

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), marzo-abril 2025,
Volumen 9, Número 2.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2

MICROORGANISMOS COMO ACELERADORES EN EL PROCESO DE PRE-COMPOSTAJE PARA LOMBRICULTURA

**MICROORGANISMS AS ACCELERATORS IN THE PRE-
COMPOSTING PROCESS FOR VERMICULTURE**

Danayse Yalkira Andrade Mendoza

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Rosa Ivanna Campi Liuba

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Juan Javier Carrera Andrade

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Diego Gonzalo Sánchez Zorrilla

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Braulio Jonnathan Calixto Gutiérrez

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i2.17287

Microorganismos como aceleradores en el proceso de pre-compostaje para lombricultura

Danayse Yalkira Andrade Mendoza¹
dandradem4@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-0118-8170>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador

Rosa Ivanna Campi Liuba
rosa.campi2013@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0001-9808-1798>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador

Juan Javier Carrera Andrade
jcarreraa@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-2500-4573>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador

Diego Gonzalo Sánchez Zorrilla
dsanchezz4@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-2269-8442>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador

Braulio Jonnathan Calixto Gutiérrez
gcalixo@uteq.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-8763-9932>
Universidad Técnica Estatal de Quevedo
Ecuador

RESUMEN

Las dificultades en el acondicionamiento del sustrato generan retrasos en la reproducción de *Eisenia foetida*, afectando la eficiencia y productividad en sistemas de lombricultura. Por ello, es importante la exploración de tecnologías que potencien el proceso de vermicompostaje. Por tal razón, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de microorganismos como aceleradores en el proceso de pre-compostaje para lombricultura. La investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental Río Suma de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen, evaluado cuatro tratamientos: T1: *Saccharomyces cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *Lactobacillus casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}); T2: EMAs (*Azotobacter* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *Azospirillum* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *S. cerevisiae*: 1×10^5 UFC ml^{-1}); T3: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}) y T4: Control. Se tomaron datos de días a la colonización, incremento poblacional, total de lombrices distribuidas y cuantificación de lombrices por estadío. Los resultados obtenidos reflejaron que la colonización fue más rápida con la aplicación de *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^6 UFC ml^{-1}). Por otra parte, las etapas de desarrollo de *E. foetida* presentaron mejores resultados con T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}), destacándose el incremento en el número de huevos, larvas y especímenes juveniles y adultos por compostera. Finalmente, la ausencia de microorganismos adicionados en el proceso de pre-compostaje afectó negativamente el desarrollo y la reproducción de *E. foetida*, demostrando la necesidad de enriquecer el sustrato con agentes microbianos para optimizar la producción.

Palabras clave: acondicionamiento, *eisenia foetida*, sustrato, vermicompost

¹ Autor principal
Correspondencia: dandradem4@uteq.edu.ec

Microorganisms as accelerators in the pre-composting process for vermiculture

ABSTRACT

Difficulties in substrate conditioning cause delays in the reproduction of *Eisenia foetida*, affecting efficiency and productivity in vermiculture systems. Therefore, it is important to explore technologies that enhance the vermicomposting process. For this reason, the objective of this research was to evaluate the effect of microorganisms as accelerators in the pre-composting process for vermiculture. The research was carried out at the Río Suma Experimental Farm of the Eloy Alfaro Lay University of Manabí, El Carmen extension, evaluating four treatments: T1: *Saccharomyces cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *Lactobacillus casei*; T2: EMAs (*Azotobacter* sp.: 1×10^4 FLU ml^{-1} + *Azospirillum* sp.: 1×10^4 FLU ml^{-1} + *S. cerevisiae*: 1×10^5 FLU ml^{-1}); T3: *S. cerevisiae* (1×10^6 CFU ml^{-1}) and T4: Control. Data were taken from days to colonization, population increase, total number of worms distributed and quantification of worms per stage. The results obtained reflected that colonization was faster with the application of *S. cerevisiae* (1×10^6 CFU ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^6 CFU ml^{-1}). On the other hand, the development stages of *E. foetida* presented better results with T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 CFU ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 CFU ml^{-1}), highlighting the increase in the number of eggs, larvae and juvenile and adult specimens per composter. Finally, the absence of microorganisms added in the pre-composting process negatively affected the development and reproduction of *E. foetida*, demonstrating the need to enrich the substrate with microbial agents to optimize production.

Keywords: conditioning, *eisenia foetida*, substrate, vermicompost

Artículo recibido 18 marzo 2025
Aceptado para publicación: 22 abril 2025



INTRODUCCIÓN

La lombricultura, técnica cuyo origen se remonta a la antigua civilización egipcia, es reconocida por su contribución a la agricultura sustentable, mediante la transformación eficiente de residuos orgánicos en abonos orgánicos de alta calidad (Canales-Gutiérrez et al., 2020). Su aplicación moderna inició en 1947 en Estados Unidos, extendiéndose rápidamente por varios países debido a sus beneficios ambientales y económicos (Oñate-Pacheco, 2023). Según la Comisión para la Cooperación Ambiental (2018), Canadá y Estados Unidos destacan por programas sólidos de compostaje que incluyen el aprovechamiento sustentable de residuos postcosecha. En Ecuador, la implementación de lombricultura comenzó en 1986 con la iniciativa pionera del investigador Enzo Bollo, cuyo trabajo favoreció su difusión en América Latina (Terán-Torres, 2017).

Al respecto, Blanco-Villacorta (2023) afirma que esta práctica representa una estrategia clave para complementar los sistemas agrícolas y pecuarios convencionales, optimizando el uso sustentable de los residuos generados en estos sectores. El aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, aunque esencial para el desarrollo económico, requiere una gestión adecuada para evitar acumulación y descomposición inapropiada de residuos (Sánchez et al., 2018). La producción animal es una fuente significativa de estos desechos, los cuales, sin un tratamiento adecuado, impactan negativamente al medio ambiente (Chancafe-Rodríguez, 2023). En este contexto, la incorporación de lombrices rojas permite transformar estos residuos animales en abonos nutritivos, mejorando la fertilidad y salud de los suelos agrícolas (Torres-Torres et al., 2015).

La producción anual estimada de estiércol para una vaca lechera de 600 kg alcanza los 18.300 kg, mientras que para un vacuno de carne de 350 kg es de aproximadamente 10.950 kg (Peralta-Verán et al., 2016; Durazno-Coronel, 2018). Además, entre el 60% y 80% del nitrógeno y fósforo ingerido por estos animales retorna al ambiente mediante la orina y las heces (Contreras-Contreras et al., 2018).

La lombricomposta, generada a partir de estos residuos orgánicos, mejora la calidad y estructura del suelo, incrementa la retención hídrica y nutricional, previene la erosión y favorece el secuestro de carbono, elementos clave en la agricultura sustentable (Ramírez-Joyo, 2017; Ramos-Oseguera et al., 2019). En los últimos años, el interés en reutilizar residuos orgánicos ha crecido considerablemente,



alineándose con los principios de economía circular, que promueven la valorización y reincorporación eficiente de estos materiales en los sistemas productivos (Pyar & Peh, 2018).

Los microorganismos desempeñan un papel crucial en la lombricultura al descomponer eficientemente proteínas y celulosa presentes en los residuos, facilitando así la absorción de nutrientes esenciales por parte de las lombrices (Pradas-Paredes, 2020). Su actividad acelera el proceso de descomposición, obteniendo compost de alta calidad en períodos relativamente cortos (Pan et al., 2012). Aguilar-Paredes et al. (2023) destacan la importancia de bacterias, hongos y protozoos en este proceso, mejorando la eficiencia del compostaje mediante la reducción del tiempo necesario para obtener el producto final, incrementando la calidad del compost y disminuyendo malos olores (Olle, 2019).

Camacho et al. (2014) enfatizan que los microorganismos aceleradores del pre-compostaje permiten transformar rápidamente la biomasa fermentada en un sustrato idóneo para lombricultura, optimizando así su sostenibilidad. Por su parte, Wang et al. (2015) destacan la importancia de aplicar principios agroecológicos para fomentar sistemas agrícolas sustentables, promoviendo prácticas que incrementan la biodiversidad y fortalecen la salud del suelo. Por consiguiente, acelerar la maduración del estiércol bovino optimiza la producción sustentable de abonos orgánicos, fortaleciendo la eficiencia de la lombricultura (Velecela et al., 2019).

Finalmente, la gestión inadecuada de residuos, especialmente provenientes de la producción animal, puede provocar ambientes desfavorables para las lombrices, incluyendo malos olores, alta temperatura y humedad, condiciones que propician la proliferación de patógenos y afectan negativamente la salud y productividad de estos organismos (Cando et al 2024).

Por ello, la lombricultura representa una alternativa sustentable y eficaz para reciclar residuos orgánicos mediante el uso de microorganismos eficientes, que aceleran la descomposición y potencian la asimilación de nutrientes por parte de las lombrices. En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de microorganismos como aceleradores sustentables en el proceso de pre-compostaje orientado a la lombricultura.



METODOLOGÍA

Localización de la investigación

La investigación se realizó en la Granja Experimental Río Suma, perteneciente a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, extensión El Carmen. El sitio experimental se ubica en el cantón El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador, en las coordenadas geográficas 0°16'5" latitud Sur y 79°27'4" longitud Oeste, con una altitud de 240 metros sobre el nivel del mar. El lugar se encuentra aproximadamente a dos kilómetros de la vía que conecta El Carmen con Santo Domingo.

Las condiciones ambientales del área presentan una temperatura media anual de 24,1 °C, una precipitación acumulada anual de 2.770,6 mm y una humedad relativa promedio del 86,0 %. Además, el sitio cuenta con una disponibilidad solar anual de 753,2 horas (heliofanía), aspecto importante que influye en el desarrollo de actividades agrícolas.

Tratamientos evaluados

Se evaluaron cuatro tratamientos: T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}); T2: EMAs (*Azotobacter* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *Azospirillum* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *S. cerevisiae*: 1×10^5 UFC ml^{-1}); T3: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}) y T4: Control, utilizando un diseño completamente al azar (DCA) en tres repeticiones. Se consideró como unidad experimental a cada una de las 12 composteras, con 20 kg de estiércol bovino respectivamente, recolectado del Centro de Faenamiento del cantón El Carmen. Antes de su uso, el estiércol se sometió a un proceso de pre-compostaje mediante la aplicación de microorganismos, lo que garantizó su adecuación para el experimento.

Recolección de microorganismos eficientes autóctonos (EMAs)

La metodología para la obtención de microorganismos eficientes autóctonos (EMAs) consistió en emplear recipientes plásticos (tarrinas) cubiertos con una tela de nylon ajustada mediante bandas elásticas. Cada recipiente contenía aproximadamente 120 gramos de arroz cocido sin grasa ni sal, complementado con dos cucharadas de melaza o miel de panela y dos cucharadas de harina de pescado o caldo de carne (Umaña et al., 2017).

Posteriormente, estos recipientes se ubicaron estratégicamente en un ecosistema poco intervenido, específicamente en la Granja Experimental Río Suma de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.

Las trampas se enterraron parcialmente a una profundidad de 10 cm, quedando expuesta únicamente la



parte superior y cubiertas con material orgánico en proceso de descomposición recolectado del mismo entorno (Campo-Martínez et al., 2014).

Transcurrido un período de siete días, se recuperaron los recipientes utilizando marcas previas para su localización, extrayendo el arroz colonizado con microorganismos. Esta biomasa se reunió en un solo recipiente y se filtró cuidadosamente para eliminar impurezas, obteniendo una solución madre enriquecida con EMAs (Pozo et al., 2012).

Establecimiento de la plantación de lombricultura

La implantación del sistema experimental se llevó a cabo utilizando lombrices de la especie *Eisenia foetida*, conocidas como lombrices rojas californianas, provenientes del área destinada a la producción de abonos orgánicos de la Granja Experimental Río Suma de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Las lombrices fueron cuidadosamente seleccionadas para asegurar la homogeneidad morfológica y genética requerida para el estudio (Mamani et al., 2012).

Para la preparación del área experimental, se acondicionaron canteros con dimensiones específicas de 1,5 metros de ancho, 6 metros de largo y una altura máxima de 60 cm. Estas dimensiones permitieron mantener adecuadamente las condiciones ambientales necesarias, incluyendo la humedad, temperatura y estabilidad del sustrato, condiciones esenciales para el desarrollo y reproducción de las lombrices (Mamani et al., 2012).

Previo a la introducción de las lombrices, se realizó una aplicación uniforme de una solución compuesta por agua y melaza en partes iguales, enriquecida con EMAs previamente obtenidos, aplicando un volumen de tres (3) litros por metro cuadrado sobre el estiércol pre-compostado depositado en los canteros. Este procedimiento se mantuvo por un período de entre 20 y 30 días, permitiendo la adecuada colonización microbiana del sustrato y favoreciendo su rápida descomposición (Paul, 2007).

La incorporación inicial de lombrices se realizó tras una fase de aclimatación de 24 horas al sustrato específico preparado para cada tratamiento. La cantidad inicial establecida fue de medio kilogramo de lombrices por cada tratamiento. Seguidamente, se cubrieron los canteros con una lámina plástica para conservar la humedad y temperatura idóneas, efectuándose controles periódicos para evaluar el consumo del sustrato hasta completar la etapa experimental (Vázquez & Loli, 2018).



Finalmente, el riego se aplicó semanalmente mediante atomizadores, manteniendo un rango óptimo de humedad del sustrato entre 70 % y 80 % de su capacidad de campo. Esta técnica evitó la compactación del sustrato, asegurando un entorno propicio para la actividad biológica de las lombrices (Somarriba & Guzmán, 2004).

Variables evaluadas

Días a la colonización

Esta variable midió el número de días transcurridos desde la introducción inicial de las lombrices hasta el momento en que estas mostraron una distribución uniforme dentro del sustrato, evidenciado por la formación visible de túneles.

Incremento poblacional

El incremento poblacional de las lombrices se determinó mediante el cálculo del porcentaje de aumento entre la población inicial y la población final en cada tratamiento, utilizando la fórmula: $[(\text{Población final} - \text{Población inicial}) / \text{Población inicial}] \times 100$. Para ello, se efectuaron conteos directos tanto al inicio como al final del experimento, lo que permitió evaluar claramente el efecto de los tratamientos aplicados.

Total de lombrices distribuidas

Para evaluar esta variable, se extrajo el sustrato de cada cantero al finalizar el experimento y se efectuó un conteo total de las lombrices presentes. De esta manera, se determinó la abundancia relativa y se analizó el impacto de los microorganismos en el desarrollo de *E. foetida* (Mamani et al., 2012).

Cuantificación de lombrices por estadio

Además del conteo total, las lombrices fueron clasificadas por estadio de desarrollo en cocones, larvas, lombrices juveniles y adultas. La separación de estos estadios se realizó manualmente, colocando cada categoría en recipientes individuales para evitar pérdidas durante el proceso. Este procedimiento se llevó a cabo sistemáticamente en todos los tratamientos estudiados (Mamani et al., 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

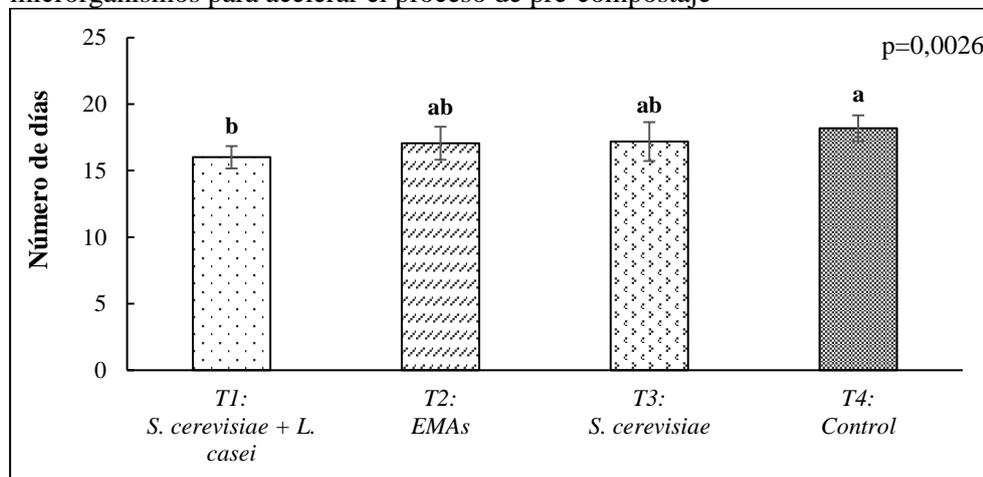
La Figura 1, presenta el número de días transcurridos desde el momento de la introducción de las lombrices hasta el momento de la colonización de *E. foetida* en respuesta a la aplicación de microorganismos para acelerar el proceso de pre-compostaje. El análisis de varianza determinó que los



tratamientos evaluados alcanzaron alta significancia estadística ($p=0,0026$), teniéndose el mayor número de días a la colonización en T4: Control, con un promedio de 18,19 días a la colonización de *E. foetida*, en ausencia de diferencias significativas respecto a T3: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}) y T2: EMAs (*Azotobacter* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *Azospirillum* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *S. cerevisiae*: 1×10^5 UFC ml^{-1}), cuyos promedios fueron de 17,19 y 17,06 días a la colonización.

El tratamiento de mayor período a la colonización, mostró diferencia significativa por encima de los 16,01 días a la colonización registrados en T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}).

Figura 1. Número de días a la colonización de *E. foetida* en respuesta a la aplicación de microorganismos para acelerar el proceso de pre-compostaje



Nota. Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Los resultados obtenidos reflejan la influencia de los microorganismos aplicados sobre el tiempo requerido para la colonización de *E. foetida*, probablemente debido a su impacto en la calidad del pre-compostaje. Según Nova & Mamani (2020), el uso de microorganismos específicos puede acelerar la descomposición inicial de la materia orgánica, generando un ambiente más favorable para la instalación de lombrices. En el presente estudio, el tratamiento T1, que incluyó la combinación de *S. cerevisiae* y *L. casei*, presentó el menor tiempo de colonización, lo cual podría atribuirse a la producción de compuestos metabólicos secundarios que mejoran la disponibilidad de nutrientes, como lo sugiere Rubiano-Flórez (2019).

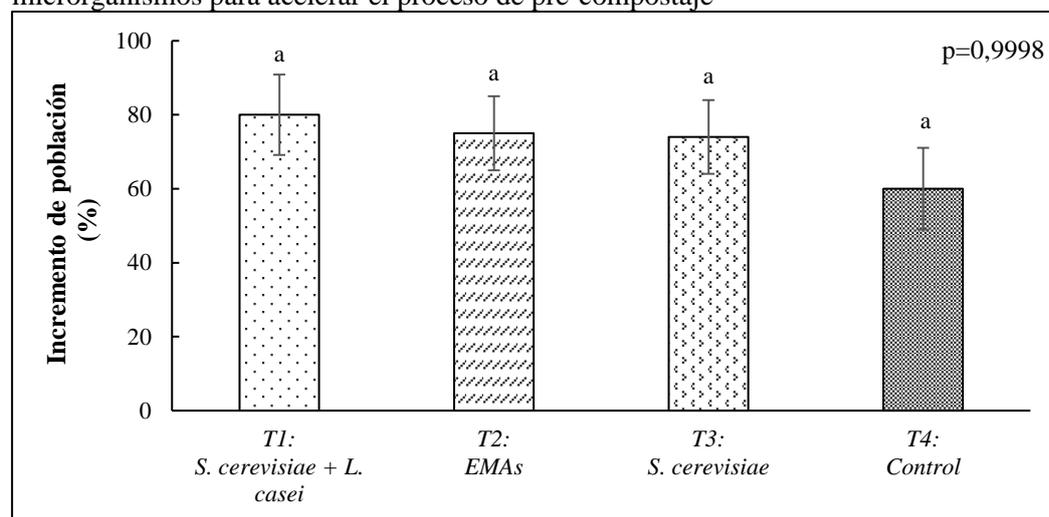
El mayor tiempo de colonización observado en el tratamiento control podría deberse a la ausencia de microorganismos que optimicen el pre-compostaje, lo que genera un ambiente menos favorable para las

lombrices. Torres-Torres *et al.* (2015) señalan que la actividad microbiana inicial es clave para estabilizar los parámetros fisicoquímicos del sustrato, como el pH y la temperatura, facilitando la atracción de organismos como lombrices.

Las diferencias observadas entre tratamientos pueden explicarse también por la especificidad de los microorganismos utilizados y sus interacciones con el sustrato orgánico. Riascos-Vallejos *et al.* (2022), destacan que ciertas combinaciones microbianas son más eficaces debido a sus capacidades sinérgicas en la mineralización y producción de metabolitos bioactivos. Estos hallazgos, de acuerdo a lo descrito por Akbar-Babael *et al.* (2016), subrayan la importancia de seleccionar microorganismos compatibles con el material en descomposición y las condiciones ambientales para optimizar el tiempo de colonización en procesos de vermicompostaje.

En lo correspondiente al incremento poblacional de especímenes de *E. foetida* en respuesta a la aplicación de microorganismos para acelerar el proceso de pre-compostaje, se pudo identificar que los tratamientos no alcanzaron significancia estadística ($p=0,9998$). Los tratamientos evaluados, no presentaron diferencias significativas entre sí, con niveles de incremento poblacional que oscilaron entre 60,00 y 80,00 % (Figura 2).

Figura 2. Incremento poblacional de especímenes de *E. foetida* en respuesta a la aplicación de microorganismos para acelerar el proceso de pre-compostaje



Nota. Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

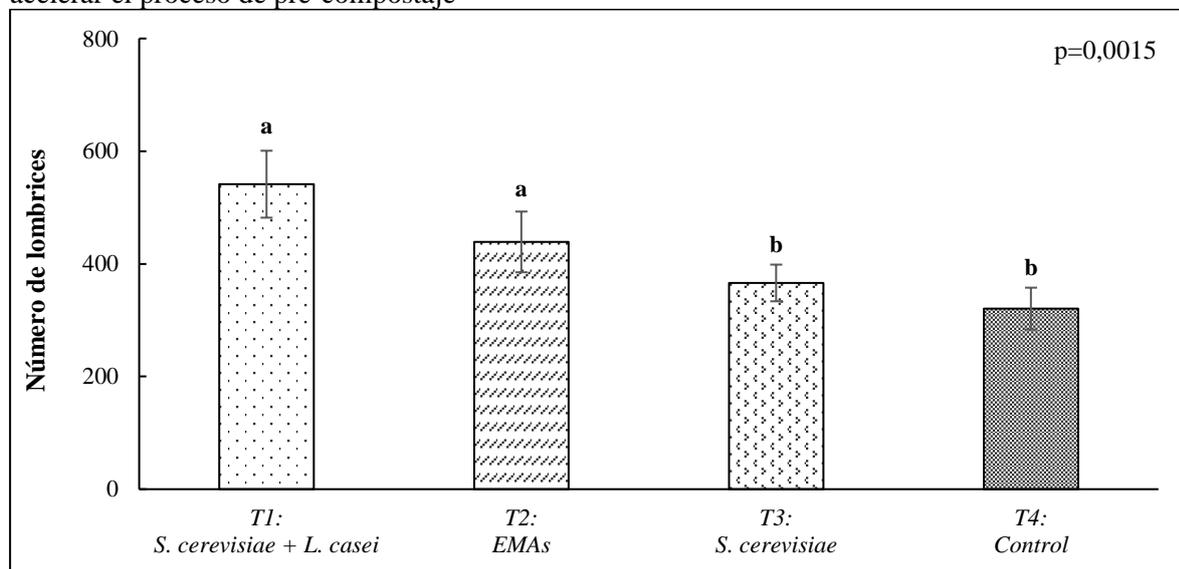
La ausencia de significancia estadística podría atribuirse a que los factores determinantes para el crecimiento poblacional, como la calidad del sustrato y las condiciones ambientales, fueron similares entre tratamientos. Bhat *et al.* (2016), señalan que, aunque los microorganismos pueden mejorar ciertos

parámetros del compost, su impacto en el incremento poblacional de lombrices no siempre es directo. Además, Ramírez-Gottfried *et al.* (2021) sugieren que la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad del ambiente son más relevantes que la presencia específica de microorganismos, lo que explicaría los resultados uniformes observados en el estudio.

Para el total de especímenes de *E. foetida* en respuesta a la aplicación de microorganismos para acelerar el proceso de pre-compostaje, con base al análisis de varianza se pudo establecer que los tratamientos evaluados alcanzaron alta significancia estadística ($p=0,0015$), con un coeficiente de variación de 11,36 %.

El mayor número de lombrices distribuidas se registró en T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}), con un promedio de 541,38 lombrices, sin diferir significativamente de la aplicación de T2: EMAs (*Azotobacter* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *Azospirillum* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *S. cerevisiae*: 1×10^5 UFC ml^{-1}), cuyo promedio fue de 438,94 lombrices distribuidas. Los mencionados tratamientos registraron diferencias significativas por encima de T3: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}) y T4: Control, que registraron valores de 366,09 y 320,51 lombrices distribuidas (Figura 3).

Figura 3. Total de especímenes de *E. foetida* en respuesta a la aplicación de microorganismos para acelerar el proceso de pre-compostaje



Nota. Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

Castañeda-Chávez *et al.* (2019), reportaron que la producción de lombriz roja californiana es notablemente condicionada por el tipo de sustrato utilizado para el vermicompostaje, de manera que T1:

Estiércol de vacuno (100%), registró un incremento de 68,18% lombrices desde el día 30 (396 lombrices) al día 60 de establecidas las composteras (666 lombrices).

Según Alcívar-Llivicura (2023), la densidad poblacional está directamente relacionada con el aumento en la capacidad reproductiva de *E. foetida*, lo que sugiere que un mayor número de individuos puede acelerar los procesos de vermicompostaje. Barba-León (2021), indica que las lombrices son selectivas en su alimentación, migrando constantemente en busca de sustratos con condiciones óptimas que faciliten la síntesis y asimilación del material, lo que podría explicar las variaciones observadas en diferentes tratamientos.

Por otro lado, Gómez-Brandón *et al.* (2010) señalaron que durante las primeras fases del vermicompostaje, las interacciones entre lombrices y microorganismos son determinantes para promover la descomposición eficiente del material orgánico, generando un ambiente sin olores desagradables y fomentando el aumento poblacional. En este contexto, Santana & Benavides (2024), describen que en la etapa inicial del proceso se registra una alta actividad microbiana, la cual contribuye a la transformación del estiércol bovino en dióxido de carbono y favorece la mineralización del nitrógeno, elementos que optimizan el ambiente para las lombrices y apoyan su reproducción.

Para lo correspondiente al número de especímenes de *E. foetida* por etapa de crecimiento registradas en las composteras, se pudo apreciar que, para el número de especímenes en fase juvenil ($p=0,0027$) y fase adulta ($p=0,0004$), los tratamientos alcanzaron el 99% de significancia estadística, mientras que, para el número de especímenes en fase de huevo ($p=0,0116$) y en larva ($p=0,0168$), los tratamientos presentaron un 95% de significancia estadística.

El número tanto de huevos y de especímenes en fase juvenil de *E. foetida*, fue mayor bajo la aplicación de T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}), con un promedio de 76,71 huevos y 145,62 especímenes en fase juvenil, sin diferir significativamente de T2: EMAs (*Azotobacter* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *Azospirillum* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *S. cerevisiae*: 1×10^5 UFC ml^{-1}) y T3: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}), que presentaron valores de 59,18 y 56,81 huevos, y de 117,65 y 110,34 especímenes en fase juvenil, respectivamente. A su vez el tratamiento de mayores promedios, mostró diferencias significativas respecto a T4: Control, que registró un total de 45,16 huevos y 86,87 especímenes de *E. foetida* en fase juvenil (Tabla 1).

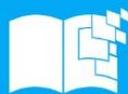


La elevada cantidad de huevos de *E. foetida* registrada en el tratamiento T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}) puede explicarse por la acción combinada de estos microorganismos en la mejora de las condiciones del sustrato. *S. cerevisiae*, al descomponer los compuestos orgánicos complejos, genera metabolitos fácilmente asimilables por las lombrices, mientras que *L. casei* promueve un ambiente ácido que puede inhibir el desarrollo de organismos competidores, favoreciendo la reproducción. Según Romero *et al.* (2018), la calidad microbiológica del sustrato influye directamente en la oviposición, ya que las lombrices tienden a depositar sus huevos en ambientes ricos en nutrientes y con bajos niveles de competencia. La superioridad de T1 frente al control resalta la importancia de la aplicación de microorganismos específicos en la preparación del compost.

Por otra parte, el mayor número de larvas registrado en T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}) puede estar asociado con la disponibilidad continua de materia orgánica predigerida y los efectos sinérgicos entre *S. cerevisiae* y *L. casei*. Estos microorganismos generan compuestos bioactivos y mejoran la digestibilidad del material orgánico, permitiendo que las larvas tengan un suministro constante de nutrientes. Respecto a esto, Rincones *et al.* (2023), indican que las lombrices en esta fase requieren un sustrato con alta disponibilidad de compuestos de carbono y nitrógeno para un crecimiento óptimo. La diferencia significativa frente al control, refuerza que los microorganismos aplicados en T1 no solo mejoran la calidad del sustrato, sino también su capacidad para sustentar un desarrollo larval acelerado y eficiente.

Con la aplicación de T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}), también se registraron los promedios más altos larvas y especímenes de *E. foetida* por compostera, con promedios de 126,38 y 192,67 especímenes, respectivamente, en ausencia de diferencias significativas respecto a T2: EMAs (*Azotobacter* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *Azospirillum* sp.: 1×10^4 UFC ml^{-1} + *S. cerevisiae*: 1×10^5 UFC ml^{-1}), que presentó 118,44 larvas y 143,67 especímenes en fase adulta de *E. foetida*. A su vez, el tratamiento que registró los valores más altos, mostró diferencias significativas por encima de T3: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}) y T4: Control, cuyos promedios de larvas oscilaron entre 89,81 y 92,61 larvas, y de 98,67 a 106,33 especímenes en fase adulta, respectivamente (Tabla 1).

En la fase juvenil, el tratamiento T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}), destacó nuevamente por generar el mayor número de lombrices, lo cual puede atribuirse al equilibrio nutricional



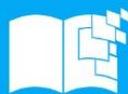
y la estabilidad del sustrato proporcionados por la combinación de microorganismos aplicados. Según Castañeda-Chávez *et al.* (2019), el crecimiento juvenil está condicionado por la calidad y cantidad de nutrientes disponibles, especialmente proteínas y carbohidratos solubles, que se ven aumentados por el efecto fermentador de *S. cerevisiae*. Además, la presencia de *L. casei* puede favorecer una microflora beneficiosa, reduciendo la competencia microbiana y mejorando la supervivencia juvenil. Estos factores explican la diferencia significativa respecto al control, que careció de estas ventajas microbiológicas. Finalmente, en la fase adulta, el mayor promedio observado en T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}) sugiere que el ambiente generado por la actividad de *S. cerevisiae* y *L. casei* no solo es adecuado para las etapas tempranas del ciclo de vida, sino también para la maduración de las lombrices.

Tabla 1. Número de especímenes de *E. foetida* por etapa de crecimiento registradas en las composteras

Tratamientos	Número de especímenes de <i>E. foetida</i> por etapa de crecimiento							
	Huevo		Larva		Fase juvenil		Fase adulta	
T1: <i>S. cerevisiae</i> + <i>L. casei</i>	76.71	a	126.38	a	145.62	a	192.67	a
T2: EMAs	59.18	ab	118.44	ab	117.65	ab	143.67	ab
T3: <i>S. cerevisiae</i>	56.81	ab	92.61	bc	110.34	ab	106.33	b
T4: Control	45.16	b	89.81	c	86.87	b	98.67	b
p-valor	0.0116		0.0168		0.0027		0.0004	

Nota. Promedios con la misma letra no difieren estadísticamente según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$)

De acuerdo a Khatua *et al.* (2018), las lombrices adultas requieren condiciones estables y un suministro constante de nutrientes para alcanzar su tamaño óptimo y reproducirse. La mayor eficiencia evidenciada de T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}) en comparación con los otros tratamientos y el control puede estar vinculada a la capacidad de los microorganismos aplicados para mantener la calidad del sustrato durante todo el proceso de compostaje, garantizando un entorno propicio para la madurez de las lombrices.



CONCLUSIONES

La colonización de *E. foetida* fue más rápida con la aplicación de *S. cerevisiae* (1×10^6 UFC ml^{-1}) combinada con *L. casei* (1×10^6 UFC ml^{-1}), lo que evidencia que la interacción de microorganismos acelera el acondicionamiento del sustrato.

Las etapas de desarrollo de *E. foetida* presentaron mejores resultados en los tratamientos con microorganismos, destacándose el incremento en el número de huevos, larvas y especímenes juveniles y adultos en composteras tratadas con T1: *S. cerevisiae* (1×10^6 UFL ml^{-1}) + *L. casei* (1×10^4 UFC ml^{-1}).

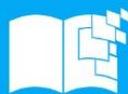
La ausencia de microorganismos adicionados en el proceso de pre-compostaje afectó negativamente el desarrollo y la reproducción de *E. foetida*, demostrando la necesidad de enriquecer el sustrato con agentes microbianos para optimizar la producción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

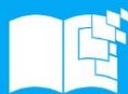
- Aguilar-Paredes, A., Valdés, G., Araneda, N., Valdebenito, E., Hansen, F., & Nuti, M. (2023). Microbial community in the composting process and its positive impact on the soil biota in sustainable agriculture. *Agronomy*, 13(2), e542.
- Akbar-Babael, A., Goudarzi, G., Neisi, A., Ebrahimi, Z., & Alavi, N. (2016). Vermicomposting of cow dung, kitchen waste and sewage sludge with bagasse using *Eisenia foetida*. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 4(42), 88-94.
- Alcívar-Llivicura, M. (2023). Comportamiento de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) en diferentes sustratos orgánicos. *Journal of Science and Research*, 8(4), 74-84.
- Barba-León, M. (2021). Potencial productivo de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en la dinamización de los agroecosistemas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador. 59 p.
- Bhat, S., Singh, J., & Vig, A. (2016). Effect on growth of earthworm and chemical parameters during vermicomposting of pressmud sludge mixed with cattle dung mixture. *Procedia Environmental Sciences*, 35, 425- 434.
- Blanco-Villacorta, M. (2023). El vermicompostaje una alternativa para potenciar la agricultura urbana. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 10(1), 90-103.
- Camacho, A., Martínez, L., Ramírez, H., Valenzuela, R., & Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 291-300.



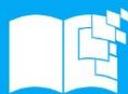
- Campo-Martínez, A., Acosta-Sánchez, R., Morales-Velasco, S., & Prado, F. (2014). Evaluation of microorganisms of mountain (MM) in the production of chard on the Plateau of Popayán. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(1), 79-87.
- Canales-Gutiérrez, A., Solís-Ramos, B., Panca-Castañeda, R., & Quispe-Cáceres, B. (2020). Crianza de *Eisenia foetida* (Lombriz Roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico. *Ecología Aplicada*, 19(2), 87-92.
- 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.
- Castañeda-Chávez, V., Guivin-Guadalupe, A., & Cuzco-Mas, E. (2019). Evaluación de diferentes sustratos en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a efectos de mejorar su producción. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 3(2), 57–62.
- Chancafe-Rodríguez, J. (2023). Análisis medioambiental del manejo de residuos sólidos de los mercados abiertos en Perú, una revisión narrativa. *Revista de Ciencias*, 25(2), e12514.
- Comisión para la Cooperación Ambiental. (2018). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal - Canadá. 52 p.
- Contreras-Contreras, E., Gómez-Rosales, S., Bustos-Contreras, D., & Ángeles, M. (2018). Propuesta participativa para el manejo integral de excretas de ganado en sistemas de producción de traspatio, caso Microcuenca La Joya, Querétaro. *Agroproductividad*, 11(9), 145-153.
- Durazno-Coronel, A. (2018). Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca. Cuenca - Ecuador. 86 p.
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., Lores, M., & Domínguez, J. (2010). Papel de las lombrices de tierra en la degradación del bagazo de uva: Efectos sobre las características químicas y la microflora en las primeras etapas del proceso. *Acta Zoológica Mexicana*, 26(spe2), 397-408.
- Khatua, C., Sengunpta, S., Balla, V., Kundu, B., Chakraborti, A., & Tripathi, S. (2018). Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stemwaste using *Eisenia foetida*. *Waste Management*, 79, 287-295.



- Mamani-Mamani, G., Mamani-Pati, F., Sainz-Mendoza, H., & Villca-Huanaco, R. (2012). Red worm behavior (*Eisenia* spp.) in vermicomposting systems of organic residues. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 3(1), 44-54.
- Nova, M., & Mamani, B. (2020). Efecto de la aplicación de microorganismos eficientes con y sin la pulpa de celulosa contenida en el gel del pañal de bebe para la producción de humus. *Acta Nova*, 9(5-6), 737-753.
- Olle, M. (2019). Review: Vermicompost, its importance and benefit in agriculture. *Agraarteadus*, 30(2), 93-98.
- Oñate-Pacheco, C. (2023). Tratamiento mediante vermicompostaje de residuos orgánicos generados en el mercado huagra corral en la parroquia Izamba, cantón Ambato. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba – Ecuador. 112 p.
- Pan, I., Dam, B., & Sen, S. (2012). Composting of common organic wastes using microbial inoculants. *Microbiology Division, Department of Botany*, (2), 127-134.
- Paul, E. (2007). *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. Third Edition. Elsevier. Chennai - India. 552 p.
- Peralta-Verán, L., Juscamaita-Morales, J., & Meza-Contreras, V. (2016). Obtención y caracterización de abono orgánico líquido a través del tratamiento de excretas del ganado vacuno de un establo lechero usando un consorcio microbiano ácido láctico. *Ecología Aplicada*, 15(1), 1-10.
- Pozo, A., Quezada, J., & Cerón, A. (2012). Captura, identificación, multiplicación, y aplicación de microorganismos eficientes autóctonos (EMAs), para su aprovechamiento en la producción integral agropecuaria. *SATHIRI- CITTE*, 1(2), 1-19.
- Pradas-Paredes, A. (2020). Tratamiento de residuos orgánicos mediante vermicompostaje: Interacciones lombriz-microorganismo y aplicaciones biotecnológicas del vermicompost. Universidad de La Laguna. San Cristóbal de La Laguna - España. 32 p.
- Pyar, H., & Peh, K. (2018). Chemical compositions of banana peels (*Musa sapientum*) fruits cultivated in Malaysia using proximate analysis. *Research Journal of Chemistry and Environment*, 22(2), 108-111.



- Ramírez-Gottfried, R., Puente-Valenzuela, C., Chávez-Simental, J., Espinosa-Palomeque, B., García-Carrillo, M., Guillén-Enríquez, R., & González-Cervantes, G. (2021). Extracto de vermicompost como medio basal en la etapa de multiplicación y enraizamiento *in vitro* de *Dasyilirion cedrosanum*. *Terra Latinoamericana*, 39, e997.
- Ramírez-Joyo, N. (2017). Lombricultivo en la producción de abono orgánico para fomento de valores ambientales. *Revista Scientific*, 2(3), 276-288.
- Ramos-Oseguera, C., Castro-Ramírez, A., León-Martínez, N., Álvarez-Solís, J., & Huerta-Lwanga, E. (2019). Lombricomposta para recuperar la fertilidad de suelo franco arenoso y el rendimiento de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). *Terra Latinoamericana*, 37(1), 45-55.
- Riascos-Vallejos, A., Crespo, G., Guerrero-Guerrero, E., & Medina-Mesa, Y. (2022). Efecto de la fuente de alimento en la composición química del vermicompost de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Cuban Journal of Agricultural Science*, 56(3), e28.
- Rincones, P., Zapata, J., Figueroa, O., & Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Información tecnológica*, 34(2), 11-20.
- Romero, C., Ocampo, J., Sandoval, E., & Tobar, J. (2018). Evaluación de sustratos para la producción de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*). *Centro Agrícola*, 45(4), 68-74.
- Rubiano-Flórez, D., Chegwin-Angarita, C., Melo-Martínez, O., & Nieto-Ramírez, I. (2019). Estudio comparativo de la producción de biomasa en fermentación superficial y en estado líquido de macromicetos con diferentes fuentes nutrimentales. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 39-46.
- Sánchez, D., Parra, A., Ortega, F., & Acevedo, M. (2018). Producción de abono orgánico mediante el compostaje aerotérmico de residuos de poda. *Revista Bistua Facultad de Ciencias Basicas* 16(1):156-162.
- Santana, F., & Benavides, H. (2024). Seguimiento fisicoquímico en camas de lombricultura – modelación químico computacional 3D del ácido húmico. *Revista de Investigación Talentos*, 11(1), 32-46.



- Somarriba, R., & Guzmán, F. (2004). Guía de Lombricultura: Guía técnica. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 46 p.
- Terán-Torres, A. (2017). Producción de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos orgánicos. Universidad Técnica de Babahoyo. Babahoyo - Ecuador. 32 p.
- Torres-Torres, A., Quipuzco-Ushñahua, L., & Meza-Contreras, V. (2015). Influencia de la fermentación láctica (abono bokashi) en el pre-compost para la producción de biogás y biol en biodigestores tipo batch. *Anales Científicos*, 76 (2), 269-274.
- Umaña, S., Rodríguez, K., & Rojas, C. (2017). ¿Funcionan realmente los microorganismos de montaña (MM) como estrategia de biofertilización?: Un enfoque de ingeniería de biosistemas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 51(2), 133-144.
- Vázquez, J., & Loli, O. (2018). Compost and vermicompost as amendments in the recovery of a soil degraded by the management of *Gypsophila paniculata*. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 43-52.
- Velecela, S., Meza, V., García, S., Alegre, J., & Salas, C. (2019). Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Raphanus sativus* L.). *Scientia Agropecuaria*, 10(2), 229-239.
- Wang, K., He, C., You, S., Liu, W., Wang, W., Zhang, R., . . . Ren, N. (2015). Transformation of organic matters in animal wastes during composting. *Journal of Hazardous Materials*, 300, 745-753.

