

Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*)

Paola A. Rincones^{1*}, José E. Zapata², Omar A. Figueroa³ y Clarivel Parra¹

(1) Facultad de Ingenierías y Tecnológicas, Universidad Popular del Cesar, Valledupar, Cesar-Colombia.
(correo-e: paolarinconesvalera@gmail.com; clarivelparra@unicesar.edu.co)

(2) Grupo de Nutrición y Tecnología de Alimentos, Universidad de Antioquia UdeA, Medellín, Antioquia-Colombia.
(correo-e: edgar.zapata@udea.edu.co)

(3) Facultad de Ingeniería, Universidad de La Guajira, Riohacha, La Guajira-Colombia. (correo-e: omfimo22@gmail.com)

* Autor a quien debe ser dirigida la correspondencia

Recibido Ago. 25, 2022; Aceptado Oct. 5, 2022; Versión final Dic. 6, 2022, Publicado Abr. 2023

Resumen

Este estudio tiene como objetivo caracterizar los sustratos de residuos orgánicos en el cultivo de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). El proceso inicia con el precompostaje, donde se controla temperatura, pH y humedad durante 33 días. Se preparan tres tipos de mezclas con sustitución gradual (0, 20 y 40 %) de pollinaza (PZA) por bovinaza (BZA). Se depositan 3.8 kg de cada sustrato en canecas plásticas y se inoculan con 38 lombrices adultas. El experimento se realiza por triplicado durante 97 días. Se analizan las variables: número de lombrices producidas por kilogramo de sustrato, masa de lombrices, talla y porcentaje de multiplicación. Los resultados muestran que la sustitución de 40 % de BZA por PZA puede afectar la multiplicación de lombrices. El mayor porcentaje de reproducción de lombrices se obtuvo en el tratamiento con 100 % de bovinaza. Se concluye que los productos del proceso tienen características adecuadas para ser aplicados como fertilizante de suelos.

Palabras clave: bovinaza; *Eisenia fetida*; pollinaza; precompostaje; residuos orgánicos

Evaluation of substrates on the productive parameters of the red California earthworm (*Eisenia fetida*)

Abstract

The primary objective of this research study is to characterize organic waste substrates when producing the red Californian earthworm (*Eisenia fetida*). The process starts with pre-composting, where temperature, pH, and humidity are controlled for 33 days. Three types of mixtures are prepared with gradual (0, 20, and 40%) substitution of poultry manure (PZA) for bovine manure (BZA). Each substrate (3.8 kg) is placed in plastic buckets and 38 adult earthworms are inoculated. The experiment is conducted in triplicates for a period of 97 days. The following variables are assessed: number of worms produced per kilogram of substrate, worms' total mass, size, and multiplication percentage. The results show that substitution of 40% BZA for PZA can affect earthworm multiplication. The highest percentage of worm reproduction is observed with 100% bovine manure. It is concluded that the processes' byproducts have suitable characteristics for their application as soil fertilizer.

Keywords: bovine manure; *Eisenia fetida*; manure poultry; precomposting; organic waste

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos orgánicos provenientes de la actividad avícola, ganadera y agrícola se ha convertido en una fuente de contaminación de los diferentes sistemas ambientales al no existir un aprovechamiento racional o un reciclaje sistemático (Acosta *et al.*, 2013). La avicultura se presenta como una de las actividades económicas de mayor solidez, no obstante, se estima que un pollo produce 6,9 kg de pollinaza por cada 1000 kg de peso vivo por día, convirtiendo a la pollinaza en uno de los residuos que requiere manejo y aprovechamiento adecuado, con el objetivo de reducir los impactos ambientales de la industria avícola y lograr la sostenibilidad del proceso (Zamora *et al.*, 2019). Por su parte, la demanda de proteína animal y los altos consumos actuales de carne vacuna, han provocado mayor generación de excretas de bovinos, causando contaminación en el aire, suelo y fuentes hídricas, debido a sus altos porcentajes de nitrógeno, potasio y fósforo, y a la indebida disposición final de estos residuos (Veleceta *et al.*, 2019).

La lombricultura es una de las técnicas más ecológicas y económicas para valorizar los residuos orgánicos, asimismo, es beneficiosa para reducir la contaminación, ya que disminuye el volumen de los residuos, elimina microorganismos patógenos, además, el humus producido ayuda a mejorar la calidad y fertilidad de los suelos especialmente agrícolas (Gupta y Garg, 2017). Además, la lombricultura podría funcionar como alternativa para producir proteína animal a coste reducido y de una manera sostenible, debido al alto porcentaje de multiplicación que las lombrices poseen. Asimismo, la proteína podría incluirse en la alimentación directa de proyectos avícolas o piscícolas (Romero *et al.*, 2018). Además, la obtención de harina de lombriz es viable para la formulación de alimentos para uso animal o humano (Romero *et al.*, 2018). Los procesos de lombricultura presentan una opción económica a los fertilizantes sintéticos, y dentro de sus beneficios está el aumentar biodiversidad microbiana, las enzimas, los nutrientes y la fertilidad del suelo, además disminuye los patógenos del suelo y los metales pesados (Raza *et al.*, 2022).

La producción de lombrices puede verse afectada por factores ambientales o fisicoquímicos como pH, humedad y temperatura, adicionalmente, las diferencias entre la calidad de los sustratos y su composición química, tanto como, las mezclas de residuos utilizados para el compostaje pueden interferir en las tasas de reproducción y mortalidad de las lombrices (FAO, 2013). De igual manera la sobrevivencia de las lombrices está relacionada con la ingesta de alimentos durante el proceso (Yadav y Garg, 2011). Es necesario realizar el proceso de precompostaje donde ocurren las diferentes etapas: mesófila, termófila y de maduración (FAO, 2013). Aquí la activación de la microbiota y las variaciones de la temperatura, hacen posible la degradación de los residuos, la eliminación de sustancias volátiles, la estabilización y la reducción de la masa de los residuos y de patógenos (FAO, 2013; Hanc y Pliva, 2013; Gupta y Garg, 2017).

En el compostaje los microorganismos bioquímicamente degradan y estabilizan la materia orgánica, sin embargo, las lombrices de tierra promueven condiciones de aireación, fragmentan el sustrato y, por lo tanto, aumentan drásticamente la actividad microbiana (Hanc y Pliva, 2013; Dominguez y Edwards, 2011a, b). El proceso de compostaje con lombrices se debe realizar con temperatura entre (25 – 40 °C), pH alrededor de la neutralidad (6,5 – 8,5), y alta humedad (60 – 80 %), durante 2 - 4 meses inicialmente (Gupta y Garg, 2017). La especie de lombriz *E. fetida* es una de las más utilizadas durante los procesos de compostajes, debido a la resistencia, capacidad reproductiva y amplio rango de aceptación de alimentos o sustratos (Singh *et al.*, 2018). El crecimiento y desarrollo de las lombrices depende del tipo de sustrato, la densidad de la población y las condiciones ambientales. La lombriz roja californiana *E. fetida* necesita temperatura entre 15 – 25 °C, humedad del 80 – 90 %, contenido de amoníaco menor a 0,5 mg/g, contenido de sal menor a 0,5 % y pH en el rango de 5 – 9 (Singh *et al.*, 2018; FAO, 2013).

El humus y el lixiviado que también se obtienen de la lombricultura tienen características de abono orgánico de gran calidad debido a la actividad microbiana y enzimática que ocurre en el proceso (Hanc y Pliva, 2013). Esto redundaría en beneficios para la calidad de los suelos, pues los nutrientes, las hormonas de crecimiento vegetal y las diferentes enzimas y sustancias que contiene son capaces de proteger a las plantas contra plagas y enfermedades (Hanc y Pliva, 2013). Por tanto, este proceso es fundamental cuando se quiere adoptar una agricultura sostenible. Del mismo modo, la utilización de productos de derivados humificados y compostados, unidos a componentes microbiológicos, son de gran beneficio para proteger del estrés biótico y abiótico y mejorar los rendimientos de los cultivos, además, contribuye a mejorar las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos (Arteaga *et al.*, 2020). Así mismo, los abonos orgánicos reducen el uso de fertilizantes sintéticos, que son potencialmente peligrosos para la salud y el ambiente a largo plazo (Ramos y Terry, 2014).

Se ha demostrado que la combinación de material vegetal de residuos de la planta del maíz junto con las deyecciones de pollos, al realizar una etapa de precompostaje de los sustratos durante 15 días, evitó que las lombrices *E. fetida* sufrieran daños cuando la temperatura alcanzó los 35 °C, el proceso de compostaje mantuvo una temperatura promedio de 25 °C y una humedad entre 55 – 65 % durante 60 días, por tanto, se concluye que las lombrices podrían acelerar la estabilización del material vegetal de residuos de la planta del maíz al activar microbios que degradan la lignocelulosa (Castillo *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2015a,b).

Igualmente, Yadav y Garg (2011), reportaron que la combinación de 50 % de estiércol de vaca más 25 % de excrementos de aves y 25 % de lodos de la industria alimentaria, tiene mayor tasa de reproducción y biomasa de las lombrices, luego de pasar por un proceso de precompostaje de 4 semanas y compostaje de 91 días. Así mismo, se concluyó que el compost obtenido del compostaje de la mezcla de 50 % residuos de pajas de arroz, 50 % camas de aves de corral y 50 % deyecciones de ganado en una relación 1:1:1, presentó macronutrientes como el potasio, fósforo y magnesio, por tanto, podría ser un excelente abono orgánico reduciendo el uso de fertilizantes químicos (Srivastava *et al.*, 2023).

Además, se ha verificado que el compost tiene concentraciones de nutrientes que lo hacen viable para valorizar los residuos agrícolas y para la producción de cultivos sostenibles, así como de plantas hortícolas y ornamentales (Castillo *et al.*, 2021). Igualmente, el compost orgánico producido con lombrices de tierra presenta mejor desempeño en la reducción de cargas ambientales y en la absorción de nutrientes por parte del suelo, en comparación con el fertilizante sintético (Raza *et al.*, 2022). El objetivo del presente trabajo es evaluar la inclusión de sustratos orgánicos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) con el fin de determinar su potencial para el desarrollo de sistemas productivos de ciclo cerrado.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en la investigación está dividida por etapas, primero se inició con la obtención de residuos orgánicos, luego se describe la etapa de precompostaje, seguido de la prueba de supervivencia, se detalla la etapa de producción de lombrices, por último, se especifican los métodos analíticos y el análisis estadístico.

Residuos orgánicos

Se utilizaron tres de residuos orgánicos en la elaboración del sustrato para el crecimiento de las lombrices: pollinaza (PZA), bovinaza (BZA) y material vegetal (MV). La bovinaza fue recolectada en el conjunto de granjas cercanas a la vereda de El Cielo, ubicada a en la vía entre el municipio de Valledupar – Colombia y el corregimiento de Valencia de Jesús - Colombia (10 Km en la vía nacional), lugar donde se realizó el estudio. Este residuo se recolectó fresco con máximo de dos días de ser excretadas por el ganado, fue empacado en sacos plásticos. La pollinaza, está compuesta por una mezcla de cascarilla de arroz y deyecciones de pollo, fue suministrada por la compostadora del lote Idema, ubicada en el municipio de Valledupar, por su parte los residuos vegetales se obtuvieron en el mercado público del municipio de Valledupar. La relación C/N se estableció en 25:1 para la bovinaza, 18:1 las deyecciones de pollo y 66:1 la cascarilla de arroz, estas últimas conforman la pollinaza utilizada en el experimento.

Precompostaje

La evaluación de la inclusión de mezclas de pollinaza y bovinaza con material vegetal como sustratos para la producción de lombrices rojas californianas, en la etapa de pre-compostaje, se realizó cumpliendo una relación 3:1, estiércol (PZA y BZA): MV. Este último estaba compuesto por residuos de papa, plátano, yuca, zanahoria, hojas de repollo y lechuga en proporciones iguales. Estos sustratos se mezclaron en tres fórmulas, a saber: una primera fórmula con 100 % de BZA, una segunda fórmula con 20 % de PZA más 80 % de BZA y una tercera fórmula con 40 % de PZA más 60 % de BZA, todos mezclados con MV en la proporción mencionada (3:1).

El proceso de pre - compostaje se llevó a cabo en la granja experimental de la Universidad Popular del Cesar. Una vez mezclados, los sustratos se apilaron formando montículos de un metro de altura, en un espacio cubierto con techo para evitar la exposición a la lluvia. El monitoreo del pH, la temperatura y la humedad se hizo cada tres días. Este proceso se realizó durante 33 días hasta obtener un pH dentro del rango ideal (5,8 – 7,2) y una temperatura (entre 25 - 30 °C).

Durante el proceso de precompostaje, las pilas se airearon cada tres días, con el fin de evitar encharcamientos o compactación de los residuos, homogeneizar la temperatura de interior al exterior y activar la actividad microbiana para eliminar microorganismos patógenos (FAO, 2013). Realizar adecuadamente el proceso de precompostaje, puede evitar el aumento de la temperatura en la etapa de siembra, producción y trabajo de las lombrices (Hanc y Pliva, 2013).

Prueba de supervivencia

Antes de la siembra se realizó una prueba de supervivencia, depositando una capa de 10 cm de cada uno de los sustratos en cajas de madera de 30 x 30 x 20 centímetros, con drenaje en la parte inferior (Romero *et al.*, 2020). Luego se introdujeron 50 lombrices rojas californianas en la superficie de estas y se dejaron por 24 horas. La finalidad de esta prueba es verificar que por lo menos el 90 % de las lombrices sobrevivan, demostrando que las condiciones del alimento son las adecuadas para su desarrollo.

Producción de lombrices

La producción de lombrices se llevó a cabo en camas, las cuales consistieron en canecas plásticas provistas de un agujero para la recolección del lixiviado, estas se establecieron sobre canastillas, ubicándose de forma inclinada. Las lombrices utilizadas fueron obtenidas de lombricultivo de la Granja experimental de la Universidad Popular del Cesar. La inoculación de las lombrices siguió un diseño completamente al azar con tres repeticiones y una relación 10:1 número de Lombrices: kilogramo de sustrato. Para ello se sembraron 38 lombrices adultas juveniles en 3,8 kg de cada uno de los sustratos.

El experimento se realizó durante 97 días, las lombrices se alimentaron cada 9 días, adicionando una capa de sustrato no mayor a 10 cm que representan aproximadamente 1,5 kg de sustrato y se efectuó control de pH, temperatura y humedad. Asimismo, las canastillas se mantuvieron cubiertas con polisombra negro al 80 % tejido raschel en polietileno de alta densidad, para evitar la luz directa hacia las lombrices, con el fin de prevenir que la piel de estas se seque y ocasione disminución de la frecuencia respiratoria, lo cual podría conllevar a la muerte de estas (Raza *et al.*, 2022).

Pasado el tiempo de producción de lombrices, de manera manual, se separaron las lombrices de los diferentes sustratos, se contaron de acuerdo a cada tratamiento, se pesaron en una balanza gramera Digital CAP 5KG EK-5055, con una cinta métrica y un pie de rey se determinó el diámetro y largo de las lombrices. Los parámetros evaluados fueron número de lombrices producidas por kilogramo de sustrato, masa (g), diámetro (mm), largo (cm) y porcentaje de multiplicación de las lombrices determinado con la ecuación número 1.

$$\% \text{ de multiplicación} = \frac{\text{Lombrices en el tiempo}}{\text{Número de lombrices sembradas}} \times 100 \quad (1)$$

Métodos analíticos

El compost y el lixiviado obtenidos una vez culminado el proceso de producción de lombrices se caracterizaron fisicoquímicamente, el contenido de ceniza, humedad y la densidad, se determinó utilizando la técnica de gravimetría basada la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 (2011). El contenido de Nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl especificado en la Norma Técnica Colombiana - NTC 370 (2011). El porcentaje fósforo total se determinó por espectrofotometría indicada en la Norma Técnica Colombiana - NTC 234 (1996). El pH y la conductividad eléctrica se determinaron por potenciometría y el carbono orgánico oxidable total por titulometría, ambas técnicas especificadas en la Norma Técnica Colombiana - NTC 5167 (2011). La relación C/N se determinó por cálculo matemático y el contenido de sólidos totales en el lixiviado por gravimetría empleando el método estándar de sólidos totales secados a 103 – 105 °C - SM 2540 B (2018). El contenido de calcio, magnesio, potasio, sodio y zinc totales se determinó por la técnica absorción atómica utilizando el método de la llama directa de aire-acetileno - SM 3111B (2018). Ambos métodos establecidos por American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation. Los parámetros fisicoquímicos se determinaron a partir de una muestra de un kilogramo de compost y un litro de lixiviado obtenido de cada uno de los tratamientos al finalizar la etapa de producción de lombrices.

Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizó a través de un ANOVA con intervalos de confianza del 95,0 %. El análisis de rangos múltiples se realizó empleando la prueba LSD. Se utilizó en software Statgraphics Centurion XIX para el análisis de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las diferentes etapas de investigación, descritas así: proceso de precompostaje, producción de lombrices y los análisis fisicoquímicos del compost y el lixiviado.

Precompostaje

En la figura 1A se observa que el proceso de compostaje inicia con humedades superiores al 80 % debido al gran contenido de agua de los residuos iniciales. No obstante, al finalizar las etapas del proceso, esta humedad se estabiliza dentro del rango óptimo (75 – 80 %) para iniciar la siembra de lombrices (Romero *et al.*, 2018; Hanc y Vasak, 2015). La humedad es un punto crítico dentro del proceso de precompostaje, pues influye en la generación de gases de metano y amoníaco, afecta el proceso de aireación, estructura física, porosidad y drenaje (Velecela *et al.*, 2019).

Durante los 33 días de la etapa de compostaje, se observó que la temperatura en los tres tratamientos tuvo un comportamiento similar como se muestra en la figura 1B. Entre el día 0 y 15 se registraron temperaturas de hasta 45 °C debido a la generación de calor causada por la activación de la microbiota y por el consumo de C y N por parte los microorganismos, a esta etapa se le conoce como mesófila (FAO, 2013). Después de este período, ocurrió la etapa termófila, entre los 18 y 24 días de experimentación, donde la actividad microbiana hace que las temperaturas oscilen entre 45 – 70 °C, lo cual provoca que los microorganismos degraden la lignina y la celulosa, transformen el nitrógeno en amoníaco y causen la muerte los microorganismos patógenos (Gherghel *et al.*, 2019). Luego sucede la segunda etapa mesófila donde la temperatura disminuye hasta 40 – 45° y terminan de degradar la celulosa (FAO, 2013). Por último, se presenta la etapa de maduración, donde la pila alcanza temperatura ambiente (Anjum *et al.*, 2016; FAO, 2013).

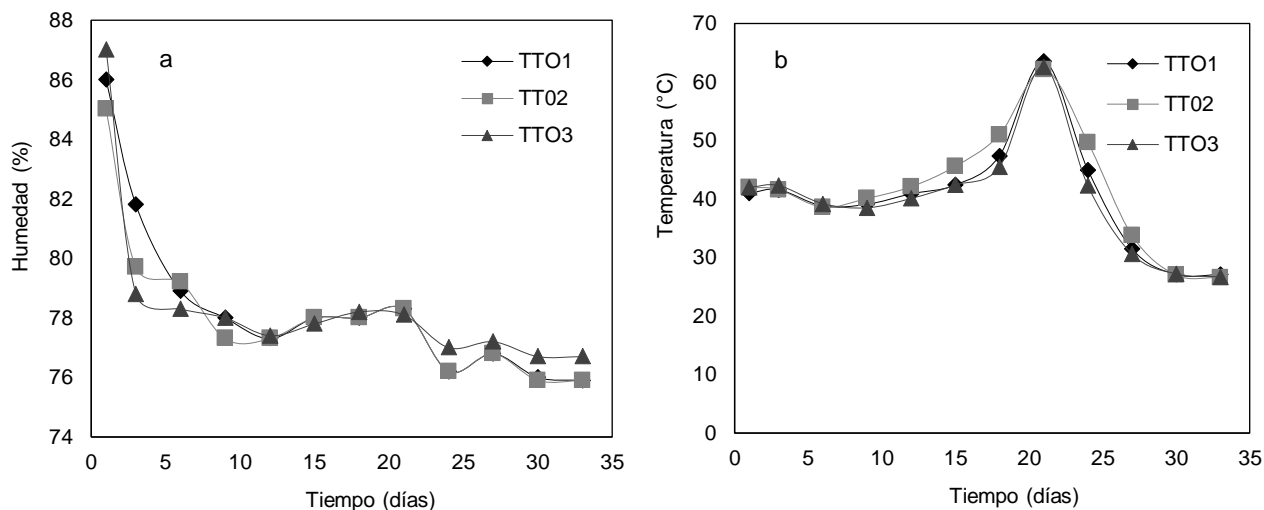


Fig.1: Comportamiento de la humedad (°C) (A) y la temperatura (B) de las diferentes mezclas de sustrato evaluadas (TTO1, TTO2 y TTO3) respecto al tiempo (días), en la etapa de pre-compostaje.

Durante la etapa de precompostaje, el pH, se mantuvo en valores entre 6 – 7 en todos los tratamientos, lo que puede deberse a la descomposición de la materia orgánica por la actividad microbiana en las diferentes etapas de precompostaje, provocando cambios químicos que hacen que, el pH oscile entre valores ácidos y alcalinos (Acosta *et al.*, 2013), para finalizar en un pH ligeramente neutro, siendo el rango ideal para el proceso de precompostaje de 5,8 a 7,2 (FAO, 2013).

Producción de lombrices

Los parámetros de humedad, temperatura, pH, luz y aireación juegan un papel fundamental en el crecimiento de la lombriz (Raza *et al.*, 2022). En la figura 2, se muestran los porcentajes de humedad monitoreados en todos los tratamientos a lo largo del proceso de producción. Se evidencia un comportamiento característico para la cría de lombrices, con valores que oscilan en el rango óptimo de 70 % – 80 % de humedad. Valores de humedad superiores a este valor, podría perturbar la piel de las lombrices imposibilitando su proceso de respiración (FAO, 2013).

En lo que respecta a los valores de pH, se observó que osciló entre 7,1 – 7,8, manteniéndose en rango ideal para el crecimiento de las lombrices 5 – 8,5 (FAO, 2013). Las variaciones del pH, podrían ser ocasionados por la formación de ácidos húmicos y amonios al descomponerse la materia orgánica, la mineralización del nitrógeno y fósforo y la conversión de los sustratos orgánico en ácidos orgánicos (Hanc y Vasak, 2015; Yadav y Garg, 2011).

La temperatura fluctuó entre 25 – 27,5 °C, como se observa en la figura 3, alcanzando el máximo de 28,67 °C en el día 72 de experimentación en los tratamientos 1 y 2, para luego descender hasta los 25 °C, manteniéndose dentro de la escala ideal de 20 – 30 °C (FAO, 2013) para la reproducción y crecimiento de las lombrices. El factor temperatura es un indicador clave, pues suele llevar un orden regular, revelando si el proceso es idóneo (Acosta *et al.*, 2013). Un aumento de las temperaturas por encima 30 °C en el cultivo de lombrices podría ocasionar su muerte de manera directa. Además, la actividad microbiana puede aumentar produciendo un alto consumo de oxígeno, el cual incide en la supervivencia las lombrices (Dominguez y Edwards, 2011a; 2011b; Hanc y Vasak, 2015).

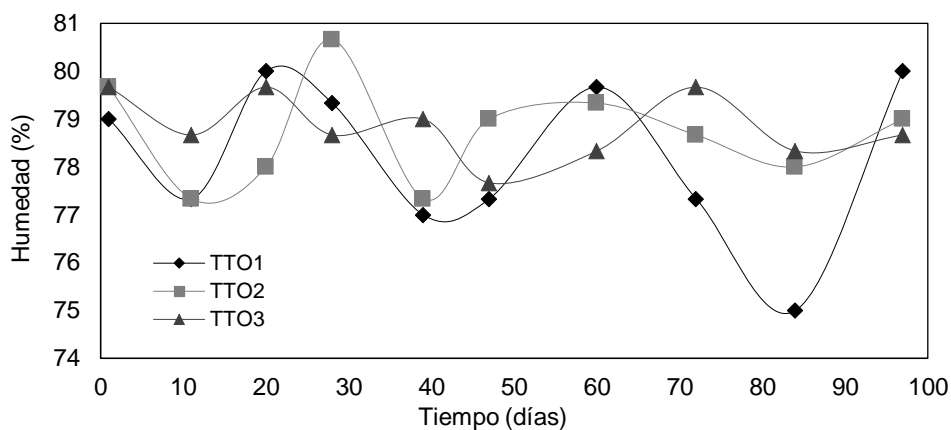


Fig. 2: Comportamiento de la humedad (%) vs tiempo (días) en la etapa de crecimiento

La investigación se realizó bajo techo en el municipio de Valledupar, ubicado en la costa norte de Colombia, donde las temperaturas oscilan entre 22 y 36 °C. Lo cual dificultó mantener temperaturas inferiores a 25 °C, en el que se espera el mayor índice de crecimiento y reproducción (Singh *et al.*, 2018). El aumento de la temperatura disminuye el tiempo de madurez sexual, no obstante, la etapa reproductiva y el crecimiento de la población de las lombrices dependen de la composición fisicoquímica de los sustratos (Singh *et al.*, 2018).

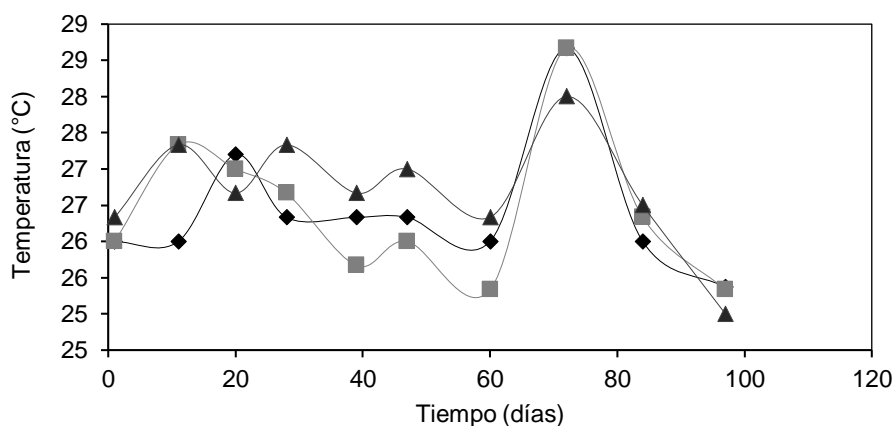


Fig. 3: Comportamiento de la temperatura (°C) vs tiempo (días) en la etapa de crecimiento.

Adicionalmente, a los parámetros de temperatura, humedad y pH, la producción de lombrices, también se ve afectada por la luz, al ser una especie fotofóbica, por tanto, durante el proceso de compostaje deben estar cubiertas con un material oscuro, de lo contrario podrían experimentar parálisis parcial o completa que podría ser letal para las lombrices (Gupta y Garg, 2017).

Igualmente, en el experimento se analiza el efecto de la sustitución parcial de bovinaza por pollinaza en el desarrollo de sustratos para la producción de lombrices. Las variables de respuesta medidas después de 97 días se usan como criterio para analizar la pertinencia del uso de estiércol de pollo combinado con material vegetal para la cría de lombrices rojas californianas. Los resultados del ANOVA permiten concluir con una significancia de 5 % que existe diferencia mínima significativa en cada uno de los parámetros evaluados en el experimento, de acuerdo con los tratamientos considerados. En la tabla 1, se muestran los Valores-P <0,05 para cada variable, al igual que los valores promedios medidos en el experimento.

El análisis de rangos múltiples indica que, en lo que respecta a la masa total de lombrices y el porcentaje de multiplicación, los tres sustratos son sustancialmente diferentes, en la tabla 1 se observa, que el mayor y menor porcentaje de multiplicación de lombrices se obtuvo en el TTO 1 y TTO 3, respectivamente. Después de tres meses de experimento se obtuvieron 1328 unidades de lombrices en el TTO1 compuesto por 100 % de BZA, 889 lombrices en el TTO2 compuesto por con 20 % de PZA más 80 % de BZA y 625 unidades de lombrices rojas californianas en el TTO3 que contiene 40 % de PZA más 60 % de BZA.

Tabla 1. ANOVA de experimento de producción de lombrices con los distintos tratamientos.

TTO	Peso total (g)	Largo promedio (cm)	Diámetro promedio (mm)	Porcentaje de multiplicación (%)
TTO1	87,7	7,1	2,6	1164,9
TTO2	58,1	5,9	1,8	779,8
TTO3	38,3	4,9	1,6	548,2
Valor – P	< 0,001	0,017	0,005	0,001

La sustitución del 40 % del estiércol de bovino por estiércol de pollo, puede afectar la multiplicación de forma considerable. Sin embargo, no parece existir diferencias importantes en el largo de las lombrices producidas con una sustitución parcial del 20 % del estiércol bovino por estiércol de pollo, resultados similares reportaron Yadav y Garg (2011), donde la mayor tasa de reproducción y biomasa de lombrices se obtuvo en el tratamiento que contiene 50 % de estiércol de vaca más 25 % de excrementos de aves y 25 % de lodos de la industria alimentaria. Esto podría atribuirse a la mezcla de deyecciones, que de acuerdo con su composición química, física y biológica determinan la calidad del sustrato, afectado la aceptación o rechazo del alimento por las lombrices (Romero *et al.*, 2018). Las dietas formuladas con las deyecciones de una misma especie tienden a mejorar los rendimientos de multiplicación de las lombrices en contraste, con las deyecciones mezcladas de diferentes especies (Romero *et al.*, 2018).

El estiércol bovino es un sustrato con excelentes características que benefician la producción de lombriz en campo, luego de su precompostaje. De acuerdo con los resultados obtenidos en este experimento, el uso potencial de estiércol de pollo se puede emplear con relativo éxito en porcentajes que no superen el 20 % de reemplazo de estiércol bovino, teniendo en cuenta que, la supervivencia y actividad de las lombrices dependen de la mezcla adecuada de los sustratos (Raza *et al.*, 2022).

Parámetros fisicoquímicos

El compost y lixiviado son dos productos del proceso de compostaje, que se caracterizan por tener nutrientes que benefician los suelos agrícolas y son capaces de proteger las plantas de enfermedades (Hanc y Pliva, 2013). La relación C/N en el TTO1 es de 18,6 como se observa en la tabla 2, valores similares a los reportados por Garg y Gupta (2011) en el estudio de la combinación de residuos vegetales y estiércol de vaca para la producción de vermicompost, teniendo una relación C/N final entre 15 y 19, estos valores por debajo de 20 son indicativo que el compost ha alcanzado la madurez (Castillo *et al.*, 2021).

Tabla 2. Análisis Fisicoquímicos del Compost

Parámetro	Expresado como	TTO1	TTO2	TTO3
Calcio total – CaO	%	2,17	2,73	3,538
Magnesio total – MgO	%	0,99	1,113	1,443
Potasio total - K ₂ O	%	2,006	1,9712	2,126
Sodio total – Na	%	0,0601	0,087	0,116
Zinc total – Zn	mg/kg	147,1	219	274,6
Cenizas	%	77	73,6	73,3
Carbono orgánico oxidable total	%	20	23,8	23,1
Conductividad eléctrica (1/200)	dS/m	0,19	0,19	0,18
Densidad (20 °C)	g/cm ³	0,71	0,78	0,55
Fósforo total - P ₂ O ₅	%	0,69	0,59	1,76
Humedad	%	56,1	3,55	26,7
Nitrógeno orgánico total	%	1,08	0,66	0,58
pH	-	8,27	8,41	8,35
Relación C/N	-	18,6	36	39,9

Por otra parte, los TTO 2 y 3, que contienen una mezcla de deyecciones de pollo y cascarilla de arroz, tienen una relación C/N de 36 y 39,9 respectivamente, de acuerdo a la tabla 2, esto podría deberse a que los sustratos iniciales son ricos en carbono y que los procesos de descomposición por parte de las lombrices podrían estar incompletos o requieren mayor proporción de material rico en nitrógeno (FAO, 2013). En la tabla 3, se observa que en todos los tratamientos, el lixiviado presentó una disminución de la relación C/N con respecto a los valores iniciales, Garg y Gupta (2011), obtuvieron valores similares en un rango de 10,7 a 12,7, demostrando que las lombrices hacen posible este decrecimiento y contribuyen a la mineralización y

estabilización de la materia orgánica de los residuos durante el proceso de descomposición (Garg y Gupta, 2011). Así mismo, una relación C/N con valores menores a 20, indica madurez del fertilizante orgánico y que es seguro para la agronomía (Srivastava *et al.*, 2023). Todos los tratamientos presentaron contenido de fósforo, el cual es esencial para el crecimiento de las plantas, por ende, hace que el compost sea un promotor del crecimiento de las plantas (Sharma y Garg, 2020).

En la tabla 2 y 3, se observa que el pH final del compost y del lixiviado se encuentra dentro del rango 6,0 – 8,5 indicando que pueden ser utilizados como fertilizantes o enmienda para el suelo (Garg y Gupta, 2011). Además, los cambios en el pH podrían deberse a la descomposición de la materia orgánica, que conlleva la formación de amonio (NH_4^+) y ácidos húmicos (Garg y Gupta, 2011). La aparición de grupos carboxílicos y fenólicos en los ácidos húmicos hace que el pH sea ácido, que combinados con los iones de amonio aumenta la alcalinidad del pH, lo cual provoca la regulación de este a valores cercanos a la neutralidad (Gupta y Garg, 2017). En las tablas 2 y 3 se muestra que la conductividad eléctrica tanto del lixiviado como del compost se mantuvo por debajo de 4, indicando que se obtuvo unos subproductos idóneos y seguros para fines agrícolas (Hanc y Pliva, 2013). La diferencia en las características fisicoquímicas del compost obtenidos de varias mezclas de sustrato, se debe primordialmente a la cantidad y naturaleza de los residuos utilizados (Sharma y Garg, 2020).

Tabla 3. Análisis Fisicoquímicos del lixiviado.

Parámetro	Expresado como	TTO1	TTO2	TTO3
CaO	g/L	0,1807	0,1679	0,1312
MgO	g/L	0,0862	0,0815	0,06
K ₂ O	g/L	3,9	4,821	1,92
Na	g/L	0,159	0,2445	0,16
Zn	Ppm	<0,1	<0,1	<0,1
Carbono orgánico oxidable total	g/L	8,59	7,42	5,83
Conductividad eléctrica (1/200)	dS/m	0,1	0,11	0,055
Densidad (20 °C)	g/cm ³	1	1	1
P ₂ O ₅	g/L	N.D	N.D	N.D
Nitrógeno orgánico total	g/L	0,79	0,68	0,71
pH		7,59	7,43	7,43
Relación C/N		10,9	10,9	8,3
Sólidos totales	mg/L	53062	11890	71924

Las lombrices utilizan el nitrógeno en sus etapas de crecimiento, convirtiéndolo en proteína disponible para esta especie, ocasionando una disminución de los contenidos de nitrógeno total en los subproductos finales (Velecela *et al.*, 2019). Los porcentajes de calcio, magnesio, potasio, sodio y zinc totales, demuestran la disponibilidad de macronutrientes solubles en vermicompost. El contenido de nutrientes es un indicador clave de su idoneidad como fertilizante orgánico (Sharma y Garg, 2020). Sin embargo, esta disponibilidad de nutrientes depende del desarrollo del proceso de compostaje, especialmente de la temperatura que permite el crecimiento de microorganismos, por tanto, la acción del pH, humedad y aireación pueden aumentar la disponibilidad de estos nutrientes (Vázquez y Loli, 2018). Es necesario desarrollar investigaciones que profundicen en el efecto de mezclas de sustratos orgánicos sobre el proceso de precompostaje y el crecimiento de las lombrices, esto en concordancia a Yadav y Garg (2011), que sugieren probar la utilización de mezclas heterogéneas de sustratos durante el compostaje.

CONCLUSIONES

De los datos obtenidos en la presente investigación se puede concluir que: 1) El proceso de precompostaje es fundamental para el desarrollo y crecimiento de la lombriz roja californiana *E. fetida* durante la fase de compostaje; 2) el tipo de sustratos y las mezclas de estos afectan las actividades de reproducción y crecimiento de las lombrices; 3) la inclusión de deyecciones de pollo como sustrato para la producción lombrices rojas californianas es viable, siempre que no se exceda el 20 % de la combinación estiércol con material vegetal; 4) los parámetros de temperatura, pH, humedad, aireación y luz, pueden afectar directamente la multiplicación de las lombrices; 5) el compost y lixiviado obtenido del proceso de compostaje tienen nutrientes y características que los hacen viables como enmienda o fertilizante de suelos agrícolas o como suplemento para plantas ornamentales y hortícolas; 6) el compostaje sería útil para resolver problemas de acumulación de residuos orgánicos, además, aportaría un valor agregado a pequeños productores agrícolas, al generar sus propios abonos orgánicos.

NOTACIÓN

cm = centímetro
 C/N = carbono/nitrógeno
 dS/m = deciSiemens por metro
 g = gramo
 g/cm³ = gramo por centímetro cúbico.
 g/L = gramo por litro
 kg = kilogramo
 mg/kg = miligramo por kilogramo
 mg/L = miligramo por litro
 mm = milímetro
 Ppm = partes por millón

Símbolos

C = Carbono
 CaO = Óxido de calcio
 MgO = Óxido de magnesio
 K₂O = Óxido de potasio
 N = Nitrógeno
 Na = Sodio
 Zn = Zinc
 P = fósforo
 P₂O₅ = Óxido de fósforo

Abreviaciones

MV = Material vegetal
 TTO = Tratamiento
 ND = No detectado
 NTC = Norma técnica colombiana
 SM = Método Estándar
 PZA = Pollinaza
 BZA = Bovinza

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Universidad Popular del Cesar y al Ministerio de Ciencias y Tecnologías por los recursos aportados para la ejecución de la presente investigación.

REFERENCIAS

- Acosta, C., Solís, O., Villegas, O., y Cardoso, L., Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia Foetida*, *Agronomía Costarricense*, ISSN electrónico 2215-2202, 37(1), 127-139 (2013).
- Anjum, M., Al-Makishah, N., y Barakata, M., Wastewater sludge stabilization using pre-treatment methods, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.05.022>, *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 615–632 (2016).
- APHA SM 3111B, Metals by Flame Atomic Absorption Spectrometry, Direct Air-Acetylene Flame Method, Phoenix, USA (2018).
- APHA SM 2540B, Total Solids Dried at 103–105 °C, Las Vegas, USA (2018).
- Arteaga, M., Novo, R., y otros tres autores, Estudio microbiológico y de estabilidad del extracto de vermicompost: Liplant (I), *Revista Ingeniería Agrícola*, ISSN 2306-1545, 10(3), 38–48 (2020).
- Castillo, E., De Medina, L., Giraldi, M., y Sánchez, C., Vermicomposting: A Valorization Alternative for Corn Cob Waste, <https://doi.org/10.3390/app11125692>, *Applied Sciences*, 11(5692), 1-15 (2021).
- Chen, Y., Zhang, Q., y otros cinco autores, Changes in fibrolytic enzyme activity during vermicomposting of maize stover by an anecic earthworm *Amyntas hupeiensis*, <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.06.018>, *Polymer Degradation and Stability*, 120, 169-177 (2015a).
- Chen, Y., Zhang, Y., y otros cinco autores, Earthworms modify microbial community structure and accelerate maize stover decomposition during vermicomposting, <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4955-z>, *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 17161–17170 (2015b).
- Dominguez, J., y Edwards, C., *Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting*, *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*, CRC Press, ISBN 1439809879, 27–40, Boca Raton, USA (2011a).
- Dominguez, J., y Edwards, C., *Relationships between Composting and Vermicomposting*, *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*, CRC Press, ISBN 1439809879, 11-25, Boca Raton, USA (2011b).

- FAO., Manual de compostaje del agricultor, Experiencia en América Latina, Santiago de Chile (2013).
- Garg, V., y Gupta, R., Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>, Ecotoxicology and Environmental Safety, 74, 19–24 (2011).
- Gherghel, A., Teodosiu, C., y De Gisi, S., A review on wastewater sludge valorisation and its challenges in the context of circular economy, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.240>, Journal of Cleaner Production, 228, 244–263 (2019).
- Gupta, R., y Garg, V., Vermitechnology for Organic Waste Recycling, Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, Elsevier, ISBN 978-0-444-63664-5, 83-112, Amsterdam, Netherlands (2017).
- Hanc, A., y Pliva, P., Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste, <https://doi.org/10.1007/s10163-013-0127-8>, Journal of Material Cycles and Waste Management, 15(4), 431–439 (2013).
- Hanc, A., y Vasak, F., Processing separated digestate by vermicomposting technology using earthworms of the genus *Eisenia*, <https://doi.org/10.1007/s13762-014-0500-8>, International Journal of Environmental Science and Technology, 12(4), 1183–1190 (2015).
- NTC 234., Abonos o Fertilizantes, Método de ensayo para la determinación cuantitativa del Fósforo, Bogotá, Colombia (1996).
- NTC 370., Abonos o Fertilizantes, Determinación del Nitrógeno Total, Bogotá, Colombia (2011).
- NTC 5167., Productos para la industria agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo, Bogotá, Colombia (2011).
- Sharma, K., y Garg, V., Conversion of a toxic weed into vermicompost by *Eisenia fetida*: Nutrient content and earthworm fecundity, <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100530>, Bioresource Technology Reports, 11, 100-530 (2020).
- Singh, J., Singh, S., Pal Vig, A., y Kaur, A., Environmental Influence of Soil toward Effective Vermicomposting, Earthworms - The Ecological Engineers of Soil, IntechOpen, ISBN online 978-1-78923-397-1, 79-102, London, United Kingdom (2018).
- Srivastava, P., Singh, A., y otros cuatro autores, Production and characterization of sustainable vermimanure derived from poultry litter and rice straw using tiger worm *Eisenia fetida*, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128377>, Bioresource Technology, 369, 1–9 (2023).
- Ramos, D., y Terry, E., Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas, Cultivos Tropicales, ISSN digital: 1819-4087, 35(4), 52-59 (2014).
- Raza, S., Wu, J., y otros tres autores, Reuse of agricultural wastes, manure, and biochar as an organic amendment: A review on its implications for vermicomposting technology, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132200>, Journal of Cleaner Production, 360, 132-200 (2022).
- Romero, C., Ocampo, J., Sandoval, E., y Tobar, J., Evaluación de sustratos para la producción de lombriz de tierra (*Eisenia Fetida*), Centro Agrícola, e-ISSN: 2072-2001, 45(4), 68-74 (2018).
- Romero, R., Reyes, C., y otros tres autores, Evaluación eco-toxicológica del manejo de residuos contaminados con diésel, Centro Azúcar, ISSN 2223-4861, 4(1), 45 – 46 (2020).
- Vázquez, J., y Loli, O., Compost y vermicompost como enmiendas en la recuperación de un suelo degradado por el manejo de *Gypsophila paniculata*, <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.05>, Scientia Agropecuaria, 9(1), 43–52 (2018).
- Velecela, S., Meza, V., y otros tres autores, Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Raphanus sativus* L.), <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.02.08>, Scientia Agropecuaria, 10(2), 229–239 (2019).
- Yadav, A., y Garg, V., Recycling of organic wastes by employing *Eisenia fetida*, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.083>, Bioresource Technology, 102(3), 2874–2880 (2011).
- Zamora, R., Herrera, J., Dorado, S., y Saborío, A., Efecto del alojamiento, reuso de la cama y almacenamiento en la composición química de la pollinaza, <https://doi.org/10.15517/rac.v43i2.38202>, Agronomía Costarricense, 43(2), 91–105 (2019).