

Humus de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia fetida*) a Partir de la Combinación de Residuos Orgánicos

California Red Worm Humus (*Eisenia fetida*) from the Combination of Organic Wastes

Marco Vinicio De-la-Cruz Chicaiza^{1*}

¹ Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, El Carmen, Ecuador

Recibido: 20 de noviembre de 2022. **Aceptado:** 28 de diciembre de 2022. **Publicado en línea:** 5 de enero de 2023

*Autor de correspondencia: marco.delacruz@uleam.edu.ec

Resumen

Justificación: la producción de humus de lombriz es una alternativa sostenible para el manejo de desechos y la mejora de suelos agrícolas. Sin embargo, la calidad y composición del humus varían según la naturaleza de los residuos utilizados. **Objetivo:** evaluar la combinación de diferentes residuos orgánicos con estiércol de ganado vacuno en la producción de humus utilizando *Eisenia fetida*. **Metodología:** se empleó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos consistieron en: T1, cáscara de cacao y estiércol (50% cada uno); T2, raquis de plátano y estiércol (50% cada uno); T3, pollinaza y estiércol (50% cada uno); T4, residuo de mercado y estiércol (50% cada uno); y T5, estiércol de ganado vacuno (100%). Se evaluaron los parámetros: peso y longitud de las lombrices, densidad poblacional, cantidad de humus producido y composición química. **Resultados:** el tipo de sustrato influye principalmente en el peso de *Eisenia fetida*. No se observaron diferencias significativas en la densidad de lombrices, ni en la cantidad y calidad del humus entre los tratamientos. El estiércol vacuno actuó como base nutritiva estable, proporcionando condiciones óptimas para la actividad de *Eisenia fetida*. **Conclusión:** la combinación de residuos orgánicos con estiércol de ganado vacuno permite obtener humus de calidad uniforme, lo que demuestra la flexibilidad de *Eisenia fetida* para adaptarse a distintos sustratos.

Palabras clave: estiércol vacuno, fertilización orgánica, lombricultura, manejo de residuos, vermicompostaje.

Abstract

Justification: the production of worm humus is a sustainable alternative for waste management and the improvement of agricultural soils. However, the quality and composition of humus vary depending on the nature of the residues used. **Objective:** to evaluate the combination of different organic residues with cattle manure in humus production using *Eisenia fetida*. **Methodology:** a completely random experimental design was used with five treatments and three replications. The treatments consisted of: T1, cocoa shells and manure (50% each); T2, banana rachis and manure (50% each); T3, poultry manure and manure (50% each); T4, market waste and manure (50% each); and T5, cattle manure (100%). The parameters evaluated were weight and length of the worms, population density, amount of humus produced, and chemical composition. **Results:** the substrate type primarily influenced the weight of *Eisenia fetida*. No significant differences were observed in growth, worm density, or the quantity and quality of humus between the treatments. Cattle manure served as a stable nutritional base, providing optimal conditions for the activity of *Eisenia fetida*. **Conclusion:** the combination of organic residues with cattle manure produces uniformly high-quality humus, demonstrating the flexibility of *Eisenia fetida* to adapt to various substrates.

Keywords: cattle manure, organic fertilization, vermiculture, waste management, vermicomposting.

Cita: De-la-Cruz Chicaiza. M. V. (2023). Humus de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia fetida*) a Partir de la Combinación de Residuos Orgánicos. *Erevna: Research Reports*, 1(1), 14-28. <https://doi.org/10.70171/qe9dvn74>



INTRODUCCIÓN

La lombricultura es una práctica que ha cobrado relevancia en las últimas décadas, impulsada por la necesidad de encontrar soluciones sostenibles para la gestión de residuos orgánicos y la regeneración de suelos agrícolas. Este sistema de compostaje utiliza lombrices, principalmente *Eisenia fetida*, para descomponer la materia orgánica y transformarla en humus, un compuesto de gran valor para la agricultura. A medida que el interés por la agricultura sostenible y la economía circular crece, se hace cada vez más relevante identificar qué tipos de residuos orgánicos son los más adecuados para optimizar la producción de humus y maximizar sus beneficios.

Humus de Lombriz: Características y Beneficios

El humus de lombriz es considerado uno de los biofertilizantes más eficientes debido a sus propiedades fisicoquímicas, entre las que destaca su capacidad para mejorar la estructura del suelo, favoreciendo una mejor aireación, retención de agua y drenabilidad, lo que optimiza el crecimiento de las raíces. Además, tiene una alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), lo que le permite retener nutrientes esenciales como calcio, magnesio y potasio, liberándolos gradualmente a las plantas. Su pH ligeramente ácido favorece la absorción de nutrientes, mientras que su capacidad para retener agua reduce la evaporación y mantiene el suelo adecuadamente hidratado. A su vez, el humus de lombriz contiene nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, así como micronutrientes como hierro, manganeso, cobre y zinc, que son vitales para el crecimiento vegetal (Amaya et al., 2022; Edwards & Arancon, 2022; Muhamediyeva & Nurumova, 2023).

Desde el punto de vista biológico, el humus de lombriz es rico en microorganismos beneficiosos, como bacterias, hongos y actinobacterias, que no solo contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, sino que también protegen a las plantas de patógenos y favorecen la salud del suelo. Esta diversidad microbiana incrementa la actividad biológica en el suelo, promoviendo un ciclo de nutrientes más eficiente (Samal & Mohanty, 2024). Además, los microorganismos presentes en el humus estimulan la inmunidad de las plantas, ayudando a defenderlas de enfermedades y plagas (Kanivets et al., 2021). El humus también contiene hormonas vegetales, como auxinas y citoquininas, que estimulan la formación de raíces y la germinación de semillas, favoreciendo el desarrollo temprano y el crecimiento robusto de las plantas (Wong et al., 2020). Estas propiedades hacen que el humus de lombriz sea una enmienda agrícola de gran estabilidad y efectividad a largo plazo.

Eisenia fetida en la Producción de Humus

Eisenia fetida, conocida como lombriz roja californiana, es una de las especies más utilizadas en lombricultura, por su alta eficiencia en la conversión de materia orgánica en humus (Villarreal et al., 2021). Esta lombriz tiene la capacidad de consumir diariamente una cantidad de residuos equivalente a su propio peso, transformando la materia orgánica en humus en un período relativamente corto (Musyoka et al., 2020). Además, *Eisenia fetida* se distingue por su resistencia a condiciones de confinamiento y su tolerancia a variaciones en la temperatura y humedad, lo que le permite ser empleada en una amplia variedad de sistemas, desde pequeños jardines urbanos hasta instalaciones industriales (Mishra & Samal, 2021). La reproducción de *Eisenia fetida* es otro factor que contribuye a su efectividad en el proceso de vermicompostaje. Esta especie tiene una tasa de reproducción alta, con una rápida puesta de huevos, lo que asegura la renovación constante de la población de lombrices (Degefe & Taire, 2017).

El ciclo continuo de reproducción, alimentación y excreción de *Eisenia fetida* acelera el proceso de descomposición, resultando en un humus de alta calidad con una estructura estable y una riqueza nutricional que mejora significativamente las propiedades del suelo, como la retención de agua, la estructura física y la biodiversidad microbiana (Hajam et al., 2023).

Según estudios como el de Bellitürk et al. (2020); Boruah et al. (2020) y Das et al. (2022), el proceso de vermicompostaje realizado por *Eisenia fetida* se caracteriza por una gran eficiencia en la transformación de residuos de origen vegetal, animal e incluso agroindustrial. La lombriz descompone la materia orgánica de manera constante, alimentándose de ella y excretando un material que es altamente beneficioso para el suelo. Sin embargo, la eficiencia del proceso de vermicompostaje depende en gran medida de los tipos de residuos orgánicos que se utilizan como sustratos. Según Arora & Kaur (2019) y Kiyasudeen et al. (2016), *Eisenia fetida* muestra una excelente capacidad para descomponer residuos ricos en carbono, como restos de hojas secas o paja, pero su desempeño puede verse afectado cuando se enfrentan residuos con una proporción elevada de lignina o compuestos difíciles de descomponer, como algunos restos de madera. En este contexto, la investigación de su desempeño frente a diversos residuos orgánicos ofrece una oportunidad para optimizar procesos de compostaje y mejorar la calidad de los productos obtenidos.

Residuos Orgánicos en la Lombricultura

La calidad y composición del humus varían considerablemente según la naturaleza de los residuos utilizados (Lanno et al., 2022), lo que ha llevado a numerosos estudios a investigar cuáles son los más adecuados para maximizar tanto el rendimiento de *Eisenia fetida* como la calidad final del fertilizante. Los residuos de cocina, por ejemplo, son altamente biodegradables y ricos en materia orgánica, pero su desequilibrio en la relación carbono-nitrógeno (C:N) puede afectar la eficiencia del proceso, generando un humus con niveles moderados de nitrógeno disponible, limitando así su efectividad en cultivos con altas demandas de este nutriente (Rorat & Vandenbulcke, 2019). Por otro lado, el estiércol animal, especialmente el de vacuno, es una fuente rica en nitrógeno que favorece el crecimiento y la reproducción de las lombrices, lo que acelera el proceso de vermicompostaje (Rahman et al., 2020). Sin embargo, su uso puede presentar desafíos relacionados con la presencia de patógenos y residuos de antibióticos (Swati & Hait, 2018), aunque estudios como el de Fernández y López (2020) han demostrado que, al combinarlo con residuos vegetales, es posible obtener un humus de mejor calidad y reducir el tiempo de compostaje (Sharma et al., 2023).

Los residuos agrícolas, como restos de cosecha y paja, representan otra opción ampliamente estudiada. Estos residuos aportan una cantidad considerable de carbono, pero su lenta tasa de descomposición puede limitar la eficiencia del proceso si no se combinan con residuos ricos en nitrógeno (Raza et al., 2022). Cao et al. (2021) encontraron que al mezclar residuos agrícolas con estiércol animal se obtiene un humus con un mejor equilibrio de nutrientes y una mayor estabilidad de la materia orgánica. La relación carbono-nitrógeno es, por tanto, un factor determinante en el proceso de vermicompostaje, ya que una proporción óptima favorece la actividad metabólica de las lombrices y la descomposición eficiente de la materia orgánica, mientras que desequilibrios significativos pueden ralentizar el proceso o generar condiciones anaeróbicas que afectan la calidad del humus (Rivas et al., 2019).

Además del tipo de residuo, las condiciones ambientales influyen en la eficiencia del proceso. Factores como la temperatura, la humedad y el pH deben mantenerse en rangos específicos para



maximizar la actividad biológica de *Eisenia fetida*. Temperaturas entre 15 y 25 °C, una humedad cercana al 70 % y un pH ligeramente ácido a neutro son condiciones óptimas para el desarrollo de esta especie (Edwards & Arancon, 2022). El control preciso de estas variables durante el proceso de vermicompostaje no solo incrementa el volumen de humus producido, sino que también mejora su calidad en términos de contenido de nutrientes y estabilidad estructural (Zhou et al., 2021).

Pese a los avances en la investigación sobre la lombricultura, persisten varias limitaciones. La mayoría de los estudios se enfocan en residuos específicos, dejando un vacío en cuanto a la exploración de combinaciones de residuos que podrían generar sinergias beneficiosas. Estas limitaciones evidencian la necesidad de continuar investigando cómo diferentes tipos y combinaciones de residuos orgánicos influyen en la calidad del humus producido por *Eisenia fetida*, lo que a su vez podría optimizar la gestión de residuos y fomentar prácticas agrícolas más sostenibles.

Por ello, esta investigación tuvo como objetivo principal: Evaluar la combinación de diferentes residuos orgánicos con estiércol de ganado vacuno en la producción de humus utilizando *Eisenia fetida*. Específicamente, se pretende: a) Determinar el efecto de las combinaciones de residuos orgánicos y estiércol de ganado vacuno sobre la densidad poblacional, la biomasa (peso) y la longitud de *Eisenia fetida*, b) Evaluar la influencia de los distintos tratamientos en el rendimiento total del humus producido, y c) Evaluar la composición química del humus producido, enfocándose en el contenido de materia orgánica, macronutrientes y micronutrientes esenciales.

Se planteó la hipótesis de que, las combinaciones de diferentes residuos orgánicos con estiércol de ganado vacuno influyen significativamente en el crecimiento (peso y longitud) y la densidad poblacional de *Eisenia fetida*, así como en el rendimiento y las propiedades químicas del humus.

METODOLOGÍA

Área de Estudio

La investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental “Río Suma” de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ubicada en la extensión El Carmen, provincia de Manabí, Ecuador. Su localización geográfica corresponde a las coordenadas 0°15'38.3"S y 79°25'48.3"W (-0.260650, -79.430077). La zona presenta un clima de trópico húmedo, con temperaturas que varían entre 20,4 °C y 29,2 °C, una humedad relativa promedio del 87,45 %, y una precipitación media anual de 233,83 mm, a una altitud de 260 msnm.

Diseño Experimental

El diseño experimental empleado en la investigación fue un Diseño Completamente al Azar (DCA), con cinco tratamientos (cuatro principales y un testigo), cada uno con tres repeticiones, lo que permitió obtener un total de 12 unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron distribuidas de manera aleatoria dentro de un área total de 30 m², y cada cama de lombrices midió 20 m de largo, 1,5 m de ancho y 0,4 m de altura, con un área individual de 12 m², garantizando así la independencia y homogeneidad necesarias para validar estadísticamente los resultados.

Tratamientos

Los tratamientos consistieron en combinaciones de diferentes residuos orgánicos con estiércol de ganado vacuno (Tabla 1):

Tabla 1. Características de los Tratamientos Experimentales

Tratamientos Experimentales	
T1	Cáscara de cacao (50 %) + estiércol (50 %)
T2	Raquis de plátano (50 %) + estiércol (50 %)
T3	Pollinaza (50 %) + estiércol (50 %)
T4	Residuo de mercado (50 %) + estiércol (50 %)
T5	Estiércol de ganado vacuno (100 %).

Manejo Experimental

La cáscara de cacao se obtuvo de una planta procesadora de cacao situada en la zona de Manabí. La cáscara fue recolectada directamente de los procesos de postcosecha, asegurando su frescura y disponibilidad en la cantidad necesaria para la mezcla con el estiércol. El raquis de plátano, un subproducto de la cosecha se recolectó de una finca local de plátanos. Estos fueron triturados y preparados para la mezcla con estiércol de ganado vacuno. La pollinaza, producto de la avicultura, fue proporcionada por una granja avícola cercana a la zona experimental, donde se recolectaron los excrementos de las aves, que son comúnmente utilizados como abono orgánico. El residuo de mercado fue obtenido de un mercado local de la ciudad de El Carmen, donde se recolectaron restos de frutas y verduras que no fueron comercializados. Este material fue cuidadosamente seleccionado para evitar contaminación y asegurar su adecuación como fuente de nutrientes para las lombrices. El estiércol de ganado vacuno se obtuvo de una finca ganadera local, donde se recolectó el estiércol fresco para ser utilizado en todos los tratamientos como base nutritiva para las lombrices.

Cada combinación de residuos fue distribuida en camas de compostaje, asegurando una adecuada aireación y humedad para el óptimo desarrollo de *Eisenia fetida*. Las camas fueron preparadas con madera, creando cajones separados para cada tratamiento, y se mantuvo una humedad constante de aproximadamente 60-70 % mediante riego tipo lluvia. El nivel de humedad fue verificado tomando un puñado del sustrato, el cual debía desprender gotas de agua al presionarlo, lo que garantizaba un lecho esponjoso y bien oxigenado, ideal para las lombrices. Para evitar la fuga de lombrices y protegerlas de depredadores, las camas fueron cubiertas con plástico negro.

Cada tratamiento fue dispuesto en su respectiva cama, con el raquis de plátano cortado en trozos pequeños, la cáscara de cacao picada y distribuida, y la pollinaza aplicada directamente sobre la cama. Los residuos de mercado fueron recolectados y esparcidos uniformemente, mientras que el estiércol de ganado vacuno fermentado fue trasladado a la cama correspondiente para su uso en el ensayo. Todo el proceso se realizó con el fin de crear condiciones óptimas para el crecimiento y actividad metabólica de las lombrices, permitiendo la evaluación de la densidad poblacional y el rendimiento del humus en cada tratamiento.

Métodos de Evaluación

Se utilizó un método de muestreo aleatorio para estimar el peso, la longitud y la densidad poblacional de *Eisenia fetida*. Asimismo, se evaluó el rendimiento del humus al finalizar el proceso de vermicompostaje.

Peso promedio: las lombrices fueron pesadas en conjunto utilizando una balanza digital con precisión

de 0,01 g, y el peso promedio individual se calculó dividiendo el peso total de la muestra por el número de lombrices.

Longitud promedio: se determinó utilizando una regla milimetrada. El promedio se obtuvo sumando las longitudes individuales y dividiendo por el número de lombrices.

Densidad poblacional: se estimó en lombrices por metro cuadrado (lombrices^{m²}) mediante la relación entre el número total de lombrices contadas en el área muestreada y la superficie del sustrato evaluada.

Rendimiento del humus: se calculó dividiendo el peso del humus seco obtenido por el peso inicial del sustrato húmedo, y multiplicando por 100 para expresarlo en porcentaje.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante pruebas de normalidad (*Shapiro-Wilk*) y homogeneidad de varianza (*Levene*). Posteriormente, se aplicó un ANOVA de una vía para identificar diferencias significativas entre tratamientos, seguido de pruebas de comparación múltiple, utilizando Tukey. Se consideró un nivel de significancia de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Los datos presentados en la Tabla 2 revela que las combinaciones de residuos orgánicos y estiércol vacuno tienen un impacto en el peso y la longitud de *Eisenia fetida*. Los valores obtenidos para ambos parámetros fueron comparados y se observaron diferencias estadísticas en el peso, pero no en la longitud.

En cuanto al peso, se observó una diferencia significativa entre los tratamientos. El tratamiento T5, compuesto únicamente por estiércol de ganado vacuno (100%), resultó en un peso promedio de 0,38 g, lo que fue significativamente mayor que los demás tratamientos ($p < 0,05$), que presentaron valores cercanos a 0,32 g. Las combinaciones de residuos orgánicos (como cáscara de cacao, raquis de plátano, pollinaza y residuo de mercado) junto con estiércol no mostraron diferencias significativas entre sí, ya que todas se agruparon en la misma categoría estadística. Esto sugiere que el estiércol puro favorece un mayor desarrollo en términos de peso, lo que podría estar relacionado con su mayor contenido nutricional o capacidad de descomposición, en comparación con las mezclas de residuos orgánicos.

En términos de longitud, no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$), ya que todas las combinaciones de residuos orgánicos y estiércol, así como el estiércol puro, presentaron resultados similares, alrededor de 6,7 (T5: estiércol), a 10,3 cm (T1: cáscara de cacao + estiércol). Este hallazgo podría indicar que, independientemente de la combinación de residuos o el tipo de estiércol, la longitud de las lombrices no se ve significativamente influenciada por estos factores dentro de los parámetros establecidos en el experimento.

En general, los resultados sugieren que el tipo de sustrato influye principalmente en el peso de *Eisenia fetida*, siendo el estiércol puro el más beneficioso para su crecimiento en términos de peso, mientras que la longitud parece no estar significativamente afectada por el tipo de sustrato utilizado.

Tabla 2. Peso y Longitud de *Eisenia fetida* Bajo Combinaciones de Residuos Orgánicos

	Tratamientos	Peso (g)	Longitud (cm)
T1	Cáscara de cacao (50 %) + estiércol (50 %)	0,32 ^a	6,73 ^a
T2	Raquis de plátano (50 %) + estiércol (50 %)	0,34 ^{ab}	7,00 ^a
T3	Pollinaza (50 %) + estiércol (50 %)	0,35 ^{ab}	7,99 ^a
T4	Residuo de mercado (50 %) + estiércol (50 %)	0,32 ^a	8,03 ^a
T5	Estiércol de ganado vacuno (100 %).	0,38 ^b	10,3 ^a

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

La Tabla 3 muestra que la densidad poblacional de *Eisenia fetida* no presentó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p > 0,05$). No obstante, los valores de densidad en los tratamientos varían entre 592,5 lombrices/m² (T2: raquis de plátano + estiércol) y 707 lombrices/m² (T4: residuo de mercado + estiércol), con el resto de los tratamientos mostrando valores cercanos a los 600 lombrices/m². Sin embargo, dado que no se presentan diferencias significativas, todos los tratamientos parecen tener una capacidad similar para soportar la densidad de lombrices, independientemente de la mezcla de residuos orgánicos y estiércol utilizado.

Tabla 3. Densidad Poblacional de *Eisenia fetida* Bajo Combinaciones de Residuos Orgánicos

	Tratamientos	Densidad (lombrices/m ²)
T1	Cáscara de cacao (50 %) + estiércol (50 %)	683a
T2	Raquis de plátano (50 %) + estiércol (50 %)	592,5a
T3	Pollinaza (50 %) + estiércol (50 %)	647a
T4	Residuo de mercado (50 %) + estiércol (50 %)	707a
T5	Estiércol de ganado vacuno (100 %)	643,5a

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

La Tabla 4 registra el rendimiento de humus de lombriz (*Eisenia fetida*) utilizando diferentes combinaciones de residuos orgánicos. Los resultados no revelaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p > 0,05$). El rendimiento del humus varía de 202,53 g (T2: raquis de plátano + estiércol) a 243,38 g (T5: estiércol de ganado vacuno), con otros tratamientos mostrando rendimientos cercanos a los 217-225 g. Aunque existe una pequeña variación en los valores, la falta de diferencias significativas indica que las combinaciones de residuos orgánicos con estiércol vacuno no influyen de manera notable en la producción de humus.

Tabla 4. Rendimiento del Humus Bajo Combinaciones de Residuos Orgánicos y Estiércol Vacuno

	Tratamientos	Rendimiento (g)
T1	Cáscara de cacao (50 %) + estiércol (50 %)	217,01a
T2	Raquis de plátano (50 %) + estiércol (50 %)	202,53a
T3	Pollinaza (50 %) + estiércol (50 %)	225,56a
T4	Residuo de mercado (50 %) + estiércol (50 %)	225,81a
T5	Estiércol de ganado vacuno (100 %)	243,38a

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

Análisis Químico del Humus de Lombriz

La Tabla 4 presenta los resultados del análisis químico del humus de lombriz producido a partir de diferentes combinaciones de residuos orgánicos y estiércol vacuno. Los valores reflejan variaciones en los contenidos de pH, conductividad eléctrica (C.E.), materia orgánica (M.O.), nitrógeno amoniacal (NH₄), fósforo (P), azufre (S), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), bases totales, y micronutrientes como cobre (Cu), boro (B), hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). A continuación, se describen los resultados de cada marcador evaluado:

En cuanto al **pH**, los valores se mantienen relativamente constantes entre los tratamientos, con un rango que varía de 6,13 (T3: pollinaza + estiércol) a 6,20 (T5: estiércol vacuno), lo que indica que el humus producido tiende a ser ligeramente ácido, independientemente del tipo de sustrato utilizado.

Respecto a la **conductividad eléctrica (C.E.)**, que refleja la salinidad de los humus, los valores oscilan entre 3,41 ds/m (T3: pollinaza + estiércol) y 4,13 ds/m (T5: estiércol vacuno). T4 (residuo de mercado + estiércol) muestra un valor elevado de 3,94 dS/m, mientras que T1 y T2 presentan valores intermedios de 3,77 dS/m y 3,89 dS/m, respectivamente. Estos resultados indican una ligera variabilidad en la salinidad de los tratamientos.

En términos de **materia orgánica (M.O.)**, los porcentajes varían entre 12,47% (T1: cáscara de cacao + estiércol) y 13,30% (T3: pollinaza + estiércol). Los tratamientos T4 y T5 muestran valores cercanos, con 13,02 % y 13,16 %, respectivamente, mientras que T2 alcanza 12,89 %, lo que indica que la pollinaza favorece un mayor contenido de materia orgánica.

En cuanto a los niveles de **nitrógeno amoniacal (NH₄)**, los valores son relativamente similares, con un rango de 38,69 ppm (T4: residuo de mercado + estiércol) a 43,84 ppm (T5: estiércol vacuno). T2 presenta 42,55 ppm, mientras que T1 y T3 muestran valores similares de 39,97 ppm y 39,33 ppm, respectivamente, lo que refleja que el estiércol vacuno aporta una mayor disponibilidad de nitrógeno.

Por otro lado, los niveles de **fósforo (P)** varían entre 269,12 ppm (T3: pollinaza + estiércol) y 292,18 ppm (T4: residuo de mercado + estiércol). T1, T2 y T5 muestran valores intermedios de 288,62 ppm, 271,93 ppm y 275,87 ppm, respectivamente, sugiriendo que el residuo de mercado contribuye a una mayor disponibilidad de fósforo en el humus.

En cuanto al **azufre (S)**, los valores fluctúan entre 157,91 ppm (T3: pollinaza + estiércol) y 192,31 ppm (T2: raquis de plátano + estiércol), T5 presenta un valor de 185,91 ppm, mientras que T1 y T4 registran valores de 164,54 ppm y 158,65 ppm, respectivamente, destacando el raquis de plátano como una buena fuente de azufre.

Los niveles de **potasio (K)**, por su parte, son bastante consistentes, con un rango de 3,17 meq/100 g (T1: cáscara de cacao + estiércol) a 3,79 meq/100 g (T3: pollinaza + estiércol). Los tratamientos T4 y T5 presentan valores intermedios de 3,61 meq/100 g y 3,73 meq/100 g, respectivamente, mientras que T2 alcanza 3,57 meq/100 g, evidenciando que la pollinaza aporta una mayor concentración de este macronutriente esencial.

En cuanto a los niveles de **calcio (Ca)**, los valores se mantienen constantes en 10,00 meq/100 g para T1 y T3, mientras que T4 y T5 alcanzan 12,00 meq/100 g. T2 presenta el valor más bajo, con 9,00 meq/100 g. Lo cual sugiere que el estiércol proporciona mayores niveles de calcio. Los niveles de **magnesio (Mg)** son bastante homogéneos, con un rango de 2,71 meq/100 g (T1; cáscara de cacao +

estiércol) a 2,84 meq/100 g (T3: pollinaza + estiércol), con valores similares en T2, T4 y T5, lo que indica poca variación en este nutriente entre los diferentes tratamientos.

La suma de **bases** (Ca + Mg + K) presenta un rango entre 15,37 meq/100 g (T2: raquis de plátano + estiércol) y 18,54 meq/100 g (T5: estiércol vacuno), con T4 registrando un valor cercano de 18,43 meq/100 g, lo que sugiere una mayor capacidad de intercambio catiónico en estos tratamientos.

En cuanto a los micronutrientes, los niveles de **cobre** (Cu) son relativamente constantes, con un rango de 2,10 ppm en varios tratamientos y un máximo de 3,20 ppm en T3. Los niveles de **boro** (B) varían entre 2,02 ppm (T4: residuo de mercado + estiércol) y 5,27 ppm (T1: cáscara de cacao + estiércol). Los valores de **hierro** (Fe) oscilan entre 43,40 ppm (T3: pollinaza + estiércol) y 66,90 ppm (T1: cáscara de cacao + estiércol). Los niveles de **zinc** (Zn) varían entre 17,90 ppm (T2: raquis de plátano + estiércol) y 21,70 ppm (T1: cáscara de cacao + estiércol). Por último, los niveles de **manganeso** (Mn) fluctúan entre 7,30 ppm (T4: residuo de mercado + estiércol) y 10,60 ppm (T5: estiércol vacuno).

En términos de **relaciones iónicas**, la relación **Ca/Mg** varía entre 3,21 (T2: raquis de plátano + estiércol) y 4,27 (T5: estiércol vacuno). La relación **Mg/K** es bastante homogénea, con un rango entre 0,75 (varios tratamientos) y 0,85 (T1: cáscara de cacao + estiércol). Finalmente, la relación **(Ca+Mg)/K** varía entre 3,31 (T2: raquis de plátano + estiércol) y 4,11 (T4: residuo de mercado + estiércol).

Tabla 4. Propiedades del Humus Bajo Combinaciones de Residuos Orgánicos y Estiércol Vacuno

Marcador	T1	T2	T3	T4	T5
pH	6,18	6,19	6,13	6,15	6,20
C.E (ds/m)	3,77	3,89	3,41	3,94	4,13
M.O (%)	12,47	12,89	13,30	13,02	13,16
NH ₄ (ppm)	39,97	42,55	39,33	38,69	43,84
P (ppm)	288,62	271,93	269,12	292,18	275,87
S (ppm)	164,54	192,31	157,91	158,65	185,91
K (meq/100 g)	3,17	3,57	3,79	3,61	3,73
Ca (meq/100 g)	10,00	9,00	10,00	12,00	12,00
Mg (meq/100 g)	2,71	2,80	2,84	2,82	2,81
Σ bases (meq/100 g)	15,88	15,37	16,63	18,43	18,54
Cu (ppm)	2,10	2,10	3,20	2,90	2,10
B (ppm)	5,27	3,99	4,10	2,02	3,77
Fe (ppm)	66,90	57,30	43,40	44,20	46,50
Zn (ppm)	21,70	17,90	20,40	20,70	20,70
Mn (ppm)	9,80	9,50	9,80	7,30	10,60
Ca/Mg	3,69	3,21	3,52	4,26	4,27
Mg/K	0,85	0,78	0,75	0,78	0,75
(Ca+Mg)/K	4,01	3,31	3,39	4,11	3,97

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio sugieren que, en general, el tipo de sustrato utilizado, compuesto por combinaciones de residuos orgánicos y estiércol vacuno, no tuvo un impacto significativo en las características del humus ni en el crecimiento de *Eisenia fetida*, aunque el estiércol vacuno parece haber tenido un papel central.

El incremento del peso en el tratamiento con estiércol de ganado vacuno puede explicarse por su mayor concentración de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, que son fundamentales para el crecimiento de las lombrices. Estos resultados coinciden con el estudio de Vodounnou et al. (2016), quienes señalaron que los sustratos con alta disponibilidad de nitrógeno y una relación C/N equilibrada favorecen el crecimiento ponderal de *Eisenia fetida*. De manera similar, Rayne y Aula (2020), reportaron que el estiércol vacuno, más equilibrado nutricionalmente y de fácil descomposición al ser un material con una descomposición más rápida y estable, proporciona una fuente continua de nutrientes, lo que mejora la biodisponibilidad para las lombrices.

En contraste, las mezclas de residuos orgánicos pudieron haber presentado una descomposición más lenta, dificultando la liberación inmediata de nutrientes. Este fenómeno ha sido descrito por Singh (2018), quienes observaron que los sustratos ricos en lignina y celulosa requieren más tiempo para mineralizarse, lo que podría limitar su eficacia en el corto plazo para el crecimiento de lombrices.

Por otro lado, la falta de diferencias significativas en la longitud de las lombrices sugiere que este parámetro está más influenciado por factores ambientales o genéticos que por las características del sustrato utilizado. Investigaciones previas, como las de Edwards y Arancon (2022), destacan que variables como la temperatura, la humedad relativa y la aireación del sustrato tienen un impacto determinante en la longitud corporal de *Eisenia fetida*. En el presente estudio, las condiciones ambientales se mantuvieron relativamente estables en todos los tratamientos, lo que podría haber contribuido a una longitud homogénea de las lombrices.

La densidad de lombrices tampoco mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Esto podría indicar que las combinaciones de residuos orgánicos y estiércol vacuno ofrecieron condiciones similares para la reproducción y supervivencia de *Eisenia fetida*. En línea con lo observado por Ejack et al. (2021), la densidad poblacional de lombrices tiende a estabilizarse cuando las condiciones de humedad, disponibilidad de alimento y aireación son óptimas, independientemente de la variabilidad en la composición del sustrato. En este sentido, aunque los residuos orgánicos utilizados tenían características fisicoquímicas diferentes, el aporte del estiércol vacuno parece haber actuado como un factor homogeneizador, garantizando una base nutritiva suficiente para la reproducción de las lombrices. Esto refuerza la idea de que el estiércol bovino puede ser utilizado como sustrato base en programas de vermicompostaje, incluso cuando se mezclan diferentes residuos orgánicos.

Respecto al rendimiento del humus en los diferentes tratamientos, este no mostró variaciones significativas, lo que sugiere que la composición del sustrato no afectó de manera relevante la cantidad de humus producido. Estudios similares, como el de Yang et al. (2023), también encontraron que la inclusión de estiércol bovino en diferentes proporciones no alteró significativamente el rendimiento del humus final, destacando la capacidad de este material para equilibrar el proceso de descomposición. El estiércol puede haber proporcionado una base nutritiva uniforme para las lombrices, independientemente de los residuos orgánicos adicionales, lo que resultó en una

producción constante de humus. Esto sugiere que, aunque los residuos orgánicos utilizados tienen características diferentes, su combinación con el estiércol vacuno pudo haber igualado los efectos sobre la producción de humus. Este hallazgo en particular resalta la flexibilidad de *Eisenia fetida* para adaptarse a diferentes sustratos, y abre la puerta para futuros estudios que exploren el impacto de otros factores ambientales y de manejo en la producción de humus.

Finalmente, el análisis químico del humus producido reveló una composición estable en cuanto a materia orgánica (12,47 - 13,30 %), macronutrientes como fósforo (269,12 - 292,18 ppm), potasio (3,17 - 3,79 meq/100 g) y calcio (9,00 - 12,00 meq/100 g), así como micronutrientes esenciales como hierro (43,40 - 66,90 ppm) y zinc (17,90 - 21,70 ppm), los que sugiere que los residuos orgánicos utilizados, ofrecieron un aporte nutricional comparable cuando se combinaron con estiércol vacuno. Estos valores son comparables con los reportados por Dorez-Silva et al. (2015), quienes obtuvieron resultados similares al utilizar estiércol bovino como sustrato principal en la producción de humus.

Además, el pH del humus se mantuvo en un rango ácido favorable (6,13 - 6,20), adecuado para aplicaciones agrícolas, según lo descrito por Bhatt y Singh (2022), quienes señalaron que un pH ácido favorece la disponibilidad de nutrientes para las plantas. La conductividad eléctrica, oscilando entre 3,41 y 4,13 dS/m, también se mantuvo en niveles adecuados para el uso agrícola sin riesgo de salinidad excesiva, en línea con lo recomendado Guo et al. (2022).

La uniformidad en la calidad química del humus producido en todos los tratamientos sugiere que *Eisenia fetida* es capaz de adaptarse a diferentes combinaciones de residuos orgánicos y estiércol vacuno, sin comprometer la calidad final del producto (Figura 1). Esto abre la posibilidad de utilizar una amplia variedad de residuos orgánicos en programas de vermicompostaje, siempre que se combinen con un material base que proporcione estabilidad nutricional.

Figura 1. Humus de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia fetida*): Producto Final



CONCLUSIÓN

El estiércol de ganado vacuno fue el material de desecho más adecuado para el crecimiento de *Eisenia fetida* en términos de peso, aunque otros materiales también pueden ser útiles dependiendo de los objetivos específicos de la cría o la utilización de las lombrices en un sistema de compostaje. Mientras que la longitud parece no fue afectada por el tipo de sustrato utilizado. La densidad de *Eisenia fetida* fue similar entre los diferentes tratamientos. Esto sugiere que las lombrices se adaptaron de manera comparable a todos los tipos de sustratos, independientemente de la combinación específica de residuos orgánicos y estiércol vacuno.

Los diferentes tratamientos produjeron cantidades de humus similares, lo que sugiere que las combinaciones de residuos orgánicos con estiércol vacuno ofrecieron condiciones igualmente favorables para la actividad de las lombrices. Mientras que la composición química del humus fue homogénea entre los tratamientos, con niveles adecuados de materia orgánica, macronutrientes y micronutrientes.

El pH fue ligeramente ácido en todos los tratamientos, mientras que la conductividad eléctrica y la materia orgánica presentan diferencias según los residuos utilizados, destacándose la pollinaza por su mayor aporte. En macronutrientes, el estiércol vacuno incrementa nitrógeno, fósforo y calcio, mientras que el raquis de plátano favorece el contenido de azufre. En cuanto a micronutrientes, la cáscara de cacao y la pollinaza sobresalen por sus niveles de hierro, zinc y cobre. Las relaciones iónicas sugieren una adecuada capacidad de intercambio catiónico en la mayoría de los tratamientos.

Implicaciones y Limitaciones

Este estudio pone de manifiesto el potencial de combinar residuos orgánicos con estiércol vacuno para la producción de humus, lo cual constituye una estrategia sostenible para la gestión de residuos agrícolas. El aprovechamiento de materiales como cáscara de cacao, raquis de plátano, pollinaza y residuos de mercado, en combinación con estiércol vacuno, favorece una práctica más ecológica y rentable en la agricultura, contribuyendo a la mejora de la calidad del suelo sin depender de insumos químicos. El humus producido por *Eisenia fetida* y residuos orgánicos tiene un gran potencial para mejorar las propiedades del suelo, especialmente en lo que respecta a la materia orgánica, los nutrientes y la estructura de este. Este estudio ofrece una base importante para futuras investigaciones sobre el uso de humus en la fertilización y rehabilitación de suelos degradados.

Sin embargo, uno de los aspectos limitantes de este estudio es que las condiciones ambientales, como temperatura, humedad e iluminación, fueron controladas en el experimento, lo cual puede no reflejar con precisión las condiciones naturales del campo. Factores externos no controlados, como variaciones climáticas o estacionales, pueden influir en la densidad poblacional y el crecimiento de las lombrices, lo que limita la generalización de los resultados a escenarios más dinámicos y variables.

Asimismo, el tiempo de duración del experimento fue relativamente corto, lo que podría haber sido insuficiente para observar efectos a largo plazo en la productividad y la calidad del humus. La actividad de las lombrices y la descomposición de los residuos orgánicos pueden haber continuado evolucionando más allá del período de observación, lo cual limita la capacidad para interpretar el impacto completo de los tratamientos a largo plazo.

A pesar de la diversidad de residuos orgánicos utilizados, la variedad de materiales no fue lo suficientemente amplia como para abarcar todas las posibles combinaciones que podrían haber tenido

efectos diferentes sobre el desarrollo de *Eisenia fetida* y la producción de humus.

Futuros estudios podrían enfocarse en evaluar cómo factores ambientales, como la temperatura, la aireación controlada y la adición de microorganismos específicos, podrían optimizar aún más la producción y calidad del humus. Además, sería relevante explorar el impacto de residuos agroindustriales específicos, como residuos de cultivos o subproductos de la industria alimentaria, en la eficiencia del proceso de vermicompostaje.

Contribuciones

De-la-Cruz Chicaiza: diseño de la investigación, administración del proyecto, análisis e interpretación formal de datos, redacción manuscrito y revisión final del manuscrito. Toma de datos, revisión de la bibliografía y redacción manuscrito. He leído y aprobado la versión final del manuscrito, así mismo estoy de acuerdo con la responsabilidad de todos los aspectos del trabajo presentado.

Conflicto de interés

El autor declara que no tienen conflictos de interés en relación con el trabajo presentado en este informe.

Uso de inteligencia artificial

No se usaron tecnologías de IA o asistidas por IA para el desarrollo de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaya, N. L. R., Cobeña, L. S. A., Gualpa, T. L. A., Ochoa, A. D. F., & Suarez, C. B. F. (2022). Manufacture of Humus From Plant Residues. *International Journal of Life Sciences*, 6(1), 10-18. <https://doi.org/10.53730/ijls.v6n1.4739>
- Arora, M., & Kaur, A. (2019). Azolla pinnata, Aspergillus terreus and Eisenia fetida for enhancing agronomic value of paddy straw. *Scientific Reports*, 9(1), 1341. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-37880-1>
- Bellitürk, K., Aslam, Z., Ahmad, A., & Rehman, S. U. (2020). Alteration of physical and chemical properties of livestock manures by Eisenia fetida (Savigny, 1926) and developing valuable organic fertilizer. *Journal of Innovative Sciences*, 6(1), 47-53. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.jis/2020/6.1.47.53>
- Bhatt, P., & Singh, V. K. (2022). Effect of humic acid on soil properties and crop production—A review. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 92(12), 1423-1430. <https://doi.org/10.56093/ijas.v92i12.124948>
- Boruah, T., Morang, A., & Deka, H. (2020). Current understanding on industrial organic waste management by employing Eisenia fetida. *International Journal of Environment and Pollution*, 67(1), 48-61. <https://doi.org/10.1504/IJEP.2020.108365>
- Cao, Y., Tian, Y., Wu, Q., Li, J., & Zhu, H. (2021). Vermicomposting of livestock manure as affected by carbon-rich additives (straw, biochar and nanocarbon): a comprehensive evaluation of earthworm performance, microbial activities, metabolic functions and vermicompost quality. *Bioresource Technology*, 320, 124404. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124404>
- Das, D., Kalita, N., Langthasa, D., Faihriem, V., Borah, G., Chakravarty, P., & Deka, H. (2022). Eisenia fetida for vermiconversion of waste biomass of medicinal herbs: Status of nutrients

- and stability parameters. *Bioresource Technology*, 347, 126391. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126391>
- Degefe, G., & Tamire, G. (2017). Growth and reproductive performance of *Eisenia fetida* in three varieties of flower (rose, carnation and hypericum) leftovers. *Journal of Entomology and Nematology*, 9(4), 29-35. <https://doi.org/10.5897/JEN2017.0181>
- Edwards, C. A., & Arancon, N. Q. (2022). The role of earthworms in organic matter and nutrient cycles. In *Biology and ecology of earthworms* (pp. 233-274). New York, NY: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-74943-3_8
- Ejack, L., Kernecker, M. L., Prieto, R., Chen, C., Gul, S., Bradley, R. L., & Whalen, J. K. (2021). Earthworms did not increase long-term nitrous oxide fluxes in perennial forage and riparian buffer ecosystems. *Pedobiologia*, 85, 150727. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2021.150727>
- Guo, Y., Liu, H., Gong, P., Li, P., Tian, R., Zhang, Y., ... & Xue, B. (2022). Preliminary studies on how to reduce the effects of salinity. *Agronomy*, 12(12), 3006. <https://doi.org/10.3390/agronomy12123006>
- Hajam, Y. A., Kumar, R., & Kumar, A. (2023). Environmental waste management strategies and vermi transformation for sustainable development. *Environmental Challenges*, 100747. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100747>
- Kanivets, O. V., Kanivets, I. M., Gorda, T. M., & Burlaka, O. A. (2021). Development of a machine vision program to determine the completeness of wrapping plants in the soil. In *CS&SE@SW* (pp. 27-43). <http://dx.doi.org/10.5958/2249-7137.2021.01331.8>
- Kiyasudeen S, K., Ibrahim, M. H., Quaik, S., Ahmed Ismail, S., Ibrahim, M. H., Quaik, S., & Ismail, S. A. (2016). Vermicomposting: an earthworm mediated waste treatment technique. *Prospects of Organic Waste Management and the Significance of Earthworms*, 167-199. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24708-3_8
- Lanno, M., Klavins, M., Purmalis, O., Shanskiy, M., Kisand, A., & Kriipsalu, M. (2022). Properties of humic substances in composts comprised of different organic source material. *Agriculture*, 12(11), 1797. <https://doi.org/10.3390/agriculture12111797>
- Mishra, C. S. K., & Samal, S. (2021). *Rediscovering earthworms*. Cambridge Scholars Publishing.
- Muhamediyeva, D. K., & Nurumova, A. Y. (2023). Enhancing soil fertility through the application of biohumus. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 411, p. 02044). EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102044>
- Musyoka, S. N., Liti, D. M., Ogello, E. O., Meulenbroek, P., & Waidbacher, H. (2020). Using Earthworm, *Eisenia fetida*, to Bio-convert Agro-industrial Wastes for Aquaculture Nutrition. *BioResources*, 15(1). <https://repository.maseno.ac.ke/handle/123456789/1386>
- Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
- Raza, S. T., Wu, J., Rene, E. R., Ali, Z., & Chen, Z. (2022). Reuse of agricultural wastes, manure, and biochar as an organic amendment: A review on its implications for vermicomposting technology. *Journal of Cleaner Production*, 360, 132200. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132200>
- Rorat, A., & Vandenbulcke, F. (2019). Earthworms converting domestic and food industry wastes into biofertilizer. In *Industrial and municipal sludge* (pp. 83-106). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00005-2>

- Samal, K., & Mohanty, M. (2024). Earthworm-associated bacterial community and its role in organic waste decomposition. In *Earthworm Technology in Organic Waste Management* (pp. 1-14). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16050-9.00015-3>
- Sharma, N., Singh, J., Singh, B., & Malik, V. (2023). Improving the Agronomic Value of Paddy Straw Using *Trichoderma harzianum*, *Eisenia fetida* and Cow Dung. *Fermentation*, 9(7), 671. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070671>
- Singh, J. (2018). Role of earthworm in sustainable agriculture. In *Sustainable food systems from agriculture to industry* (pp. 83-122). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811935-8.00003-2>
- Swati, A., & Hait, S. (2018). A comprehensive review of the fate of pathogens during vermicomposting of organic wastes. *Journal of environmental quality*, 47(1), 16-29. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.07.0265>
- Villarreal, A. P. B., Tumipamba, D. E. G., & Sarzosa, F. V. C. (2021). Vermicomposting: Production of Humus and Biol. In *Communication, Smart Technologies and Innovation for Society: Proceedings of CITIS 2021* (pp. 591-600). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-4126-8_53
- Vodounnou, D. S. J. V., Kpogue, D. N. S., Tossavi, C. E., Mennsah, G. A., & Fiogbe, E. D. (2016). Effect of animal waste and vegetable compost on production and growth of earthworm (*Eisenia fetida*) during vermiculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5, 87-92. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0119-5>
- Wong, W. S., Zhong, H. T., Cross, A. T., & Yong, J. W. H. (2020). Plant biostimulants in vermicomposts: Characteristics and plausible mechanisms. *The chemical biology of plant biostimulants*, 155-180. <https://doi.org/10.1002/9781119357254.ch6>
- Yang, H., Ma, L., Fu, M., Li, K., Li, Y., & Li, Q. (2023). Mechanism analysis of humification coupling metabolic pathways based on cow dung composting with ionic liquids. *Journal of Environmental Management*, 325, 116426. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116426>
- Zhou, Y., Zhang, D., Zhang, Y., Ke, J., Chen, D., & Cai, M. (2021). Evaluation of temperature on the biological activities and fertility potential during vermicomposting of pig manure employing *Eisenia fetida*. *Journal of Cleaner Production*, 302, 126804. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126804>