de alimento inoculado con *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz

Tratamiento	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8
T3	0,63 a	0,80 a	1,03 a	1,38 a	1,65 a	2,10 a	2,43 a
T4	0,38 a	0,60 b	0,78 a	0,93 b	1,05 b	1,13 b	1,53 b
T2	0,33 a	0,38 b	0,53 b	0,63 b	0,73 b	0,90 b	1,03 b
T1	0,26 a	0,18 b	0,24 b	0,30 c	0,41 c	0,55 b	0,68 b
<b>p-valor</b>	0,0597	0,0053	0,0043	0,0001	0,0002	0,0009	0,0004
<b>CV (%)</b>	44,37	41,13	38,36	25,53	27,37	33,98	29,17

**Nota:** Medias con la misma letra dentro de cada semana no presentan diferencias estadísticamente significativas (Tukey,  $p > 0,05$ ). Error estándar (E.E.) por semana: Semana 2 = 0,09; Semana 3 = 0,10; Semana 4 = 0,12; Semana 5 = 0,10; Semana 6 = 0,13; Semana 7 = 0,20; Semana 8 = 0,21.

La producción final de lixiviado de lombriz presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $p < 0,05$ ). El tratamiento T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma spp.*) registró la media más alta, con un volumen acumulado de 9,02 L, diferenciándose significativamente del resto de los tratamientos. En contraste, el menor volumen de lixiviado se observó en el tratamiento T1 (estiércol bovino 100 % + *Trichoderma spp.*), con una media de 2,62 L, constituyendo el grupo estadístico inferior.

**Figura 20.** Producción final de lixiviado en función del tipo de alimento inoculado con *Trichoderma spp.* en sustratos orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz



La mayor producción de lixiviado observada en el tratamiento T3 coincidió con lo reportado por Muraira-Soto et al. (2023) y Domínguez (2004), quienes señalaron que sustratos orgánicos balanceados incrementan la actividad metabólica de *Eisenia fetida*, favoreciendo una mayor liberación de lixiviados ricos en compuestos solubles.

### 3.4.5. Caracterización química y potencial agronómico del lixiviado de lombriz obtenido en el tratamiento T3

El lixiviado del tratamiento T3 presentó un contenido elevado de nitrógeno (0,94 %) y potasio (0,67 %), lo que indicó un alto potencial como biofertilizante líquido de efecto estimulante sobre el crecimiento vegetal. El pH de 7,7 clasificó al lixiviado como ligeramente alcalino, condición favorable para su aplicación en suelos ácidos, aunque debe manejarse con precaución en suelos alcalinos.

**Tabla 13.** Análisis químico del lixiviado obtenido en el tratamiento T3(50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma spp.*)

Categoría	Parámetro	Unidad	Valor
<b>Macronutrientes (MS)</b>	N	%	0,94
	P	%	0,02
	K	%	0,67
	Ca	%	0,25
	Mg	%	0,1
	S	%	0,12
<b>Micronutrientes</b>	Cu	ppm	2
	B	ppm	10,56
	Fe	ppm	28
	Zn	ppm	8
	Mn	ppm	5
	<b>Propiedades químicas</b>	pH	—
Conductividad eléctrica (CE)		dS m <sup>-1</sup>	5,23
Materia orgánica		%	0,25
<b>Relaciones nutricionales</b>	N/K	—	1,4
	N/P	—	47
	Mg/K	—	0,15
	Ca/B	—	236,74
	(Ca+Mg)/K	—	0,52
<b>Bases intercambiables</b>	Σ (K + Ca + Mg)	%	1,02
<b>Relación orgánica</b>	C/N	—	0,15 / 0,94
<b>Clasificación química</b>	Reacción del medio	—	Ligeramente alcalino
	Condición salina	—	Fuertemente salino

La conductividad eléctrica de  $5,23 \text{ dS m}^{-1}$  evidenció una condición fuertemente salina, lo que sugirió la necesidad de dilución previa antes de su aplicación agrícola para evitar riesgos de salinidad en el suelo o fitotoxicidad en cultivos sensibles. Los micronutrientes, especialmente hierro (28 ppm), boro (10,56 ppm) y zinc (8 ppm), se encontraron en concentraciones adecuadas para contribuir a procesos fisiológicos clave en las plantas, como la síntesis de clorofila y la actividad enzimática. La relación C/N baja indicó un material altamente mineralizado y de rápida disponibilidad de nutrientes, característico de lixiviados bien estabilizados.

El pH ligeramente alcalino y la baja relación C/N indicaron un material bien estabilizado y con alta disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, la elevada conductividad eléctrica sugirió la necesidad de dilución previa antes de su aplicación agrícola, tal como recomiendan diversos autores para evitar efectos negativos por salinidad (Campos-Rodriguez et al., 2023).

El calcio (0,25 %) y magnesio (0,10 %) se encontraron en proporciones moderadas, contribuyendo al equilibrio catiónico del producto. El calcio cumple funciones estructurales en la pared celular y en la estabilidad de membranas, mientras que el magnesio constituye el átomo central de la clorofila. La relación  $(\text{Ca}+\text{Mg})/\text{K} = 0,52$  sugirió un predominio relativo del potasio, condición que, si no se maneja mediante dilución, podría generar antagonismos nutricionales en suelos o cultivos sensibles (Cancino-Méndez et al., 2018).

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES

La construcción del lombricario mediante el uso de sustratos orgánicos permitió establecer un sistema productivo estable y técnicamente adecuado para la cría de *Eisenia fetida*, asegurando condiciones favorables de humedad, aireación y disponibilidad de alimento, lo que posibilitó la obtención eficiente de humus de lombriz.

La inoculación con *Trichoderma* spp. influyó positivamente en la producción de lixiviado de lombriz, evidenciándose diferencias entre tratamientos, donde el tratamiento T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol + *Trichoderma* spp.) alcanzó el mayor volumen acumulado, lo que reflejó una mayor eficiencia en los procesos biológicos de degradación y transformación de los sustratos orgánicos.

El análisis químico del lixiviado de lombriz permitió identificar que el tratamiento T3 generó un biofertilizante líquido con mejores características agronómicas, caracterizado por mayores contenidos de nitrógeno y potasio, adecuada disponibilidad de micronutrientes y baja relación C/N, lo que indicó un producto estabilizado y con alta disponibilidad de nutrientes para su aplicación agrícola, considerando la necesidad de dilución previa por su conductividad eléctrica.

## RECOMENDACIONES

- Se recomendó utilizar el tratamiento T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol inoculado con *Trichoderma spp.*) como sustrato base para la producción de humus y lixiviado de lombriz, debido a su mayor eficiencia productiva y mejores características químicas del biofertilizante obtenido.
- Se recomendó aplicar el lixiviado de lombriz previa dilución en agua, especialmente en cultivos sensibles a la salinidad, considerando su elevada conductividad eléctrica, con el fin de prevenir efectos fitotóxicos y asegurar una adecuada asimilación de nutrientes.
- Se recomendó mantener condiciones controladas de humedad, aireación y manejo del sustrato dentro del lombricario, así como estandarizar la inoculación con *Trichoderma spp.*, para garantizar la estabilidad del sistema y reproducibilidad de los resultados en futuras aplicaciones productivas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdel-Haleem, E.-S., FARRAG, H. M., Abeer, B., & Abdelrasheed, K. G. (2022). Combined use of compost, compost tea, and vermicompost tea improves soil properties, and growth, yield, and quality of (*Allium cepa* L.). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 50(1), 12565-12565.
- Abhishek Tripathi, A. T., Neeta Sharma, N. S., & Nidhi Tripathi, N. T. (2010). Biological control of plant diseases: An overview and the Trichoderma system as biocontrol agents. *Management of fungal plant pathogens*, 121-137.
- Abreu Cruz, E., Araujo Camacho, E., Rodríguez Jimenez, S. L., Valdivia Ávila, A. L., Fuentes Alfonso, L., & Pérez Hernández, Y. (2018). Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annum*. *Centro Agrícola*, 45(1), 52-61.
- Aira, M., Monroy, F., & Domínguez, J. (2007). Earthworms strongly modify microbial biomass and activity triggering enzymatic activities during vermicomposting independently of the application rates of pig slurry. *Science of the total Environment*, 385(1-3), 252-261.
- Alcívar-Cedeño, U., Dueñas-Rivadeneira, A., Sacon-Vera, E., Bravo-Sánchez, L., & Villanueva-Ramos, G. (2016). Influencia de los tipos de secado para la obtención de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a escala piloto. *Tecnología Química*, 36(2), 187-196.
- Andrade, D. Y., Campi, R. I., Carrera, J. J., Sánchez, D. G., & Gutiérrez, B. J. C. (2025). Microorganismos como aceleradores en el proceso de pre-compostaje para lombricultura. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 9(2), Article 2. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v9i2.17287](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17287)
- Arancon, N. Q., Pant, A., Radovich, T., Hue, N. V., Potter, J. K., & Converse, C. E. (2012). Seed germination and seedling growth of tomato and lettuce as affected by vermicompost water extracts (teas). *HortScience*, 47(12), 1722-1728.
- Barbaro<sup>1</sup>, L. A., Karlanian, M. A., Morisigue, D. E., Rizzo, P. F., Riera, N. I., Della Torre, V., & Crespo, D. E. (2011). Compost de ave de corral como componente de sustratos. *Ciencia del suelo*, 29(1), 83-90.
- Blouin, M., Hodson, M. E., Delgado, E. A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K. R., Dai, J., Dendooven, L., Pérès, G., & Tondoh, J. (2013). A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. *European journal of soil science*, 64(2), 161-182.

- Bravo, C. M., Angulo, L. M., González, Y. A., Martínez, M. M., Carmona, J. C., & Vergara Garay, O. (2018). Reproductive evaluation of the California red worm *Eisenia foetida* fed with different substrates in the low tropics in Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 30.
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., Moreno-Rojo, 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.
- Cancino-Méndez, G. M., Rosales-Uc, E. M., & Herrera-Chale, F. G. (2018). La inocuidad de lixiviados de biofertilizantes factor de calidad para uso en agricultura orgánica. *Revista del Centro de Graduados. Instituto Tecnológico de Mérida*, 33(72), 121-125.
- Cando, L. E. C., Vaca, C. V. B., Cabezas, L. A. M., & Carrión, E. N. Q. (2024). Potencialidades de la Lombricultura, en la Educación Ambiental, para Optimizar el Aprendizaje de la Química Verde. *Polo del Conocimiento*, 9(2), 807-827.
- Cano, M. A. (2011). INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. UNA REVISIÓN. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 15-31.
- Chávez, A., Torres, C., Espinoza-Vera, A., Zambrano Pazmiño, D., Gonzalo, V. B. A., Zambrano Gavilanes, E., & Velázquez Vincés, J. (2020). EFECTOS DE LA CEPA NATIVA DE *Trichoderma* sp. Y LIXIVIADO DE VERMICOMPOST BOVINO SOBRE EL CRECIMIENTO FOLIAR Y CONTENIDO DE CLOROFILA EN ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN FASE DE SEMILLERO. *ECUADOR ES CALIDAD*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.36331/revista.v7i2.104>
- Chinsamy, M., Kulkarni, M. G., & Van Staden, J. (2014). Vermicompost leachate reduces temperature and water stress effects in tomato seedlings. *HortScience*, 49(9), 1183-1187.
- Conde, K. G. C., Callisaya, H. H., & Choque, D. C. (2017). Aplicación de solución de humus de lombriz en dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en la Estación Experimental de Patacamaya-La Paz: Keler German Conde Flores; Hugo Huaycho Callisaya; David Cruz Choque. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos naturales*, 4(1), 74-81.
- Contreras-Ramos, S. M., Alvarez-Bernal, D., & Dendooven, L. (2006). *Eisenia fetida* increased removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil. *Environmental Pollution*, 141(3), 396-401.

- Cruz-Hernández, J., Acevedo-Alcalá, P., & Báez-Cruz, G. (2015). Fitotoxicidad de abonos orgánicos líquidos en especies hortícolas indicadoras, un método de pre-selección. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 3(5), 964-971.
- Domínguez, J. (2004a). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. En *Earthworm ecology* (Primera, pp. 401-424). CRC press.
- Domínguez, J. (2004b). State-of-the-art and new perspectives on vermicomposting research. En *Earthworm ecology* (pp. 401-424). CRC press.
- Dominguez, J., & Edwards, C. (2011). Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting by Taylor & Francis Group. *Vermiculture Technology. Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management; Edwards, CA, Arancon, NQ, Sherman, R., Eds.*
- Flores, M. D., Franco, M. E. V. E., Ricalde, D. C., Garduño, A. A. L., & Apáez, M. R. (2013). *Metodología de la investigación*. Editorial Trillas, SA de CV.
- Ghorbani, M., & Sabour, M. R. (2021). Global trends and characteristics of vermicompost research over the past 24 years. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 94-102.
- Google Maps. (2025). 0°15'35.0"N 79°25'35.0"W. [https://www.google.com.ec/maps/@-0.2621007,-79.443577,2416m/data=!3m1!1e3?entry=tu&g\\_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com.ec/maps/@-0.2621007,-79.443577,2416m/data=!3m1!1e3?entry=tu&g_ep=EgoyMDI1MDUyNi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D)
- Hanc, A., & Pliva, P. (2013). Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(4), 431-439. <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0127-8>
- Hidalgo, I. V. (2005). Tipos de estudio y métodos de investigación. *Recuperado el Noviembre de*, 20(1).
- Hjeljord, L., Tronsmo, A., Harman, G., & Kubicek, C. (1998). Trichoderma and gliocladium. *biological control: an overview. In: Trichoderma & Gliocladium: Enzymes, biological control and commercial applications. Harman GE, Kubice CP.(Eds)*, 2, 131-151.
- Hussaini, A. (2013). Vermiculture bio-technology: An effective tool for economic and environmental sustainability. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 7(2), 56-60.
- INAMHI. (2022, abril 16). *Anuario meteorológico*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum\\_institucion/anuarios/meteorologicos](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos)

/Am\_2013.pdf.

- Jarquín-Campos, H. M., & Urbina Correa, J. R. (2025). *Capacidad de producción de lombriz roja californiana (Eisenia fetida S.) en condiciones alimenticias, ambientales con luz y oscuridad* [Engineer, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/4999/>
- Jiménez-Roa, A. F., & Morales-Jiménez, J. A. (2021). *Diseño de un portafolio de proyectos de innovación social para la gestión de residuos orgánicos integrando lombricultura en el municipio de la Capilla, Boyacá* [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/3f50b409-5cc6-4d51-ba27-ed94bfcd2507>
- Kalita, R., DUTA, M., & Bora, S. (2017). Knowledge, attitude and practices of farmers towards vermiculture technology. *Indian Research Journal of Extension Education*, 17(4), 78-82.
- Llivicura, M. F. A., Rodríguez, J. H. V., Vasquez, L. M. L., Piña, J. C. G., Rocano, M. S. V., & Díaz, M. D. C. M. (2021). Influencia del vermicompost y sus lixiviados sobre la germinación de hortalizas en un suelo sódico. *Journal of Science and Research*, 6(2), Article 2. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/1168>
- Lourenço, N. (2014). *Manual de Vermicompostagem e Vermicultura para a Agricultura Orgânica*. Nelson Lourenço.
- Lugo-Soto, M., Jiménez, C., Molina, F., & González, J. (2013). Efecto de *Trichoderma harzianum* y humus líquido en el establecimiento vegetativo de *Tithonia diversifolia* (Hemsl) A. Gray. *Zootecnia Tropical*, 31(1), 24-34.
- Ma, Q., Tian, G., Yang, S., Chen, J., Fan, W., Zhao, P., Wang, Y., Liu, J., Liu, Y., & Zi, S. (2025). Nanosilicon-based vermicompost leachate and *Trichoderma harzianum* promote the growth of *Panax quinquefolius* L. cultivated under forests by improving soil enzyme activity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 223, 109811.
- Maraña-Santacruz, J. Á., Castellanos Pérez, E., Vázquez Vázquez, C., Martínez Ríos, J. J., Trejo Escareño, H. I., Gallegos Robles, M. Á., & Orona Castillo, I. (2018). Rendimiento de chile jalapeño con lixiviado de lombriz con dos métodos de riego. *Terra Latinoamericana*, 36(4), 345-354.
- Michel-Aceves, A. C., Otero-Sánchez, M., Martínez-Rojero, R., Rodríguez-Morán, N., Ariza-Flores, R., & Barrios-Ayala, A. (2008). Producción masiva de *Trichoderma harzianum* Rifai en diferentes sustratos orgánicos. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 14(2), 185-191.

- Molina-Lores, L. B., Lussón-Puncet, J. A., Ávila-Góngora, Y., Cutiño-Mendoza, A., & Bell-Mesa, T. D. (2022). Efecto de *Trichoderma harzianum* y *Glomus cubense* en la producción de plántulas de tomate. *Revista Transdisciplinaria De Estudios Sociales y Tecnológicos*, 2(3), 42-48.
- 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*) con estiércol bovino y ovino. *Ciencia y Agricultura*, 20(3), 16287-16287.
- Nogales, R., Romeo, E., & Fernandez, M. (2014). *Vermicompostaje: Procesos, productos y aplicaciones III.5* (Ediciones Mundi-Prensa). Ediciones Mundi-Prensa.
- Pineda-Insuasti, J. A., Benavides-Sotelo, E. N., Duarte-Trujillo, A. S., Burgos-Rada, C. A., Soto-Arroyave, C. P., Pineda-Soto, C. A., Fierro-Ramos, F. J., Mora-Muñoz, E. S., & Álvarez-Ramos, S. E. (2017). Producción de biopreparados de *Trichoderma* spp: Una revisión. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 51(1), 47-52.
- Ramos, J. N. G. (2023). LA LOMBRICULTURA EN EL PERÚ Y EL MUNDO: INICIOS, ANTECEDENTES HISTÓRICOS. *Sagasteguiana*, 11(2), Article 2.
- 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.
- 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.
- 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>
- Rocano, M. S. V., Díaz, M. D. C. M., Llivicura, M. F. A., Rodríguez, J. H. V., Vasquez, L. M. L., & Piña, J. C. G. (2021). Influencia del vermicompost y sus lixiviados sobre la germinación de hortalizas en un suelo sódico. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 6(2), 12.
- Rodríguez-Fernández, P. A. (2017). Impacto del lixiviado de humus de lombriz sobre el crecimiento y productividad del cultivo de habichuela (*Vigna unguiculata* l. Walp). *Ciencia en su PC*, 2, 44-58.
- Römbke, J., Aira, M., Backeljau, T., Breugelmans, K., Domínguez, J., Funke, E., Graf, N.,

- Hajibabaei, M., Pérez-Losada, M., & Porto, P. G. (2016). DNA barcoding of earthworms (*Eisenia fetida/andrei* complex) from 28 ecotoxicological test laboratories. *Applied Soil Ecology*, *104*, 3-11.
- Sánchez, A. A. F., & Fernández, P. A. R. (2009). Influencia de dosis creciente de lixiviado de abonos mixtos microbianos y lixiviado humus de lombriz sobre algunas variables morfoagronómicas en el cultivo del tomate (*lycopersicon esculentum* mill). *Ciencia en su PC*, *2*, 100-114.
- Sánchez, C. P., Ramírez, I. P., & Llorente, M. G. (2022). Iniciativas agroecológicas en el Estado español: Caracterización desde la innovación social, económica y ambiental. *Almenara: revista extremeña de ciencias sociales*, *14*, 47-56.
- Sánchez, L. (2025). *Evaluación de sustratos orgánicos para reproducción del hongo trichoderma sp. En la zona Amazonia-Orellana, 2024* [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/23528>
- Santana Díaz, T., & Castellanos González, L. (2018). Efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de Leucaena, Cedro y Samán. *Colombia forestal*, *21*(1), 81-90.
- Satchell, J. (2012). *Earthworm Ecology: From Darwin to Vermiculture*. Springer Science & Business Media.
- Sherman, R. (2018). *The Worm Farmer's Handbook: Mid- to Large-Scale Vermicomposting for Farms, Businesses, Municipalities, Schools, and Institutions*. Chelsea Green Publishing.
- Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., Chandran, V., & Soni, B. K. (2010). Vermiculture technology: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. *Technology and Investment*, *1*(3), 155-172.
- Sletto, B., Dávila, T., Brigmon, N., Clifton, M., Rizzo, R., & Sertzen, P. (2015). Lombricultura comunitaria y economías alternativas con enfoque de género en asentamientos informales. *Letras Verdes: Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, *17*, 86-107.
- Soni, R., & Sharma, A. (2016). Vermiculture technology: A novel approach in organic farming. *Indian Horticulture Journal*, *6*(1), 150-154.
- Suquilanda, M. (2003). Abonos verdes: Alternativa ecológica. Cultivos Controlados. *Revista Agropecuaria Internacional.(Ecuador) Ed. Flor y Flor*, 137.
- Tenecela, Y. (2012). *Producción de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo*

- de los residuos orgánicos* [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca].  
<https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/4f667750-05a3-4a3c-9d7c-da5e0efec3b0>
- Vásquez, J. C., & Iannacone, J. (2014). La lombricultura como aporte para la agricultura sostenible en el Perú. *Cátedra Villarreal*, 2(2), 98-120.
- Velásquez, L., & Herrera, C. (1986). Aplicaciones de la harina de lombriz (*Eisenia foetida*) en nutrición animal: Aves broilers; truchas arco-iris. *Alimentos*, 11(4), 52-55.
- Venegas-Vera, J. J., & Pincay-Menéndez, J. D. (2024a). Efectos del lixiviado de vermicompost de estiércol bovino, *Trichoderma* sp y microorganismo eficiente en crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en semillero. *MQRInvestigar*, 8(1), Article 1. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.3493-3508>
- Venegas-Vera, J. J., & Pincay-Menéndez, J. D. (2024b). Efectos del lixiviado de vermicompost de estiércol bovino, *Trichoderma* sp y microorganismo eficiente en crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en semillero. *MQRInvestigar*, 8(1), 3493-3508. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.8.1.2024.3493-3508>
- Vergara, F. (2019). *Oportunidad de exportación para el abono y lixiviado de lombriz roja elaborado en la Avícola La Esperanza*. [Tesis de Grado, Universitaria Agustiniiana]. <https://backend.uniagustiniana.edu.co/server/api/core/bitstreams/d425bb9c-95fa-44e6-9ea0-c6696b14a177/content>
- Villalobos, J. R. V., & González, J. A. (2013). Las lombrices de tierra en la medicina popular española: Un contraste on el uso medicinal a través de la Historia. *Medicina naturista*, 7(2), 81-86.
- Villegas-Cornelio, V. M., & Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 393-406.
- Wang, K., Pang, S., Mu, X., Qi, S., Li, D., Cui, F., & Wang, C. (2015). Biological response of earthworm, *Eisenia fetida*, to five neonicotinoid insecticides. *Chemosphere*, 132, 120-126.
- Wang, P., Ji, J., & Zhang, Y. (2020). Aquaculture extension system in China: Development, challenges, and prospects. *Aquaculture Reports*, 17, 100339. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100339>
- Wonglom, P., Ruangwong, O.-U., Poncheewin, W., Arikrit, S., Riangwong, K., & Sunpapao, A. (2024). *Trichoderma*-bioenriched vermicompost induces defense response and promotes plant growth in Thai rice variety “Chor Khing”. *Journal of Fungi*, 10(8), 582.
- Zambrano, F. (2022). *Efecto de la aplicación de saccharomyces y trichoderma en la*

*descomposición de residuos de podas del cultivo de guanabana (Annona muricata)*  
[Tesis de Grado, Universidad Agraria Del Ecuador].  
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ZAMBRANO%20PACHECO%20FERNANDO%20JOAQUIN.pdf>

## ANEXOS

**Anexo 1.** *Análisis en la varianza de la variable del longitud en la Inoculación de Trichodermas en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	1,37	3	0,46	7,54	0,0043
Tratamientos	1,37	3	0,46	7,54	
Error	0,72	12	0,06		
Total	2,09	15			

**Anexo 2.** *Análisis en la varianza de la variable diámetro en la Inoculación de Trichodermas en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
Modelo	6,71	3	2,24	3,05	0,0316
Tratamientos	6,71	3	2,24	3,05	0,0316
Error	85,19	116	0,73		
Total	91,9	119			

**Anexo 3.** *Análisis en la varianza de la variable producción de lixiviado en la Inoculación de Trichodermas en sustrato orgánicos para la producción de lixiviado de lombriz*

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
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			

**Anexo 4.** *Acta de Donación de Bienes*

**Anexo 5. Resultados del análisis químico del lixiviado de lombriz obtenido a partir de sustratos orgánicos inoculados con *Trichoderma spp.***

**RESULTADOS: ANÁLISIS FOLIAR**

Datos del cliente		Referencia	
Cliente :	Sra. JANIRA MEDRANDA	Numero de muestra:	7707
Identificación:	LIXIVIADO	Fecha de Ingreso:	8/12/2025
		Fecha de impresión:	25/12/2025
		Fecha de Entrega:	27/12/2025
		No. Laboratorio Desde:	0 001
		Hasta:	

MATERIA SECA (%)						
VALORES	N	P	K	Ca	Mg	S
Tiene	0,94	0,02	0,67	0,25	0,10	0,12

ppm								M.O
VALORES	Cu	B	Fe	Zn	Mn	pH	C.E	%
Tiene	2,00	10,56	28,00	8,00	5,00	7,7	5,23	0,25
						LAI.	F.S.	

RELACIONES							BASES (%)	R
VALORES	N/k	N/P	Mg/k	Ca/B	(Ca+Mg)/k	(K+Ca+Mg)	C/N	
	R4	R5	R2	R1	R3	SUMATORIA		
Tiene	1,4	47,00	0,15	236,74	0,52	1,02	0,15/0,94	

**Interpretación**  
 LAI: Ligeramente alcalino  
 C.E: Fuertemente Salino  
 R C/N: Relación Carbono Nitrógeno

  
 Dra. Luz Maria Martinez  
**LABORATORISTA**  
**AGROLAB**



**Anexo 6. Acondicionamiento del terreno y conformación de la base estructural para el sistema del lombricario**



*Anexo 7. Diseño y elaboración de las camas del lombricario*



*Anexo 8. Tratamiento T1 (Estiércol bovino al 100 %, inoculado con Trichoderma spp.)*



*Anexo 9. T2 (50 % residuos de mercado + 50 % estiércol bovino, inoculado con Trichoderma)*



*Anexo 10. T3 (50 % pollinaza + 50 % estiércol bovino, inoculado con Trichoderma spp)*



*Anexo 11. T4 (50 % estiércol bovino + 25 % pollinaza + 25 % residuos de mercado, inoculado con Trichoderma spp)*



*Anexo 12. Toma de datos*







# Tesis Janira Medranda

6%  
Textos sospechosos

- 6% Similitudes  
< 1% similitudes entre comillas (ignorado)  
< 1% entre las fuentes mencionadas (ignorado)
- 4% Idiomas no reconocidos (ignorado)
- 24% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: Tesis Janira Medranda.docx  
ID del documento: af17256a1b5f482b45de2bd4503d41277a060e1a  
Tamaño del documento original: 8,89 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: 19.671  
Número de caracteres: 136.117

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes de similitudes

### Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>TESIS_FINAL_(EDISON ALAVA).docx</b>   TESIS_FINAL_(EDISON ALAVA) #b6781c Viene de de mi grupo 6 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (265 palabras)
2	<b>repositorio.uleam.edu.ec</b> <a href="https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/5150/1/ULEAM-AGRO-0249.PDF">https://repositorio.uleam.edu.ec/bitstream/123456789/5150/1/ULEAM-AGRO-0249.PDF</a> 6 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: 1% (200 palabras)
3	<b>repositorio.uleam.edu.ec</b>   Hongos micorrizicos arbusculares en la productivida... <a href="https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/8792">https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/8792</a> 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (138 palabras)
4	<b>ciencialatina.org</b> <a href="https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/17287">https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/17287</a> 7 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (121 palabras)
5	<b>revistas.utb.edu.ec</b>   Comportamiento de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia f... <a href="https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2948">https://revistas.utb.edu.ec/index.php/sr/article/view/2948</a> 6 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (117 palabras)

### Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<b>www.redalyc.org</b>   El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la ... <a href="https://www.redalyc.org/pdf/540/54012144003.pdf">https://www.redalyc.org/pdf/540/54012144003.pdf</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (37 palabras)
2	<b>dx.doi.org</b>   La lombricultura como aporte para la agricultura sostenible en el Perú <a href="http://dx.doi.org/10.24039/cv20142232">http://dx.doi.org/10.24039/cv20142232</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
3	<b>Documento de otro usuario</b> #c17363 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	<b>Documento de otro usuario</b> #ceca0 Viene de de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
5	<b>repositorio.uteq.edu.ec</b>   Dinámica poblacional de la Eisenia foetida alimentada ... <a href="https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6858">https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6858</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (32 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	<b>Tesis Bryan Baque.docx</b>   Tesis Bryan Baque #30a81d Viene de de mi biblioteca	13%		Palabras idénticas: 13% (2514 palabras)
2	<b>Tesis Brigitte Moreira.docx</b>   Tesis Brigitte Moreira #6ee25e Viene de de mi biblioteca	11%		Palabras idénticas: 11% (2137 palabras)
3	<b>Tesis Gabriela Moreira.docx</b>   Tesis Gabriela Moreira #146f0a Viene de de mi biblioteca	8%		Palabras idénticas: 8% (1625 palabras)
4	<b>GLOVER STEVEN ZAMBRANO VERA_FINAL.docx</b>   GLOVER STEVEN ZAMB... #f004a7 Viene de de mi grupo	3%		Palabras idénticas: 3% (504 palabras)
5	<b>Anderson Jair Romero Sandoval.docx</b>   Anderson Jair Romero Sandoval #00a680 Viene de de mi grupo	2%		Palabras idénticas: 2% (419 palabras)
6	<b>Jeniffer Patricia Palma Chavez.docx</b>   Jeniffer Patricia Palma Chavez #9e9e0d Viene de de mi grupo	2%		Palabras idénticas: 2% (422 palabras)