

## Desempeño Biológico de *Eisenia foetida* Sav. y Calidad del Vermicompost Generado a partir de Diferentes Fuentes Orgánicas Biological Performance of *Eisenia foetida* and Quality of Vermicompost Generated from Different Organic Sources

Rommel Arturo Ramos-Remache<sup>1</sup> , Juan José Reyes-Pérez<sup>1</sup> ,  
Ana Noemí Moreno-Vera<sup>1</sup> , Luis Tarquino Llerena-Ramos<sup>1</sup> ,  
Luis Ángel Sinchiguano-Briones<sup>1</sup>  y Bernardo Espinosa-Palomeque<sup>2†</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Av. Quito, km 1.5 vía a Santo Domingo de los Tsáchilas. 120501 Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (R.A.R.R.), (J.J.R.P.), (A.N.M.V.), (L.T.L.I.R.), (L.A.S.B.).

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Escuinapa. Camino al Guasimal s/n, Col. Centro. 82400. Escuinapa de Hidalgo, Sinaloa, México; (B.E.P.).

† Autor para correspondencia: bespinosa@utescuinapa.edu.mx

### RESUMEN

La degradación de los suelos agrícolas disminuye su fertilidad y capacidad de retención de nutrientes, lo que hace imprescindible la aplicación de enmiendas orgánicas, como el vermicompost, para su restauración y mejora funcional. El objetivo de este estudio fue evaluar el desempeño biológico de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.) y la calidad del vermicompost generado a partir de cuatro mezclas de sustratos orgánicos: estiércol bovino+raquis de banano (T1), estiércol bovino+raquis de palma (T2), estiércol bovino+raquis de coco (T3) y estiércol bovino+residuos vegetales de mercado (T4), con relaciones 50:50 (% en volumen). El diseño experimental utilizado fue bloques completamente al azar con ocho repeticiones. Se evaluaron la longitud, la población, las tasas de crecimiento y reproducción de la lombriz roja a los 30 y 45 días después de inicio de los tratamientos, además, el rendimiento y calidad bromatológica del vermicompost generado. Los mejores resultados se obtuvieron a los 45 días de evaluación. Los tratamientos T1, T4 y T2 presentaron los mayores promedios de longitud de lombrices, con valores de  $5.58 \pm 0.09$ ,  $5.53 \pm 0.16$  y  $5.40 \pm 0.25$  cm, respectivamente. El tratamiento T4 registró la mayor densidad poblacional, con  $4319.75 \pm 64.71$  lombrices m<sup>2</sup>, así como la mayor tasa de crecimiento ( $0.32 \pm 0.01$  mg lombriz día) y el mayor índice de reproducción ( $14.56 \pm 0.23\%$ ). El tratamiento T1 presentó el mayor rendimiento de vermicompost, con  $40.38 \pm 0.58$  kg m<sup>3</sup>, un pH alcalino de  $8.77 \pm 0.15$  y un contenido de K del  $1.57 \pm 0.01\%$ . No obstante, el tratamiento T3 mostró los mayores contenidos de materia orgánica ( $50.97 \pm 0.21\%$ ), carbono total ( $22.23 \pm 0.99\%$ ) y una relación C/N de  $22.61 \pm 0.70$ . Estos resultados evidencian el potencial del vermicompostaje como una estrategia biotecnológica eficiente para la reproducción de la lombriz roja californiana y el aprovechamiento de residuos orgánicos agroindustriales, permitiendo la producción de enmiendas orgánicas de alta calidad para la recuperación y mejora de suelos agrícolas.

**Palabras clave:** bio-fabrica, lombricompost, recuperación de suelos, vermicompostaje.

### SUMMARY

The degradation of agricultural soils decreases their fertility and nutrient retention capacity, making the application of organic amendments, such as vermicompost, essential for their restoration and functional improvement. The objective of this study was to evaluate the biological performance of the Californian red worm (*Eisenia foetida* Sav.) and the quality of the vermicompost generated from four organic substrate mixtures: cattle manure + banana rachis (T1), cattle manure + palm rachis (T2), cattle



#### Cita recomendada:

Ramos-Remache, R. A., Reyes-Pérez, J. J., Moreno-Vera, A. N., Llerena-Ramos, L. T., Sinchiguano-Briones, L. A., & Espinosa-Palomeque, B. (2025). Desempeño Biológico de *Eisenia foetida* Sav. y Calidad del Vermicompost Generado a partir de Diferentes Fuentes Orgánicas. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-12. e2367. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2367>

Recibido: 14 de julio de 2025.  
Aceptado: 22 de septiembre de 2025.  
Artículo. Volumen 43.  
Noviembre de 2025.

Editor de Sección:  
Dr. Luis G. Hernandez Montiel

Editor Técnico:  
Dr. José Gregorio Joya Dávila



**Copyright:** © 2025 by the authors.  
Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

manure + coconut rachis (T3), and cattle manure + market plant waste (T4), with 50:50 ratios (% by volume). The experimental design used was a randomized block with eight replications. The length, population, growth, and reproduction rates of the red worm were evaluated 30 and 45 days after the start of the treatments, in addition to the yield and bromatological quality of the vermicompost produced. The best results were obtained after 45 days of evaluation. Treatments T1, T4, and T2 showed the highest average worm lengths, with values of  $5.58 \pm 0.09$ ,  $5.53 \pm 0.16$ , and  $5.40 \pm 0.25$  cm, respectively. Treatment T4 recorded the highest population density, with  $4319.75 \pm 64.71$  worms  $m^3$ , as well as the highest growth rate ( $0.32 \pm 0.01$  mg worm $^{-1}$  day $^{-1}$ ) and the highest reproduction index ( $14.56 \pm 0.23\%$ ). Treatment T1 had the highest vermicompost yield, with  $40.38 \pm 0.58$  kg  $m^3$ , an alkaline pH of  $8.77 \pm 0.15$ , and a K content of  $1.57 \pm 0.01\%$ . However, treatment T3 showed the highest organic matter content ( $50.97 \pm 0.21\%$ ), total carbon ( $22.23 \pm 0.99\%$ ), and a C/N ratio of  $22.61 \pm 0.70$ . These results demonstrate the potential of vermicomposting as an efficient biotechnological strategy for the reproduction of the Californian red worm and the utilization of agro-industrial organic waste, enabling the production of high-quality organic amendments for the recovery and improvement of agricultural soils.

**Index words:** bio-factory, vermicompost, soil recovery, vermicomposting.

## INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los desafíos más importantes para la agricultura a nivel mundial, especialmente en el contexto de la producción agrícola orgánica (Guamán-Rivera y Flores-Mancheno, 2023). Alteraciones en los patrones climáticos, como el aumento de las temperaturas, la variabilidad en las precipitaciones y la reducción de la disponibilidad de agua modifican la capacidad dinámica de los nutrientes y modificar la biodiversidad microbiana del suelo, lo cual facilita la liberación de metales pesados como el cadmio, el plomo o el mercurio los cuales son considerados tóxicos para la salud humana a dosis mínimas (Alonso, García, López y Melgar, 2004). Aunado, al uso indiscriminado de agroquímicos en prácticas agrícolas inadecuadas, afectan la disponibilidad de los macronutrientes como el N, P y K, alteran el pH y reduce los contenidos de materia orgánica del suelo, ocasionando pérdida de la capacidad para mantener los agroecosistemas (Mancera-Rodríguez y Álvarez-León, 2006). Las modificaciones en las condiciones climáticas y de la salud de los suelos generan efectos negativos en el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos agrícolas, comprometiendo la seguridad alimentaria a nivel global. Ante este escenario, es de interés creciente diseñar estrategias integradas que fortalezcan la nutrición de los cultivos en condiciones adversas. Entre las alternativas más prometedoras se encuentran el mejoramiento genético de las plantas orientado a la eficiencia nutricional, la inclusión de leguminosas en los sistemas de cultivo, el uso de prácticas agrícolas sostenibles, la aplicación de microorganismos benéficos y de abonos orgánicos que mejoren la disponibilidad de nutrientes en el suelo. Estas acciones contribuyen a construir sistemas agroecosistemas más resilientes, sostenibles y capaces de responder a los desafíos actuales y futuros del cambio climático (Soares, Santos, Carvalho, Pintado y Vasconcelos, 2019).

En la agricultura orgánica las aplicaciones de abonos orgánicos de origen vegetal o animal, ha crecido durante las dos últimas décadas y su utilización masiva surge como resultado de la amplia demanda de materia prima para la producción y abastecimiento de alimentos en el mundo (Carvajal-Muñoz y Mera-Benavides, 2010). El vermicompost producido por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es uno de los principales abonos orgánicos, categorizado dentro de los abonos biológicos, por sus excelentes características físico-químicas, biológicas y su aporte de nutrientes disponibles para recuperar la biodiversidad microbiana y dar un equilibrio natural al suelo, mejorando la capacidad de retención de agua en zonas propensas a sequía y ser una alternativa como sustituto total o parcial de los fertilizantes sintéticos (González-Márquez, Félix, Sandoval, Escobedo y Longoria, 2021). El vermicompost es un producto eficaz para mejorar el crecimiento y desarrollo de diversas especies vegetales (Pérez-Inocencio, Álvarez, Lastiri, Sandoval y Aguilar, 2025). La lombriz roja californiana es una especie altamente eficiente en la descomposición de materia orgánica, debido a su biología se adapta a ambientes ricos en residuos vegetales (Räty y Huhta, 2004). Su elevada capacidad de alimentación le permite consumir diariamente hasta su propio peso en materia orgánica, generando vermicompost de alta calidad.

Esta especie ajusta su microbiota intestinal para digerir nuevos materiales con mayor eficiencia lo que se refleja su capacidad de adaptación a diversas fuentes de alimentación la cual incluye restos vegetales, estiércol, cáscaras de frutas, residuos de cocina y hasta ciertos tipos de papel no tratados, sin afectar su sobrevivencia, lo que la convierte en un organismo muy versátil en sistemas agrícolas sostenibles que buscan reciclar residuos localmente (Flores-Pacheco, Romero, Vivas, Lacayo y Cassell's, 2018).

Por otra parte, la provincia de Los Ríos, zona centro de Ecuador, es un territorio eminentemente agrícola que ha alcanzado el liderazgo en la producción de una gran diversidad de cultivos perennes, representada por una producción bananera el 35% (*Musa x paradisiaca*), cacao el 31% (*Theobroma cacao* L.) y palma africana el 36% (*Elaeis guineensis*) de la producción total cultivada en el país (Soto-Valenzuela, Álvarez, Vázquez y Ricardo, 2024). En los cultivos de banano y palma africana el racimo representa el 50% de materia seca del peso total de la planta y se constituye como principal sumidero de translocación de los asimilados de reserva de la planta, entre ellos el K (Martínez y Cayón, 2021). Así mismo, la población urbano-riosense al encontrarse situada entre la sierra y costa ecuatoriana, consume gran cantidad de productos externos como legumbres, ricas en fuentes de N (Bugarín-Montoya et al., 2011) y agua de cocos tiernos (*Cocos nucifera* L.), lo cuales generan grandes cantidades de desechos vegetales a nivel de los mercados locales, de los cuales el 50% lo representan los residuos vegetales y un 30% las cáscaras o raquis de coco, sin tener claro el manejo que podría darse a estos. Debido a la creciente producción de desechos y alta demanda de abonos orgánicos, el objetivo del presente estudio fue evaluar el desempeño biológico de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.) y la calidad del vermicompost generado a partir de cuatro mezclas de sustratos orgánicos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características del Sitio Experimental

El experimento se realizó en el Campus Experimental "La María" de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en el sector de Mocache, Provincia de Los Ríos, situado entre las coordenadas 01° 06' 20" S y 79° 29' O, a una altitud de 73 m de altitud y con una duración de 120 días. El clima en el área experimental registra una precipitación media anual entre los 2000 - 2200 mm, el mes más seco es noviembre. La región presenta características típicas de bosque húmedo tropical con temperaturas mínima de 24 °C y máxima de 26 °C y una humedad relativa promedio anual de 86 por ciento.

### Material Biológico

El inóculo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) utilizado como pie de cría en el presente estudio fue proporcionado por el campus experimental de la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE), cercana a la población de Quevedo, provincia de Los Ríos (93 m de altitud) con temperatura mínima de 21 °C y máxima de 28 °C y precipitación media de 1200 mm/año. Las lombrices fueron criadas en sustrato de estiércol bovino. Se adquirieron 3.2 kg de inóculo total para ser distribuidos a razón de 0.1 kg ( $232.33 \pm 8.46$  individuos) de inóculo por lechos (Rahman, Hashem, Kabir, Bhuiyan y Rahman, 2020).

### Establecimiento de los Tratamientos

Los tratamientos evaluados estuvieron conformados a partir de cuatro mezclas de sustratos orgánicos: estiércol bovino+raquis de banano (T1), estiércol bovino+raquis de palma (T2), estiércol bovino+raquis de coco (T3) y estiércol bovino+residuos vegetales de mercado (T4), todos con relaciones 50:50 (% p: p).

El estiércol bovino utilizado como base en todos los tratamientos fue sometido a un proceso de compostaje durante 60 días antes del inicio del experimento. Posteriormente, se dejó secar en un cobertizo con piso de hormigón y bajo sombra, con la finalidad de obtener un sustrato poroso y con una buena capacidad de retención de humedad (Berrospe-Ochoa, Ordaz, Rodríguez, y Quintero, 2012). Una vez acondicionado, se distribuyeron 15 kg del compost en cada lecho. Al día siguiente de finalizado el compostaje, se incorporaron y mezclaron 15 kg de las distintas fuentes de alimentación correspondientes a cada tratamiento en partículas de entre 5 y 10 cm para facilitar su descomposición e ingesta por parte de las lombriz roja californiana, así como para mejorar la relación carbono-nitrógeno (C/N) del sustrato (Ravelo, Pérez, Toledo, Martínez y Maqueira, 2023). Finalmente, se inoculó cada lecho con 1 kg de lombriz roja californiana. Previamente, se contabilizó el número de lombrices adultas ( $97.33 \pm 9.53$ ) y jóvenes ( $135.0 \pm 12.25$ ) en muestras de 0.1 kg de inóculo, con un total aproximado de  $232.33 \pm 8.46$  lombrices por lecho, según la metodología propuesta por Berrospe-Ochoa et al. (2012).

Los diferentes tratamientos se establecieron en una superficie de 100 m<sup>2</sup>, conformada por 32 lechos de 1 m de largo, 1 m de ancho y 0.6 m de altura, separados por callejones de concreto de 1 m de ancho; valores efectivos para contener volúmenes individuales de sustratos de 0.6 m<sup>3</sup> (Campoverde, Velasco y Acurio, 2020). Se construyó un techado con estructura de madera (parte alta 2.50 m, baja 2.15 m) para la protección del sol, mientras que, en la parte superior de los lechos se protegió con un armazón de caña y tela fina de Sarah (60% de sombra), para protección tanto contra las aves como del sol (Benavides, Espitia, Bracho y Benítez, 2006).

### Alimentación y Manejo de la Humedad

Los lechos se comenzaron a alimentar 15 días después de la aplicación de los inóculos de lombriz roja californiana, se aplicaron 30 kg de cada sustrato de cada tratamiento fermentado y picado en pequeños filamentos, durante cuatro meses, lo que hizo un volumen total, incluido el inicial, de 135 kilogramos.

El riego se realizó con una frecuencia semanal, aplicando 20 L de agua corriente por lecho. Así mismo, se realizaron dos volteo semanales para reducir la humedad inicial de los sustratos lo que favorece la disminución de sustancias fitotóxicas y mejora la conductividad eléctrica (Oviedo-Ocaña, Marmolejo y Torres, 2014). El mantenimiento proporcionado fue para conservar la humedad de los sustratos en un 80%, restablecer el material de sombra y prevenir el de ataques de enemigos de la lombriz como la hormiga (*Solenopsis* spp) y coralillo (*Elapidae* sp) Figura 1.



**Figura 1. Materias primas utilizadas en la formulación de tratamientos (A, B y C), estructura de lechos (D y E) y régimen de alimentación (F y G) de *Eisenia foetida* para la producción de vermicompost.**

**Figure 1. Raw materials used in the formulation of treatments (A, B, and C), bed structure (D and E), and feeding regime (F and G) of *Eisenia foetida* for vermicompost production.**



## Variables Evaluadas

Para determinar el crecimiento longitudinal de la lombriz roja, se seleccionaron al azar 10 lombrices por cada unidad experimental, a las cuales se las colocó individualmente sobre papel milimétrico, el dato fue registrado en cm a los 30 y 45 días después de la siembra de las lombrices. Se midió la tasa de crecimiento, empleando la siguiente ecuación (Colín, Avilés, Domínguez, Olivares y R, 2014<sup>1</sup>):

$$G = (B2 - B1)/(T \times n) \quad (1)$$

Donde G= tasa de crecimiento (mg lombriz día); B1= biomasa inicial de lombrices (mg); B2= biomasa final de lombrices (mg); T= tiempo (número de días) en el cual se alcanzó la biomasa final; n= número de lombrices inoculadas.

A los 30 y 45 días se realizó manualmente el conteo de lombrices en cada unidad experimental con el fin de determinar el incremento poblacional de la lombriz roja m<sup>2</sup>. En cada lecho por tratamiento se registraron tanto individuos jóvenes como adultos. Las lombrices recolectadas fueron depositadas en vasos plásticos de 1 L para facilitar su control y conteo, excluyendo huevos y ejemplares distintas a la especie objetivo, identificados por su coloración negruzca y comportamiento distintivo. Se consideraron como individuos adultos aquellas lombrices rojas con clitelium y jóvenes rosadas sin clitelium. Posterior al conteo, se calculó la tasa de reproducción de las lombrices, utilizando la siguiente ecuación (Colín et al., 2014):

$$R = C/E \quad (2)$$

Donde R = tasa de reproducción; C = número total de lombrices producidas; E = número total de lombrices inoculadas.

Tiempo de desdoblamiento de las fuentes de alimentación se determinó contabilizando los días que trascurrieron en consumirse las fuentes de alimentación de los tratamientos por las lombriz roja californiana, a partir del primer día de suministro (Torrendel, Useta y Pelerino, 2028).

La variable rendimiento de vermicompost se midió al cuarto mes, una vez que fueron separadas las lombrices de los lechos y se procedió con el secado y tamizado del vermicompost, se empleó una báscula de precisión de capacidad de 4.20 kg (OHAUS, China), se calculó dividiendo el peso del vermicompost seco obtenido por el peso inicial del sustrato húmedo, y multiplicando por 100 para expresarlo en porcentaje según la metodología empleada por De la Cruz-Chicaiza (2023).

$$\text{Rendimiento de humus (kg m}^3\text{)} = (PSh/PHs) \times 100 \quad (3)$$

Donde PHs = peso del humus seco obtenido (kg) y PSh= peso inicial del sustrato húmedo (kg).

En cuanto a las propiedades físico-químicas del vermicompost se realizaron análisis químico en el laboratorio de suelos y aguas del INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias). Se evaluaron los parámetros físico-químicos: pH en agua en relación 1:2 por potenciometría. La materia orgánica y carbono total se determinaron por el método de Walkey y Black por oxidación con dicromato de potasio; el nitrógeno total por destilación por el método Kjeldahl; y el fósforo por extracción por el método ISFEIP (International Soil Fertility Evaluation and Improve). Además, se determinó la humedad del vermicompost finalizado, para ello, las muestras fueron secadas en hornos de aire forzado a 105 °C por 24 horas. Se determinó también los contenidos de bases de potasio por el método de digestión con ácido nítrico-perclórico por espectrofotómetro absorción atómica (Pérez, Céspedes y Núñez, 2008).

## Análisis Estadístico y Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimento de bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y ocho repeticiones. Los datos de las variables evaluadas se sometieron a las pruebas de Levene's para probar la homogeneidad de varianza, además, se aplicaron análisis de varianza para determinar las diferencias entre los tratamientos y para la comparación de medias se empleó la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los análisis se realizaron con los software estadísticos InfoStat y Statistix 10 (Di Rienzo et al., 2020; Analytical Software, 2015).

<sup>1</sup> Colín, N. V., Avilés, N. F., Domínguez, V. I. A., Olivares, P. J., & R, S. C. (2014). Efecto de la dieta sobre la tasa de crecimiento y reproducción de *Eisenia fetida* L. en el sur del Estado de México. In G. R. Basurto, E. A. M. Anaya, E. R. Santos, & M. L. Reyes (Eds.). *Reunión Nacional de Investigación Pecuaria, Memoria* (pp. 783-785). México: U.A.E.M.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Crecimiento y la Reproducción de *Eisenia f.*

Los resultados obtenidos para las variables crecimiento longitudinal y población de lombriz roja californiana mostraron significancia entre los tratamientos a los 30 y 45 días posteriores a la inoculación del pie de cría ( $p \leq 0.05$ ). A los 30 días se registró el mayor crecimiento de las lombrices desarrolladas en el tratamiento T1 (estiércol bovino+raquis de banano) con una media de  $4.54 \pm 0.05$  cm, superando un 3.65, 9.93 y 2.25% a los tratamientos T2 (estiércol bovino+raquis de palma), T3 (estiércol bovino+raquis de coco) y T4 (estiércol bovino+residuos vegetales de mercado) respectivamente. A los 45 días se mantuvo la misma tendencia, observándose los mayores crecimientos en los tratamientos T1, T4, T2, con medias de  $5.58 \pm 0.09$ ,  $5.53 \pm 0.16$  y  $5.40 \pm 0.25$  cm, respectivamente, estos resultados son similares a los reportados por Canales-Gutiérrez, Solís, Panca y Quispe (2020) quienes indican valores de 5.2 a 5.5 cm a los 40 días en lombrices desarrolladas en sustratos base maíz (*Zea mays*), papa (*Solanum tuberosum*) y zapallo (*Cucurbita maxima*) (Cuadro 1).

En relación a la población de lombrices los mayores valores se registraron en el tratamiento T4, con  $2462.25 \pm 60.37$  (30 días) y  $4319.75 \pm 64.71$  lombrices  $m^2$  (45 días). El tratamiento T4 superó significativamente al resto de los tratamientos, con incrementos de 15.06, 78.91 y 113.18% a los 30 días, así mismo, a los 45 días con incrementos de 18.85, 57.23 y 130%, a los tratamientos T1, T2 y T3, respectivamente (Cuadro 1).

Los resultados obtenidos en los tratamientos T1, T2 y T4 fueron superiores a los reportados por Singh, Tripathi, Singh y Yati (2021) quienes indican una población que fluctuó entre 1117.5 a 1497 lombrices  $m^2$  al evaluar estiércol bovino, paja de soja, y paja de arroz para la generación de vermicompost. Este comportamiento se atribuye principalmente a la composición de los residuos vegetales, los cuales están constituidos en su mayoría por agua y proteínas, lo que favorece su rápida degradación y permite una pronta adaptación de la lombriz roja, estimada entre cuatro y seis semanas (De Gante-Cabrera, 2013). En contraste, se observó que el raquis de coco (T3) constituyó la fuente de alimentación que requirió un mayor tiempo de adaptación por parte de la lombriz roja californiana, lo cual se evidenció en el menor crecimiento longitudinal y población registrado durante el periodo experimental.

La tasa de crecimiento difirió significativamente entre los tratamientos a los 30 y 45 días ( $p \leq 0.05$ ). El tratamiento T4 registró los mayores valores, con  $0.26 \pm 0.01$  y  $0.32 \pm 0.01$  mg lombriz día, respectivamente. En contraste, el tratamiento T3 presentó las tasas más bajas, con medias de 0.10 y 0.13 mg lombriz día en los mismos periodos (Figura 2). Estos valores son inferiores a los reportados por Maqueira-Reyes, Miranda, Díaz, Ravelo e Izquierdo (2022) para *Eisenia fetida* alimentadas con 90% hojarasca + 10% cartón y 80% estiércol bovino + 10% hojarasca + 10% de cartón, con incrementos de 0.98-1.87 y 1.08-6.15 mg lombriz día a los 45 y 60 días, respectivamente.

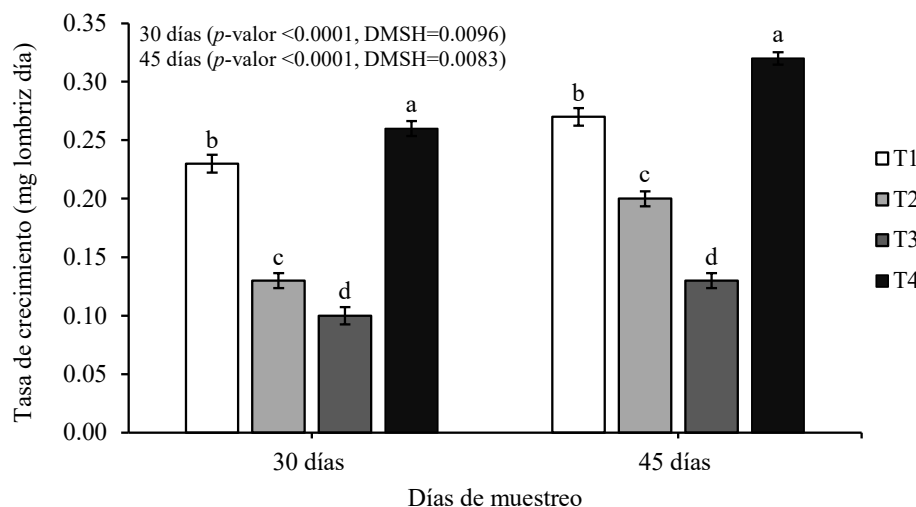
**Cuadro 1. Longitud y población de lombrices roja californiana (*Eisenia foetida*) en respuesta a cuatro fuentes de alimentación, evaluadas a los 30 y 45 días posteriores a la inoculación del pie de cría.**

**Table 1. Length and population of the red Californian earthworm (*Eisenia foetida*) in response to four feeding sources, evaluated at 30 and 45 days after inoculation of the starter culture.**

Fuentes de alimentación	30 días		45 días	
	Longitud (cm)	Población (lombriz $m^2$ )	Longitud (cm)	Población (lombriz $m^2$ )
T1	$4.54 \pm 0.05$ a	$2140.50 \pm 57.17$ b	$5.58 \pm 0.09$ a	$3634.63 \pm 90.56$ b
T2	$4.38 \pm 0.23$ ab	$1376.25 \pm 46.20$ c	$5.40 \pm 0.25$ a	$2747.63 \pm 22.49$ c
T3	$4.13 \pm 0.23$ b	$1155.00 \pm 39.86$ d	$4.63 \pm 0.23$ b	$1874.00 \pm 42.10$ d
T4	$4.44 \pm 0.18$ a	$2462.25 \pm 60.37$ a	$5.53 \pm 0.16$ a	$4319.75 \pm 64.71$ a
p-valor	0.0011**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**
DMSH	0.2550	71.8210	0.2683	90.2880
C.V.	4.2651	2.9447	3.7123	2.0988

Letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Valores promedios  $\pm$  desviación estándar, DMSH = diferencia mínima significativa honesta. C.V. = coeficiente de variación, \*\* = significativo a  $p \leq 0.01$ .

Different letters within the same column indicate significant differences according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ). Mean values  $\pm$  standard deviation, HSD = honest significant difference, C.V. = coefficient of variation, \*\* = significant at  $p \leq 0.01$ .



**Figura 2. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar en la tasa de crecimiento (mg lombriz<sup>-1</sup> día) de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en respuesta a cuatro fuentes de alimentación, evaluadas a los 30 y 45 días posteriores a la inoculación del pie de cría.** □ = estiércol bovino+raquis de banano, ■ = estiércol bovino+raquis de palma, ■ = estiércol bovino+raquis de coco, ■ = estiércol bovino+residuos vegetales de mercado. DMSH= diferencia mínima significativa honesta. Las barras con las misma literal no difieren estadísticamente (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

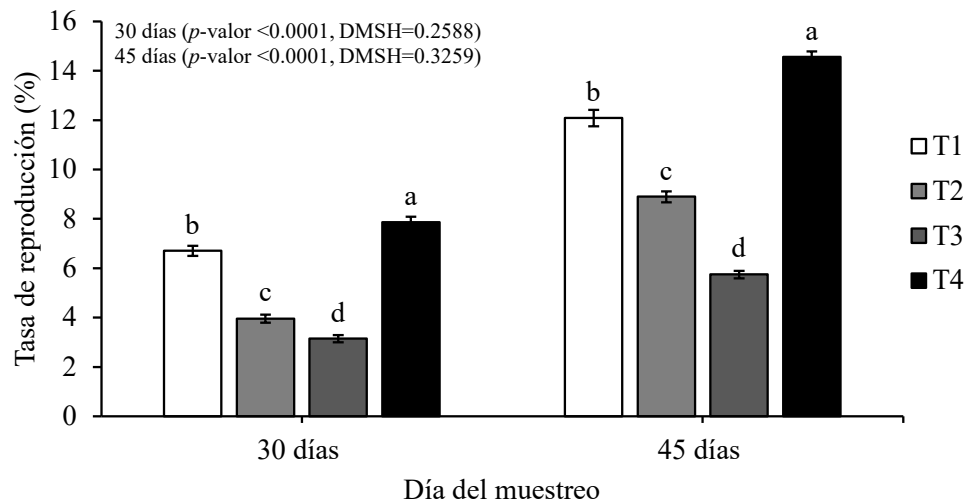
**Figure 2. Mean values  $\pm$  standard deviation of growth rate (mg worm<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>) of the red Californian earthworm (*Eisenia foetida*) in response to four feeding sources, evaluated at 30 and 45 days after inoculation of the starter culture.** □ = cattle manure + banana rachis, ■ = cattle manure + oil palm rachis, ■ = cattle manure + coconut rachis, ■ = cattle manure + market vegetable residues. HSD = honest significant difference. Bars with the same letter do not differ statistically (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La tasa de reproducción de la lombriz roja californiana mostró diferencia significativa por efecto de los tratamientos a los 30 y 45 días posteriores a la inoculación del pie de cría ( $p \leq 0.05$ ). Del mismo modo, que en la tasa de crecimiento el tratamiento T4 mostró la mayor tasa de reproducción con un promedio de  $7.87 \pm 0.22$  y  $14.56 \pm 0.23\%$  a los 30 y 45 días, respectivamente. Los menores promedios en la tasa de reproducción fue con el tratamiento T3, siendo inferior un 148.26% (30 días) y 153.22% (45 días) en relación al tratamiento T4 (Figura 3).

### Producción y Calidad de Vermicompost

El Cuadro 2 presenta los valores de tiempo de desdoblamiento, rendimiento, pH y contenido de materia orgánica del vermicompost generado a partir de cuatro mezclas de sustratos orgánicos, observando efectos significativos entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). El tratamiento T4 mostró el menor tiempo de desdoblamiento con  $22.75 \pm 0.89$  días, lo que indica una mayor eficiencia en la biodegradación del sustrato, seguido del T1 con  $29.75 \pm 0.46$  días. En contraste, los tratamientos T2 con  $117.38 \pm 1.06$  días y T3 con  $117.75 \pm 0.89$  días mostraron los tiempos de descomposición más prolongados.

El mayor rendimiento de vermicompost se obtuvo en el tratamiento T1 ( $40.38 \pm 0.58\%$ ), el cual presentó un pH alcalino de  $8.77 \pm 0.15$ , significativamente superior al resto de los tratamientos. Este valor también fue mayor en comparación con los pH promedio para vermicompost obtenido con lombriz roja californiana alimentada con hojas de banano, los cuales oscilan entre 7.30 y 7.83 a los 45 días de proceso (Kumar *et al.*, 2023). Los tratamientos T2 y T3 presentaron valores promedio de pH de  $7.27 \pm 0.15$ , considerados más óptimos para el desarrollo microbiano durante el proceso de vermicompostaje, lo cual son similares a los reportados por Swarnam, Velmurugan, Pandey y Roy (2016) quienes indican pH entre 7.3 a 7.1 en vermicompost generado con lombriz *Eudrilus eugeniae* alimentadas con residuos de cocos más estiércol de aves de corral. El rendimiento más bajo se registró con el tratamiento T3 ( $28.83 \pm 0.75$  kg m<sup>-3</sup>), posiblemente debido a su baja palatabilidad y menor degradabilidad, lo que afecta la eficiencia alimenticia de lombriz roja californiana. Por otro lado, el contenido más alto de materia orgánica se registró en el tratamiento T3 ( $50.97 \pm 0.21\%$ ), lo que sugiere una mayor estabilidad y calidad del vermicompost generado en esta condición.



**Figura 3. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar en la tasa de reproducción (%) de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en respuesta a cuatro fuentes de alimentación, evaluadas a los 30 y 45 días posteriores a la inoculación del pie de cría.** □ = estiércol bovino+raquis de banano, ■ = estiércol bovino+raquis de palma, ■ = estiércol bovino+raquis de coco, ■ = estiércol bovino+residuos vegetales de mercado. DMSH= diferencia mínima significativa honesta. Las barras con las misma literal no difieren estadísticamente (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

**Figure 3. Mean values  $\pm$  standard deviation of reproduction rate (%) of the red Californian earthworm (*Eisenia foetida*) in response to four feeding sources, evaluated at 30 and 45 days after inoculation of the starter culture.** □ = cattle manure + banana rachis, ■ = cattle manure + oil palm rachis, ■ = cattle manure + coconut rachis, ■ = cattle manure + market vegetable residues. HSD = honest significant difference. Bars with the same letter do not differ statistically (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La calidad del vermicompost obtenido en el presente estudio a partir de las diferentes fuentes de alimentación de la lombriz roja californiana mostró una alta variabilidad. En particular, el tratamiento T3, base raquis de coco, destacó por presentar un contenido de materia orgánica (M.O.) del  $50.97 \pm 0.21\%$ , valor estadísticamente superior a los demás tratamientos. Este resultado podría atribuirse al mayor tiempo de descomposición requerido por este tipo de material orgánico (Torrendel *et al.*, 2008). Asimismo, Pérez *et al.* (2008) señalan que los contenidos de M.O. en el vermicompost son generalmente más elevados que en otros abonos orgánicos, como el compost y el bocashi. De acuerdo a Hussain y Abbasi (2018), los vermicompost son ricos en M.O., que, al añadirse al

**Cuadro 2. Desdoblamiento, rendimiento, pH y materia orgánica en respuesta a cuatro fuentes de alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Sav.).**

**Table 2. Decomposition, yield, pH, and organic matter in response to four feeding sources for the red Californian earthworm (*Eisenia foetida* Sav.).**

Fuentes de alimentación	Desdoblamiento (días)	Rendimiento (kg m <sup>-3</sup> )	pH	M. O. (%)
T1	29.75 $\pm$ 0.46 b	40.38 $\pm$ 0.58 a	8.77 $\pm$ 0.15 a	24.53 $\pm$ 0.31 c
T2	117.38 $\pm$ 1.06 a	34.13 $\pm$ 0.64 b	7.27 $\pm$ 0.15 b	27.3 $\pm$ 0.20 b
T3	117.75 $\pm$ 0.89 a	28.83 $\pm$ 0.75 d	7.27 $\pm$ 0.15 c	50.97 $\pm$ 0.21 a
T4	22.75 $\pm$ 0.89 c	32.50 $\pm$ 0.46 c	7.77 $\pm$ 0.15 c	20.33 $\pm$ 0.42 d
<i>p</i> -valor	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**	<0.0001**
DMSH	1.183	0.847	0.452	0.315
C.V.	1.203	1.822	2.151	0.378

Valor promedio  $\pm$  desviación estándar, DMSH= diferencia mínima significativa honesta. C.V.= coeficiente de variación, \*\* = significativo a  $p \leq 0.01$ . Letras distintas en la misma columna indican diferencia significativa de acuerdo con Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

Mean value  $\pm$  standard deviation, HSD = honest significant difference, C.V. = coefficient of variation, \*\* = significant at  $p \leq 0.01$ . Different letters within the same column indicate significant differences according to Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ).

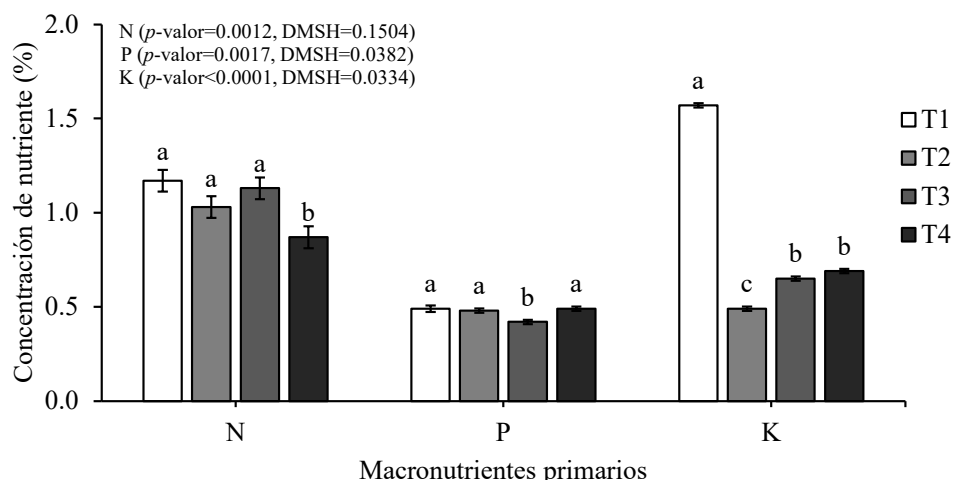


suelo, aumenta su porosidad, aireación y capacidad de retención de agua, por ende reducen el volumen y la densidad de las partículas del suelo, mejorando las propiedades físicas de los suelos contribuyendo a un mejor crecimiento y rendimiento de las plantas. El humus contenido en los vermicompost contiene componentes con cargas negativas en grandes cantidades y, por lo tanto, favorece la retener de cationes. Esto concede al vermicompost la capacidad de actuar como fertilizantes de liberación lenta.

De acuerdo al análisis de varianza se presentaron diferencias significativas en las concentraciones de N, P, y K en el vermicompost generado por los diferentes tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). El mayor contenido de N se registró en el tratamiento T1, seguido por los tratamientos T3 y T2 con valores del  $1.17 \pm 0.06$ ,  $1.13 \pm 0.06$  y  $1.03 \pm 0.06\%$ , respectivamente, los cuales fueron estadísticamente diferentes al tratamiento T4 ( $0.87 \pm 0.06\%$ ). En relación a la concentración de P, los tratamientos T1 y T4 mostraron los mayores promedios con  $0.49 \pm 0.2$  y  $0.49 \pm 0.1\%$ , siendo superiores en 2.08 y 16.67% a los tratamientos T2 y T3, respectivamente. Asimismo, el tratamiento T1 mostró mayor concentración de K con  $1.57 \pm 0.01\%$ , superando un 220.40, 141.53, 127.54% a los tratamientos T2, T3 y T4, respectivamente (Figura 4).

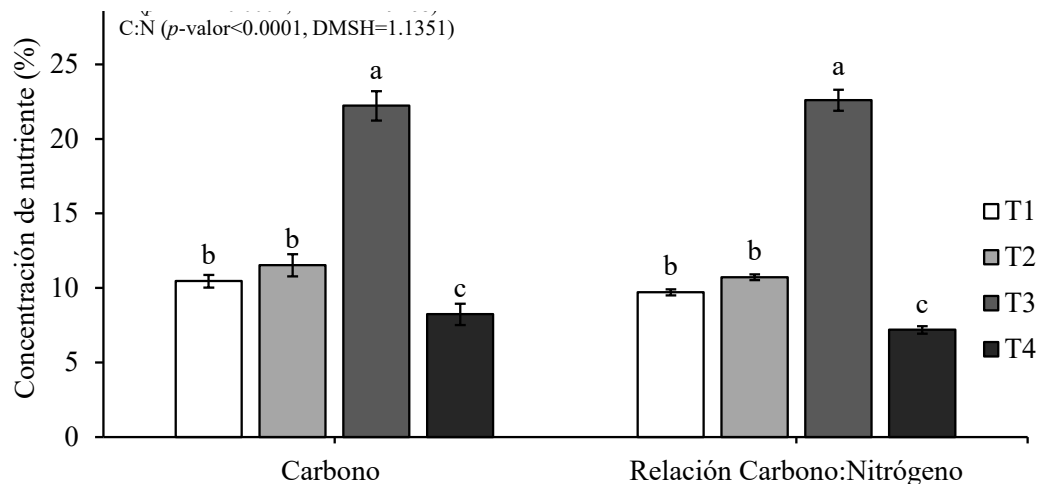
La concentración de N presentada en este estudio en los tratamientos T1, T2 y T3 fueron superior a la reportada por Rodríguez et al. (2008) quienes indican un valor de 0.97% N, sin embargo, fueron similares a los valores obtenidos por Torrendel et al. (2008) que fluctuaron entre 1.1 y 1.3% N, al evaluar diversos sustratos, tiempos de compostaje y volúmenes de yerba mate pre-compostado. El menor contenido de N fue registrado en los residuos vegetales provenientes de mercados (T4), con un valor de  $0.87 \pm 0.06$ , indican que, a pesar de que el contenido de N en hortalizas de hojas al momento de la cosecha es aproximadamente del 4%, este se pierde durante la digestión por *Eisenia foetida* (Bugarín-Montoya et al., 2011). Las concentraciones de K obtenidas en el tratamiento T1 ( $1.57 \pm 0.01\%$ ) fueron superiores a los valores reportados de 0.74% y 0.84% en vermicompost producido por *Eisenia foetida* alimentada con biomasa vegetal de papa seca y estiércol bovino, en proporciones de 5:0 y 5:1, respectivamente (Das y Deka, 2021). En contraste, los contenidos de fósforo (P) obtenidos en todos los tratamientos fueron inferiores a los valores de 0.59 y 0.80% reportados en vermicompost elaborado con hojarasca de Teca (*Tectona grandis*) y estiércol bovino en distintas proporciones (Sharma y Garg, 2019).

El tratamiento base raquis de coco (T3) mostró la mayor concentración de C ( $22.23 \pm 0.99\%$ ) y la relación C: N ( $22.61 \pm 0.70$ ), siendo significativamente al resto de los tratamientos ( $P \leq 0.05$ ). El tratamiento T4 exhibió los valores más bajos de C ( $8.24 \pm 0.72\%$ ) y C: N ( $7.18 \pm 0.24$ ), indicando una mineralización más rápida del sustrato y, en consecuencia, una menor retención de carbono orgánico. Los tratamientos T1 y T2 mostraron valores de  $10.46 \pm 0.42$  y  $11.53 \pm 0.97$ , los cuales fueron estadísticamente similares, reflejando una dinámica de degradación orgánica comparable entre ellos, respectivamente (Figura 5). Los valores obtenidos en la relación C: N en los



**Figura 4. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar en la concentración de macronutrientes primarios (N, P, K) del vermicompost generado por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en respuesta a cuatro fuentes de alimentación.** □ = estiércol bovino+raquis de banana, ■ = estiércol bovino+raquis de palma, ■ = estiércol bovino+raquis de coco, ■ = estiércol bovino+residuos vegetales de mercado. DMSH= diferencia mínima significativa honesta. Las barras con las misma literal no difieren estadísticamente (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

**Figure 4. Mean values  $\pm$  standard deviation of primary macronutrient concentrations (N, P, K) in the vermicompost produced by the red Californian earthworm (*Eisenia foetida*) in response to four feeding sources.** □ = cattle manure + banana rachis, ■ = cattle manure + oil palm rachis, ■ = cattle manure + coconut rachis, ■ = cattle manure + market vegetable residues. HSD = honest significant difference. Bars with the same letter do not differ statistically (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).



**Figura 5. Valores promedio  $\pm$  desviación estándar en la concentración de Carbono y relación Carbono:Nitrógeno del vermicompost generado por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en respuesta a cuatro fuentes de alimentación.** □ = estiércol bovino+raquis de banano, ■ = estiércol bovino+raquis de palma, ■ = estiércol bovino+raquis de coco, ■ = estiércol bovino+residuos vegetales de mercado. DMSH= diferencia mínima significativa honesta. Las barras con las misma literal no difieren estadísticamente (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

**Figure 5. Mean values  $\pm$  standard deviation of carbon concentration and carbon-to-nitrogen ratio in the vermicompost produced by the red Californian earthworm (*Eisenia foetida*) in response to four feeding sources.** □ = cattle manure + banana rachis, ■ = cattle manure + oil palm rachis, ■ = cattle manure + coconut rachis, ■ = cattle manure + market vegetable residues. HSD = honest significant difference. Bars with the same letter do not differ statistically (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

tratamientos T3 y T2 fueron superiores al valor promedio de 10 reportado por Pupiro *et al.* (2004). No obstante, todos los tratamientos evaluados en el presente estudio mostraron valores inferiores al 40% de C reportado por los mismos autores, lo que indica una menor acumulación relativa de carbono en los sustratos utilizados.

La relación de C: N puede variar de 11.03 a 28.05 en vermicompost generados por diferentes sustratos como son algas marinas, restos de caña de azúcar y fibra de coco y residuos vegetales mezclados con estiércol bovino (1:1, volumen: volumen) (Biruntha *et al.*, 2020). Esta variación en la relación C: N puede atribuirse tanto a la naturaleza de los materiales orgánicos utilizados como a las condiciones específicas del proceso de vermicompostaje, factores que inciden directamente en la dinámica de descomposición y estabilización de la materia orgánica. Los incrementos en la concentración de C y en la relación C: N podrían estar relacionados con el mayor tiempo de descomposición que requieren los compuestos lignocelulósicos (Yang *et al.*, 2021) como el raquis de coco, lo que favorece la acumulación de carbono estable en el vermicompost, así como con los altos contenidos de materia orgánica registrados.

## CONCLUSIONES

Los sustratos orgánicos base raquis de banano y residuos vegetales de mercado favorecieron el mayor crecimiento longitudinal y las tasas de densidad poblacional y reproducción de *Eisenia foetida* Sav., evidenciando una rápida adaptación alimenticia atribuida al alto contenido de agua y proteínas presente en hortalizas de hoja. La calidad del vermicompost obtenido fue variable, dependiendo directamente del sustrato orgánico utilizado como fuente alimenticia. El sustrato con raquis de coco generó el vermicompost con mayor contenido de materia orgánica, mientras que las mayores concentración de macroelementos (N, P y K) se presentaron en el sustrato base raquis de banano. Estos hallazgos destacan la relevancia de seleccionar adecuadamente los sustratos orgánicos tanto para la reproducción de *Eisenia foetida* y/o la producción de vermicompost de excelente calidad nutricional.

## DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

## CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

## DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

## FINANCIACIÓN

No aplicable.

## CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Investigación, conceptualización, validación, administración del proyecto, adquisición de fondo: R.A.R.R. y L.A.S.B. Escritura: revisión y edición: R.A.R.R., B.E.P. y L.T.LI.R. Investigación, metodología: J.J.R.P. y A.N.M.V. Escritura: preparación del borrador original, escritura: revisión y edición: R.A.R.R. y J.J.R.P. Curación de datos, análisis de datos: R.A.R.R. y B.E.P. Escritura, revisión, análisis formal: R.A.R.R., A.N.M.V., B.E.P. y J.J.R.P.

## AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Superior Politécnica del Ejército (ESPE), por proporcionar *Eisenia foetida* Sav. para la realización de la presente investigación. Al Laboratorio de Suelos y Aguas del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) por permitir realizar los análisis de calidad del vermicompost.

## LITERATURA CITADA

- Alonso, J., García, M. A., López, J. M. P., & Melgar, M. J. (2004). Acumulación de metales pesados en macromicetos comestibles y factores que influyen en su captación. *Revista de Toxicología*, 21(1), 11-15.
- Analytical Software (2015). *Statistix 10 User's Guide* (Version 10). Tallahassee, FL, USA: Analytical Software.
- Benavides, B. J., Espitia, M. A., Bracho, L. L., & Benítez, P. N. (2006). Manejo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para producir lombricompost en la costa atlántica. *Corpoica*, 1(1), 1-17.
- Berrospe-Ochoa, E. A., Ordaz-Chaparro, V. M., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N., & Quintero-Lizaola, R. (2012). Cachaza como sustrato para la producción de plántulas de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18(1), 141-156.
- Biruntha, M., Karmegam, N., Archana, J., Selvi, B. K., Paul, J. A. J., Balamuralikrishnan, B., ... & Ravindran, B. (2020). Vermiconversion of biowastes with low-to-high C/N ratio into value added vermicompost. *Bioresource Technology*, 297(1), 122398. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122398>
- Bugarín-Montoya, R., Virgen-Ponce, M., Galvis-Spinola, A., García-Paredes, D., Hernández-Mendoza, T., Bojorquez-Serrano, I., & Madueño-Molina, A. (2011). Extracción de nitrógeno en seis especies olerícolas durante su ciclo de crecimiento. *Bioagro*, 23(2), 93-98.
- Campoverde, S. D. K., Velasco, M. L. A., & Acurio, M. W. D. (2020). Aplicación de sustratos orgánicos en la cría de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la producción de alimento animal. *Conciencia Digital*, 3(3.1), 22-35. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1.1354>
- Canales-Gutiérrez, A., Solís-Ramos, B. J., Panca-Castañeda, R. J., & Quispe-Cáceres, B. L. (2020). Crianza de *Eisenia foetida* (lombriz roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico. *Ecología Aplicada*, 19(2). <https://doi.org/10.21704/rea.v19i2.1559>
- Carvajal-Muñoz, J. S., & Mera-Benavides, A. C. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 5(2), 77-96.
- Das, D., & Deka, H. (2021). Vermicomposting of harvested waste biomass of potato crop employing *Eisenia fetida*: changes in nutrient profile and assessment of the maturity of the end products. *Environ Science and Pollution Research*, 28(27), 35717-35727. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13214-z>
- De Gante-Cabrera, V. H. (2013). La lombricultura: alternativa a la disposición final de residuos domiciliarios. *Elementos*, 89, 43-46.
- 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), 1-14. <https://doi.org/10.70171/qe9dvn74>
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L. A., Tablada, E. M., & Robledo, C. W. (2020). *InfoStat versión 2020. software estadístico*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat.
- Flores-Pacheco, J. A., Romero, O., Vivas, E., Lacayo, J., & Cassell, R. (2018). Evaluación de la viabilidad de distintas dietas para la producción de lombrihumus con las especies *Eisenia foetida* y *Eudrillus* sp. *Nexo Revista Científica*, 31(01), 28-46. <https://doi.org/10.5377/nexo.v31i01.6452>

- González-Márquez, L. C., Félix-Gastélum, R., Sandoval-Romero, J. A., Escobedo-Urías, D. C., & Longoria-Espinoza, R. M. (2021). Caracterización de biofertilizantes utilizados en el valle agrícola de Guasave, Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana*, 39, 1-14. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.859>
- Guamán-Rivera, S. A., & Flores-Mancheno, C. I. (2023). Seguridad alimentaria y producción agrícola sostenible en Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(1), 1-20. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n1/35>
- Hussain, N., & Abbasi, S. A. (2018). Efficacy of the vermicomposts of different organic wastes as "clean" fertilizers: state-of-the-art. *Sustainability*, 10(4), 1-63. <https://doi.org/10.3390/su10041205>
- Kumar, K. A., Subalakshmi, R., Jayanthi, M., Abirami, G., Vijayan, D. S., Prabhu, S. V., & Baskaran, L. (2023). Production and characterization of enriched vermicompost from banana leaf biomass waste activated by biochar integration. *Environmental Research*, 219, 115090. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.115090>
- Mancera-Rodríguez, N. J., & Álvarez-León, R. (2006). Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 11(1), 3-23.
- Manqueira-Reyes, D., Miranda, P. D., Díaz, L. M. S., Ravelo, A. Y., & Izquierdo, D. R. (2022). Comportamiento productivo, reproductivo y morfométrico de la lombriz roja californiana en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *Ecovida*, 12(3), 257-266.
- Martínez, A. A. M., & Cayón, S. D. G. (2021). Dinámica del crecimiento y desarrollo del banano (*Musa AAA Simmonds cvs. gran Enano y Valery*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 64(2), 6055-6064.
- Oviedo-Ocaña, E. R., Marmolejo-Rebellón, L. F., & Torres-Lozada, P. (2014). Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(1), 91-100.
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(3), 10-29.
- Pérez-Inocencio, J., Álvarez-Bernal, D., Lastiri-Hernández, M. A., Sandoval-Estrada, P., & Aguilar-Rodríguez, C. E. (2025). Influencia de Hongos Micorrízicos Arbusculares y Vermicompost en el Crecimiento de Limón Mexicano (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Terra Latinoamericana*, 43, 1-11. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2151>
- Pupiro, L. A., Vilches, E., Núñez, E., Gómez, J., Báez, M., & León, P. (2004). Efecto del humus de lombriz en el rendimiento y las principales plagas insectiles en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 25(1), 89-95.
- Rahman, A., Hashem, M. A., Kabir, A. K. M. A., Bhuiyan, M. K. J., & Rahman, M. M. (2020). Influence of amount of red worm (*Eisenia foetida*) on the organic matter degradation during vermicomposting of cattle manure. *Bangladesh Journal of Animal Science*, 49(1), 45-54.
- Räty, M., & Huhta, V. (2004). Earthworm communities in birch stands with different origin in central Finland. *Pedobiologia*, 48(3), 283-291. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2004.02.002>
- Ravelo, P. K., Pérez, D. M., Toledo, P. L. E., Martínez, R. M., & Maqueira, R. D. (2023). Efecto de la utilización de estiércol porcino y caprino como sustrato en la producción de humus de lombriz *Eisenia foetida* (Lombriz roja californiana). *Ecovida*, 13(2), 58-67.
- Rodríguez, D. N., Cano, R. P., Figueroa, V. U., Palomo, G. A., Favela, C. E., Álvarez, R. V. D. P. ... & Moreno, R. A. (2008). Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 265-272.
- Sharma, K., & Garg, V. K. (2019). Recycling of lignocellulosic waste as vermicompost using earthworm *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(14), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04639-8>
- Singh, A. K., Tripathi, A. K., Singh, S. R. K., & Yati, R. K. (2021). Significance of substrate straw on nutritive quality of vermicompost and growth of vermiform species *Eisenia fetida*. *The Pharma Innovation Journal*, 10(12), 590-596.
- Soares, J. C., Santos, C. S., Carvalho, S. M., Pintado, M. M., & Vasconcelos, M. W. (2019). Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies. *Plant and Soil*, 443(1), 1-26. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04229-0>
- Soto-Valenzuela, J. O., Álvarez-Vera, M. S., Vázquez-Vásquez, J. E., & Ricardo-Ricardo, G. B. (2024). Evaluación físico, químico y microbiológico del suelo en cultivos de *Musa paradisiaca Cavendish* y *Elaeis guineensis* Jac. Provincia de los Ríos. *Revista Alfa*, 8(22), 110-125. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i22.252>
- Swarnam, T. P., Velmurugan, A., Pandey, S. K., & Roy, S. D. (2016). Enhancing nutrient recovery and compost maturity of coconut husk by vermicomposting technology. *Bioresource Technology*, 207, 76-84. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.046>
- Torrendel, M., Useta, G., & Pelerino, F. (2008). La yerba no es basura lombricultura y producción de vermicompost a partir de residuos de yerba mate en Uruguay. *Innotec*, 3, 35-39.
- Yang, H., Zhang, H., Qiu, H., Anning, D. K., Li, M., Wang, Y., & Zhang, C. (2021). Effects of C/N ratio on lignocellulose degradation and enzyme activities in aerobic composting. *Horticulturae*, 7(11), 482. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7110482>