

Evaluación del biocompostaje utilizando sustrato agotado de la producción de Orellana (*Pleurotus pulmonarius*)

Bio composting evaluation using depleted substrate from Orellana (*Pleurotus pulmonarius*) production

Avaliação da biocompostagem com substrato esgotado da produção de orellana (*Pleurotus pulmonarius*)

Sofía Iregui-Rojas¹ , Luis G. López-Muñoz² , Miguel A. Navas-Sierra³ 
Jeisson D. Aguilar-Ortiz⁴ , Jaime R. Laguna-Chacón⁵ , María C. Ospina-Ladino⁶ 

Artículo de investigación

Recibido: 02 de agosto de 2023

Aceptado: 29 de enero de 2024

Publicado: 19 de febrero de 2024

- 1 Estudiante de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de los Llanos.
Email: sofia.iregui@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-4086-1660>
- 2 Estudios de desarrollo local, Docente Universidad de los Llanos
Email: llopez@unillanos.edu.co,
<https://orcid.org/0000-0003-3186-8577>
- 3 Estudiante de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de los Llanos.
Email: manavas@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0009-0004-4155-9879>
- 4 Estudiante de Ingeniería Agroindustrial, Universidad de los Llanos.
Email: Jeisson.aguilar@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-8491-3760>
- 5 Docente Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad de los Llanos.
Email: jlaguna@unillanos.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-5260-7352>
- 6 Docente ocasional tiempo completo, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Universidad de los Llanos, Diseño y gestión de proyectos tecnológicos, Especialista en Gestión Ambiental. Email: mcospina@unillanos.edu.co,
<https://orcid.org/0000-0003-1794-3593>

RESUMEN

Los desechos obtenidos en la producción de hongos comestibles no son aprovechados, generando contaminación debido a la falta de conciencia ambiental, el déficit de recursos económicos y la ausencia de la capacidad técnica para llevar a cabo su disposición final. Se realizó la evaluación de la calidad de un abono orgánico obtenido a partir del sustrato agotado de la producción de Orellana (*Pleurotus pulmonarius*) en diferentes tratamientos durante un periodo de tiempo de tres meses; se implementó la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con el fin de descomponer el sustrato, analizando la estructura, composición y porosidad del compostaje obtenido. Fueron realizados tres tratamientos: residuos orgánicos al 100%, sustrato 50% - orgánico 50% y sustrato Orellana a 100%, respectivamente, teniendo como objetivo la evaluación de variables (la temperatura y pH) en función del tiempo. Mediante pruebas de análisis del suelo se determinó el mejor tratamiento, el cual fue el T3 (100% residuos de Orellana); este demostró un mejor comportamiento en cuanto a su composición final. A partir de estos resultados se pudo concluir que el sustrato se puede implementar como biocompost para el manejo de residuos generados en el proceso de obtención de la Orellana (*Pleurotus pulmonarius*). Se demuestra que los

Como Citar (Norma Vancouver): Iregui-Rojas S, López-Muñoz LG, Navas-Sierra MA, Aguilar-Ortiz JD, Laguna-Chacón JR, Ospina-Ladino MC. Evaluación del biocompostaje utilizando sustrato agotado de la producción de Orellana (*Pleurotus pulmonarius*). *Orinoquia*, 2024;28(1): e-775
<https://doi.org/10.22579/20112629.775>

La Revista Orinoquia es una revista de acceso abierto revisada por pares. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

OPEN ACCESS



desechos de la producción de hongos comestibles, en este caso, los residuos de Orellana, pueden ser aprovechados de manera efectiva en la producción de abono orgánico. Esto proporciona una solución sostenible para la gestión de los residuos generados en esta industria, fomentando prácticas más sostenibles.

Palabras clave: biocompost, *Eisenia foetida*, residuos agrícolas, *Pleurotus pulmonarius*

ABSTRACT

Non-used waste obtained from edible mushroom production generates contamination due to a lack of environmental awareness, economic resources, and technical capacity to carry out their final disposal. This research evaluated the quality of organic compost obtained from the exhausted substrate of Orellana (*Pleurotus pulmonarius*) production in different treatments over three months. A red Californian earthworm (*Eisenia foetida*) was used to decompose the substrate, and the structure, composition, and porosity of the compost obtained were analyzed. The study used three treatments: 100% organic waste, 50% substrate - 50% organic, and 100% Orellana substrate, respectively, to evaluate variables (temperature and pH) as a function of time. The best treatment was determined by soil analysis tests, which showed T3 (100% Orellana residues) and better behavior regarding its final composition, providing a sustainable solution for waste management generated in this industry and encouraging more sustainable practices.

Keywords: bio-compost, *Eisenia foetida*, agricultural residues, *Pleurotus pulmonarius*

RESUMO

Os resíduos obtidos da produção de cogumelos comestíveis não são utilizados, gerando poluição devido à falta de consciência ambiental, à falta de recursos econômicos e à ausência de capacidade técnica para realizar a sua eliminação final. Nesta investigação, avaliou-se a qualidade de um composto orgânico obtido a partir do substrato esgotado da produção de Orellana (*Pleurotus pulmonarius*) em diferentes tratamentos durante um período de três meses, utilizando-se a minhoca vermelha californiana (*Eisenia foetida*) para decompor o substrato, analisando-se a estrutura, composição e porosidade do composto obtido. Foram realizados três tratamentos: 100% resíduos orgânicos, 50% substrato - 50% orgânico e 100% substrato Orellana, respectivamente, como objetivo de avaliar as variáveis (temperatura e pH) em função do tempo. Por meio de testes de análise de solo, determinou-se o melhor tratamento, que foi o T3 (100% de resíduos de Orellana), que apresentou o melhor comportamento em termos de sua composição final. A partir destes resultados foi possível concluir que o substrato pode ser utilizado como biocomposto para a gestão dos resíduos gerados no processo de obtenção da Orellana (*Pleurotus pulmonarius*). Fica demonstrado que os resíduos da produção de cogumelos comestíveis, neste caso, os resíduos de Orellana, podem ser utilizados eficazmente para a produção de composto ou biocomposto.

Palavras-chave: Biocomposto, *Eisenia foetida*, resíduos agrícolas, *Pleurotus pulmonarius*

INTRODUCCIÓN

El compostaje como práctica de bajo costo, se encarga de integrar los componentes de los residuos orgánicos en la cadena de producción primaria, mejorando las condiciones físicoquímicas del suelo y potenciando la productividad de los cultivos. Al concluir el proceso de biocompostaje, se obtiene un producto estable que se utiliza como abono orgánico (Vargas et al., 2019). Este se consigue bajo condiciones controladas, generando temperaturas entre 50-70 °C, donde actúan microorganismos aerobios que degradan la materia orgánica (Aquino, 2017). Dicha materia debe pasar por un proceso de pretratamiento con el objetivo de obtener un menor tamaño de partícula, logrando que los microorganismos actúen de forma homogénea para procesos de degradación (Fallas, 2016).

El compostaje se produce en las siguientes cuatro etapas, de acuerdo con la temperatura y el pH.

Fase 1 mesófila: los microorganismos empiezan a proliferar con un rango de temperatura de 10 °C - 40 °C, generando CO₂, disminuyendo el pH a 5,5 (García, 2019).

Fase 2 termófila: ocurre un proceso de fermentación, aumentando la temperatura entre 60 °C - 70 °C, inhibiendo microorganismos patógenos y la germinación de semillas de plantas adventicias, las cuales tienen la capacidad de crecer espontáneamente. El pH aumenta aproximadamente a 8 y ocurre una liberación de amoníaco (García, 2019).

Fase 3 de enfriamiento: ocurre una degradación de celulosa por microorganismos mesófilos. La temperatura en esta fase empieza a descender, llegando a temperatura ambiente. El pH sigue siendo alcalino (Fallas, 2016).

Fase 4 de maduración: ocurre formación de ácidos húmicos por medio de reacciones secundarias de condensaciones y polimerización de compuestos carbonados. El compost, dependiendo del sistema de compostaje, de la climatología y de los materiales estará maduro entre tres y nueve meses (Delgado et al, 2018).

En la Tabla 1 se presentan los rangos ideales de los biocompostajes durante las etapas. Así mismo, se tienen parámetros importantes como se evidencia a continuación.

Tabla 1. Parámetros del compostaje.

Parámetro	Rango ideal al inicio	Rango ideal en fase termófila II (2-5 semanas)	Rango ideal en fase madura (3-6 meses)
C:N	25:1 - 35:1	15:1 - 20:1	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~ 10%	~ 10%	~ 10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~ 15cm	<1,6cm
pH	6,5-8,0	6,0-8,5	6,5-8,5
Temperatura	45 - 60 °C	25 °C - 45 °C	Temperatura ambiente
Densidad	250 - 400kg/m ³	<700kg/m ³	<700kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50% - 70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5% - 3%	1% - 2%	~ 1%

Fuente: Román et al., 2013

pH: varía en cada una de las etapas del proceso del compostaje; inicialmente el pH se acidifica debido a la formación de ácidos orgánicos. En la segunda fase logra alcalinizar el medio y por último el compostaje llega a neutro, así mismo, varía la clasificación de los microorganismos que actúan en el proceso de degradación de la materia orgánica (Campos et al, 2016). La mayor actividad bacteriana se produce a pH 7,2 - 8,0 (Camelo et al, 2017).

Temperatura: el proceso inicia a temperatura ambiente y va incrementando hasta llegar a 65 °C; al alcanzar esa temperatura empieza a descender hasta llegar a temperatura ambiente en la etapa de maduración del compostaje (Alvarado et al., 2021). Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (Bohórquez, 2019).

Humedad: la humedad óptima del biocompostaje debe estar en 45%, permitiendo alcanzar

temperaturas altas para que la actividad microbiana disminuya, viéndose afectado el proceso de degradación de la materia orgánica (Castro et al., 2016).

Por otro lado, la salud del suelo y el cultivo de plantas en ecosistemas productivos son aspectos vitales para la agricultura sostenible. En contexto la presencia de lombrices, sustrato de Orellana y elementos esenciales, son de vital importancia.

Lombriz californiana

Las lombrices de tierra son organismos de vital importancia en el suelo, sobre todo en ecosistemas productivos. Por medio de la alimentación disminuye el tamaño de partícula de la materia orgánica, permitiendo que se realice el proceso de descomposición y se incremente la actividad microbiana. A nivel global, muchos agricultores consideran la presencia de lombrices como un indicador de la calidad del suelo (Romero et al., 2018).

Sustrato Orellana

La Orellana es un producto totalmente orgánico porque toma los nutrientes del sustrato que se le suministre y tiene la condición de biorremediador, dado que la mayoría de los sustratos que se utilizan han sido desarrollados bajo el sistema tradicional de agrotóxicos. El hongo tiene la capacidad inactivar y degradar estos agrotóxicos, permitiendo ofrecer una Orellana (Ilustración 1) totalmente sana para el consumidor (Ramón, 2020).

Los hongos del género *Pleurotus*, especialmente las setas, aprovechan específicamente sustratos altos en lignina y elevan su crecimiento por el compuesto químico que presentan, el cual es utilizado como barrera para la respectiva degradación biológica de los residuos lignocelulósicos (Ramón, 2020). El proceso de degradación se puede llevar a cabo por la actividad enzimática de las enzimas hidrolizantes y oxidantes (Salvador et al., 2018).

Figura 1. Orellana.



Fuente: imagen propia.

Elementos esenciales de la planta

Las plantas contienen y necesitan ciertos químicos que generalmente son proporcionados a través del sistema radical; se consideran 16 elementos esenciales de los cuales seis corresponden a macronutrientes (Pérez et al., 2017).

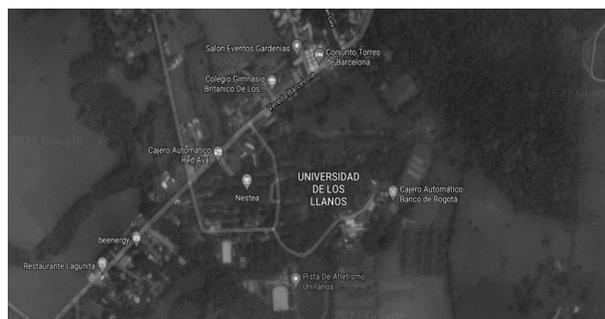
La planta necesita en mayor proporción los macronutrientes al 0,1% como: nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, magnesio y calcio (Barba et al., 2019).

MATERIALES Y MÉTODOS

El biocompostaje se realizó en la zona rural de la ciudad de Villavicencio, Meta (Ilustración 2), a una altitud entre los 410 y 450 msnm, una humedad entre 47% - 50% y una temperatura entre los 28 °C - 30 °C en predios de la Universidad de los Llanos. Para su elaboración se utilizaron sustrato de Orellana constituido por agotado de la mezcla

de bagazo de caña de azúcar y cacota de cacao, provenientes de proyectos de aula realizados anteriormente en la Universidad.

Figura 2. Imagen satelital del área perteneciente a los predios de la Universidad de los Llanos.



Fuente: Google maps, 2023.

Para la elaboración de los tres tratamientos propuestos en este proyecto, se requirieron los materiales listados en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales utilizados en la elaboración del proyecto.

Materiales y equipos	Cantidad
Composteras en plástico	6 unidades
Residuos orgánicos	6.500 gramos (60% cáscaras y frutas en descomposición y 40% podas)
Sustrato de Orellana	6.500 gramos (50% bagazo de caña de azúcar y 50% cacota de cacao)
Lombrices californianas	900 unidades
Termómetro digital	1 unidad
Potenciómetro digital	1 unidad

Fuente: elaboración propia

Se plantearon tres tratamientos con dos niveles para la recolección de los datos. El análisis de los datos se hizo mediante R-Studio, con el fin de efectuar un análisis descriptivo y diferencial realizando el test de normalidad y homocedasticidad, análisis de Anova para los datos de pH y una prueba de Kruskal-Wallis para la temperatura, teniendo presente que este es una prueba no paramétrica.

Se agregaron 300 lombrices californianas a cada uno de los tres tratamientos, para ser analizadas (Tabla 3).

Tabla 3. Combinaciones en la elaboración del biocompost.

Tratamiento	Composición
T1	Orgánico 100%
T2	Sustrato Orellana 50% orgánico 50%
T3	Sustrato Orellana 100%

Fuente: elaboración propia

Las composteras fueron muestreadas en diferentes tiempos (1, 2, 3, 4 semanas), así como hidratadas y volteadas cada dos días por semana, durante un mes; transcurrido ese tiempo, se rastrearon variables como pH y temperatura. Para la medición de pH se utilizó un potenciómetro marca Jenway, modelo 370 pH meter, mediante una mezcla de agua destilada con una muestra de biocompost. Se hizo toma de datos durante cuatro semanas por duplicado; la temperatura se midió con un termómetro marca CEM, modelo DT 8894.

Después de transcurridos tres meses, se realizaron análisis químicos (Al, K, Ca, Mg, Na, BT) del suelo a los biocompostajes de análisis orgánico con un número de muestra T1, sustrato de Orellana y muestra orgánica con un número de muestra T2 y sustrato de Orellana T3, comparando teóricamente con un compost totalmente orgánico. La obtención de los datos del análisis químico se basó en la metodología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2006).

Tabla 4. Realización de biocompost.

Tratamiento	Composición	Peso (g)
T1	Orgánico	3,177
T2	Sustrato Orellana y orgánico	3,155
T3	Sustrato de Orellana	3,177

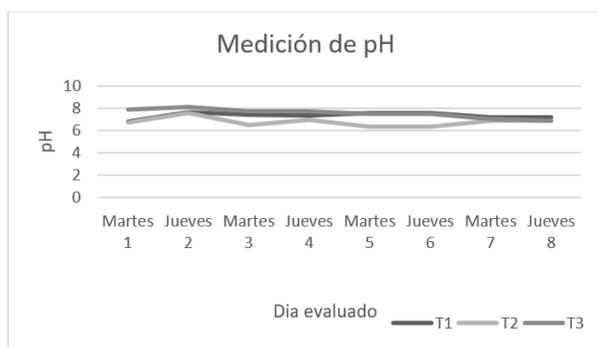
Fuente: elaboración propia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se evaluó el comportamiento del pH en los tres tratamientos con diferentes concentraciones de Orellana durante las cuatro semanas, tomando dos valores por semana los días martes y jueves; como se puede observar en la Figura 3, el pH inicialmente oscila entre 6,7 a 8,06. Cuando el pH del

sustrato está entre 6,5 a 7,5 las lombrices tienen una mejor adaptación en el medio. El pH del sustrato cambia rápidamente a medida que el respectivo sustrato pasa por el tracto digestivo de las lombrices (Castillo, 2010).

Figura 3. Medición de pH.



Según Meléndez et al. (2003), las lombrices son capaces de digerir la mayoría de los desechos orgánicos y, por la presencia de la glándula de Morren, pueden regular un poco el pH del sustrato. Sin embargo, algunos materiales como la pulpa de naranja o piña con pH inicial de 3 a 3,5 no permitirán el desarrollo de las lombrices hasta dos a tres semanas después en que el pH sea naturalmente regulado (Castillo, 2010).

Por ende, el proceso de compostaje se obtiene inicialmente por una caída del pH en su etapa inicial debido a la liberación de ácidos orgánicos de la materia orgánica, como sucedió en el proceso evidenciado en la Figura 3. Acorde al proceso de descomposición, los ácidos orgánicos liberan bases y altos contenidos de amoníaco que ayudan a elevar el pH (Muñoz et al., 2015).

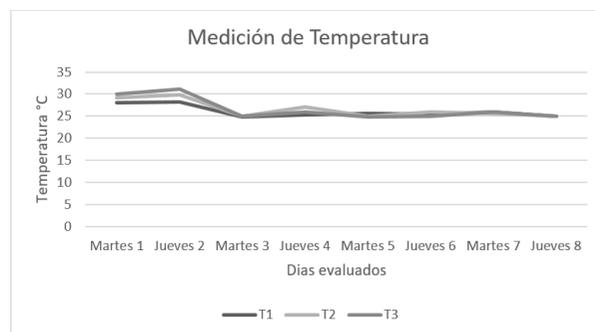
Así mismo, en la fase inicial durante la primera semana, se pueden observar los cambios de pH como sugieren Camelo et al. (2017), para luego con el tiempo estabilizarse en un pH cercano al neutro (7,0).

El mayor valor de pH fue del sustrato orgánico, manejando diferentes tipos de cáscaras, una vez

comenzado el proceso de descomposición el pH aumentó y luego disminuyó hasta estabilizarse. En las tres muestras se obtuvo un pH final neutro como lo constata la figura 3, prácticamente el pH del agua, el cual es ideal para que existan nutrientes y sean asimilados por la planta sin ningún problema.

Respecto a la temperatura en los tres tratamientos, al iniciar el proceso de descomposición esta aumentó y luego disminuyó hasta estabilizarse como lo expone la figura 4. Con esto se puede concluir que la fase mesófila duró aproximadamente una semana, ya que se evidencia un aumento de temperatura durante los días martes y jueves de la primera semana y luego del día jueves empieza a disminuir, en los tres casos. Los tratamientos alcanzaron temperaturas de 30 °C, coincidiendo con Avendaño (2003); esto se debe a que la materia usada como alimento para las lombrices estaba previamente compostada o seca, lo que hizo que las reacciones exotérmicas normales del proceso de lombricomposta no ocurrieran dentro de la lombricompostera (Bohórquez et al., 2015).

Figura 4. Temperatura durante cuatro semanas.



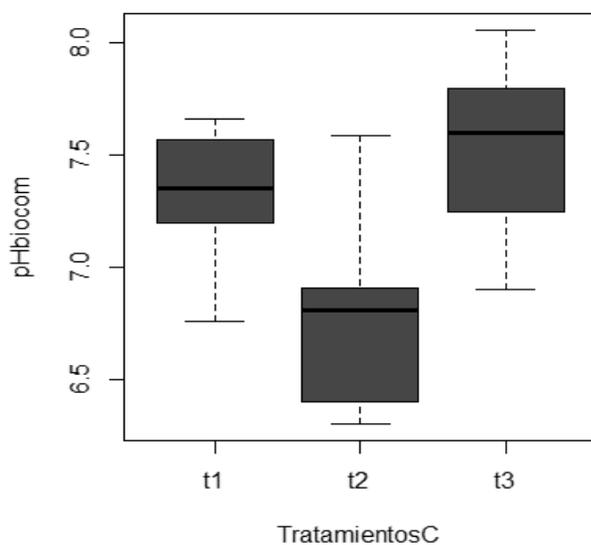
Fuente: elaboración propia

En las figuras 5 y 6 se puede observar la distribución de los datos tanto para el pH como para la temperatura, por medio del diagrama de cajas y bigotes.

Así mismo, con los datos que se obtuvieron en la toma de pH se realizaron las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene, dando como resultado respec-

tivamente un valor de 0,4119 y 0,6614, como se evidencia en la Tabla 5. Se observa que se tiene normalidad y homocedasticidad en los datos debido a que son mayores a 0,05, luego se obtuvieron valores de análisis de Anova, prueba Tukey, evidenciando que sí hay diferencia significativa entre los tratamientos, debido a que el valor p fue de 0,0016. Con la prueba de Tukey se observaron diferencias significativas entre los tratamientos como lo expone la Tabla 6, ya que el T2-T1 y el T3-T2 son los tratamientos que tienen un valor p menor a 0,05, siendo la diferencia más grande entre el T3 y T2. La variabilidad en el T1 se representó mediante una desviación estándar de 0,29, mientras que en el T2 se observó una desviación estándar de 0,42, y en el T3 fue de 0,40. Los resultados obtenidos indican que los datos menos dispersos son los del T1.

Figura 5. Diagrama de caja y bigotes de pH



Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Resultados estadísticos para pH

Resultados pH	
Prueba	Valor P
Shapiro	0,4119
Levene	0,6614
Anova	0,0016

Fuente: elaboración propia

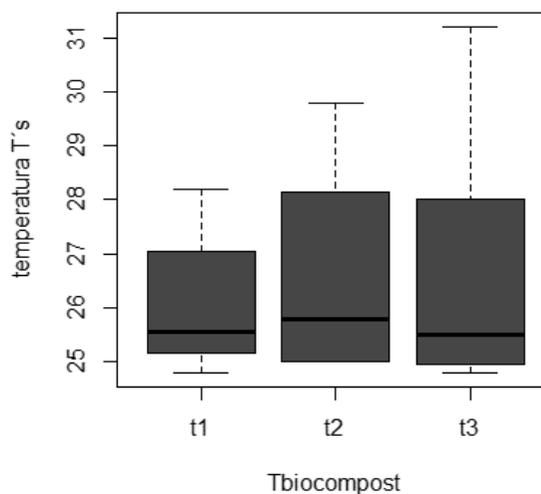
Tabla 6. Resultados estadísticos de la prueba de Tukey para el pH.

Tukey pH	
T2-T1	-0,5675
T3-T1	0,1975
T3-T2	0,765

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, para la temperatura se realizó la prueba de Shapiro-Wilk obteniendo como resultado 0,0001787 y la prueba de Levene dando como resultado 0,6485, lo que indica que los datos no presentan normalidad, pero si presentan homocedasticidad, como se muestra en la Tabla 7. Para determinar si existe una diferencia significativa se utilizó la prueba de Kruskal-Wallis, obteniendo un valor p de 0,9107; así se concluye que no hay diferencia significativa entre los datos. Se halló la desviación estándar para los tres tratamientos, obteniendo para el T1: 1,61, T2: 2,26 y T3: 2,99, concluyendo que los datos que tienen menos dispersión son los del T1.

Figura 6. Diagrama de caja y bigotes de la temperatura.



Fuente: elaboración propia.

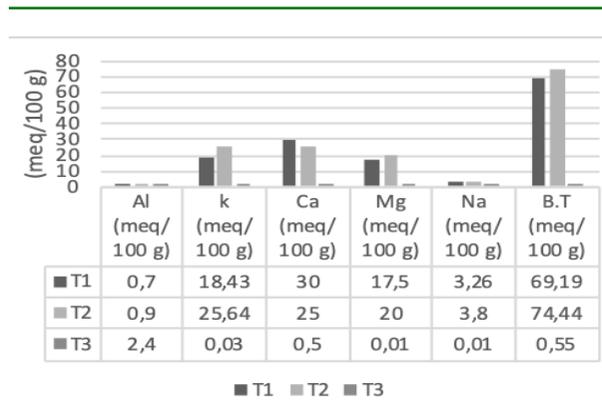
Tabla 7. Resultados estadísticos para la temperatura.

Resultados Temperatura	
Prueba	Valor P
Shapiro	0,0001787
Levene	0,6485
Kruskal-Wallis	0,9107

Fuente: elaboración propia

Respecto al resultado del análisis químico del suelo, se sabe que el proceso de compostaje corresponde a la descomposición biológica aerobia que ocurre bajo condiciones controladas (Moreno 2005; Medeiros et al., 2020). Durante este proceso, el compost es heterogéneo por esto, su composición química varía. La calidad del compost es variable y depende del tipo de materia orgánica utilizada, la presencia de aditivos, la técnica de compostaje y tiempo de duración del respectivo proceso (Escobar et al., 2012).

Figura 7. Cantidad de Al, K, C, Mg, Na, BT.



Fuente: elaboración propia.

Como se evidencia en la figura 7 el segundo tratamiento contiene mayor cantidad de potasio (K), magnesio (Mg), sodio (Na) y una base total; para el caso del aluminio (Al) el tercer tratamiento es el que contiene mayor cantidad. Los contenidos de potasio de acuerdo con la NTC 5167 para el T3 se consideran aceptables, puesto que debe ser <1%, para el caso de otros elementos químicos la NTC 5167 no especifica cantidades mínimas ni máximas (Avenidaño, 2003). La desviación estándar para

cada uno de los resultados del análisis químico es en el caso del aluminio 0,93, potasio 13,21, calcio 15,79, magnesio 10,89, sodio 2,05 y base total de 41,23. Siendo el aluminio el que tiene menor dispersión entre los tres tratamientos.

De igual forma, se obtienen resultados de nitrógeno total y materia orgánica para el tratamiento dos y tres (figura 8), los dos tratamientos presentan un valor aproximado a 1 lo que es favorable, debido a que según Román et al. (2013) este valor debe ser aproximado a 1, ya que aporta al crecimiento de la planta, logrando la absorción de los demás nutrientes.

El porcentaje de nitrógeno total encontrado en este estudio (0,9 - 19,3%) es considerablemente alto si se compara con otros estudios como el de Delgado (2018) y Pérez et al., (2023). El aumento en los niveles de nitrógeno total en el producto final de la lombricultura se debe a la mineralización de los residuos, además de las cantidades de nitrógeno excretadas por estos anélidos en sus secreciones, *mucus*, fluidos corporales, enzimas y por la descomposición de los tejidos de las lombrices que mueren durante el proceso de compost (Suthar, 2007).

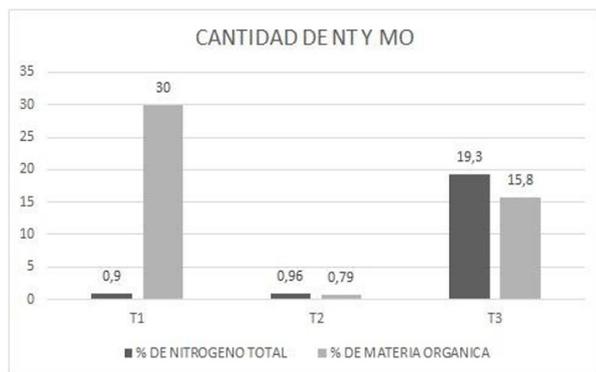
El tratamiento dos presenta mayor contenido de materia orgánica a comparación del tratamiento tres (figura 8); es el que más se aproxima a 20%, siendo este el valor ideal de materia orgánica del compost (Roman et al., 2013).

La desviación para el porcentaje de nitrógeno total es de 10,60 y para porcentaje de materia orgánica es de 14,60; teniendo datos muy dispersos en los tres tratamientos.

La cantidad de partes por millón de fósforo son mayores en el compostaje del T3 (273,7), sin embargo, se tiene un valor de 228,5 en el tratamiento como se evidencia en la figura 9. Los valores de fósforo total revelan que no todos los tratamientos están dentro del rango de referencia para un compost maduro, 0,1 a 0,6 % (Escobar et al., 2012).

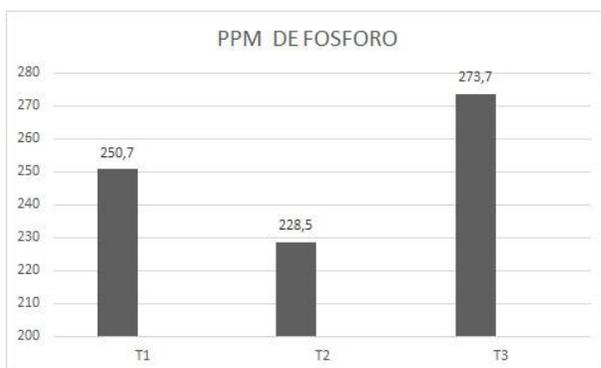
La desviación estándar halladas en ppm de fósforo fueron de 22,60, siendo una dispersión muy alta entre los tres tratamientos.

Figura 8. Cantidad de N y MO en porcentaje.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Ppm de P.



Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos en el laboratorio de suelos muestran la calidad del producto final, siendo una muy buena alternativa el compost con los residuos de sustratos de cultivos de Orellana, para obtener un biocompost de calidad que mejore la estructura del suelo y aporte nutrientes a las plantas. Además, es una forma interesante de producir fertilizantes orgánicos que mejoren la producción de los cultivos y es una solución sostenible para la

utilización de residuos agroindustriales. La biorremediación de los suelos a partir de la eficiencia de los biocompost es una estrategia altamente utilizada en la agronomía, esto se evidencia en diversos estudios que señalan que la mezcla de residuos de producciones agropecuarias, permiten una regeneración paulatina del suelo (Rosa et al., 2023; Medeiros et al., 2020).

CONCLUSIONES

La calidad del producto final se refleja en los resultados obtenidos durante el análisis de suelos, el cual indica que utilizar los residuos agotados de cultivos de Orellanas en la producción de compost es una opción beneficiosa. El análisis revela que el tratamiento T3 aporta de manera significativa nutrientes esenciales para el desarrollo de cultivos agrícolas. Las condiciones nutricionales del T3 cumplen con todos los requisitos composicionales necesarios para considerarlo un agente biorremediador del suelo. El producto final exhibe características organolépticas aceptables, sin malos olores y con una consistencia similar al humus de color café, lo que lo convierte en un fertilizante adecuado para enriquecer suelos con nutrientes. El rendimiento más destacado en el compostaje se observa en el tratamiento 3 (T3). Los análisis son satisfactorios, ya que el resultado global del proceso es un abono orgánico con niveles elevados de nutrientes y materia orgánica, cumpliendo así con los requisitos nutricionales de las plantas y mejorando la retención de humedad en el suelo gracias a su contenido de materia orgánica. En conclusión, estos residuos se presentan como una alternativa efectiva para la biorremediación del suelo y pueden reemplazar a los fertilizantes convencionales, destacando especialmente el tratamiento 3 por su mayor contenido de nitrógeno (N) y fósforo (P).

REFERENCIAS

Alvarado Dávila, T. L., & Martínez Caballero, J. A. (2022). Revisión de técnicas para el uso de compostaje aerobio generado en hoteles Real en el municipio de Barrancabermeja.

- Revista Gipama, 3(1), 52-62. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/gipama/article/view/4764>
- Aquino López, V. (2017). Evaluación de la dosis óptima de microorganismos eficaces en el proceso de compostaje de residuos orgánicos domiciliarios generados en la zona urbana de concepción, provincia de concepción-Junín. Editorial Universidad alas peruanas, 1-75; Huancayo - Perú; <https://hdl.handle.net/20.500.12990/3511>.
- Avendaño Rojas Daniela, (2003). Proceso de compostaje. Pontificia Universidad Católica de Chile, Departamento de Fruticultura y Enología; Volumen I; 57p; Santiago de Chile.
- Barba González, A. (2019). Efectos de los macronutrientes potasio y fosfato en cultivos hidropónicos: Análisis del crecimiento de la *Lactuca sativa*. *Investigación*, 1(1). <https://revistas.uaa.mx/index.php/bi/article/view/1806>
- Bohórquez, A., Puentes, Y., & Menjivar, J. C. (2015). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 73-81. https://doi.org/10.21930/rcta.vol15_num1_art:398
- Bohórquez Santana, W. (2019). El proceso de compostaje. Colombia: Ediciones Unisalle.
- Camelo-Rusique, Mauricio, Moreno-Galván, Andrés, Romero-Perdomo, Felipe, & Bonilla-Buitrago, Ruth. (2017). Desarrollo de un sistema de fermentación líquida y de enquistamiento para una bacteria fijadora de nitrógeno con potencial como biofertilizante. *Revista argentina de microbiología*, 49(3), 289-296. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ram.2016.06.005>.
- Campos-Rodríguez, Roel, Brenes-Peralta, Laura, & Jiménez-Morales, María Fernanda. (2016). Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras. *Revista Tecnología en Marcha*, 29(Suppl. 5), 25-32. <https://dx.doi.org/10.18845/tm.v29i8.2982>
- Castillo Taco, J. (2010). Análisis de lombricompuestos a partir de diferentes sustratos / Analysis of vermicomposed based on different substrates. Universidad Nacional.
- Castro, G., Daza, M., Marmolejo, L. (2016). Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la planta de manejo de residuos sólidos (PMRS) del municipio de Versalles, Valle del Cauca.
- Delgado Arroyo, María del Mar, Mendoza López, Karla Luz, González, María Isabel, Tadeo Lluch, José Luis, & Martín Sánchez, José Valero. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(4), 965-977. Epub 22 de diciembre de 2020. <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.15>
- Muñoz, J., Dorado, J., & Perez, E. H. (2015). Sistema de compostaje y lombricompostaje aplicado en residuos orgánicos de una galería municipal. *Suelos Ecuatoriales*, 45(2), 72-83. http://unicauca.edu.co/revistas/index.php/suelos_ecuatoriales/article/view/20
- Escobar, Fabiola, Sánchez Ponce, José, & Azero A., Mauricio. (2012). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Acta Nova*, 5(3), 390-410. http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892012000100004&lng=es&tlng=es.
- Fallas Conejo, D. A., & Solís Ramírez, K. d. I. Á. (2016). Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada. [San José, Costa Rica].

- Pérez-Vásquez, Nabi del Socorro, Cadavid-Velásquez, Edith de Jesús, & Ariza-Ariza, Leidy Gabriela. (2023). Territorio en acción, relaciones y sentires: la huerta comunitaria como aula viva. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (54), 65-83. Epub February 09, 2024. <https://doi.org/10.17227/ted.num54-17607>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2006). *Métodos analíticos del laboratorio de suelos* (6.a ed.)
- Medeiros, V. P. B., Pimentel, T. C., Varandas, R. C. R., dos Santos, S. A., de Souza Pedrosa, G. T., da Costa Sassi, C. F., ... Magnani, M. (2020). Exploiting the use of agro-industrial residues from fruit and vegetables as alternative microalgae culture medium. *Food Research International*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109722>.
- Moreno, A., Valdés, M., Zarate, T. (2005). Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Chile.
- Romero Romano, Carlos Osvaldo, Ocampo Mendoza, Juventino, Sandoval Castro, Engelberto, & Tobar Reyes, José Refugio. (2018). Evaluación de sustratos para la producción de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*). *Centro Agrícola*, 45(4), 68-74. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S025357852018000400068&lng=es&tlng=es.
- Mujica-Pérez, Y., Medina-Carmona, A., & Rodríguez-Guerra, E. (2017). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en el cultivo de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Cultivos tropicales*, 38(2), 15-21.
- Ramón Meneses, S. L. (2020). Evaluación de la producción del hongo Orellana (*Pleurotus ostreatus*) en tres variedades de sustratos en la finca la Palmita, municipio de Pamplonita Norte de Santander [Trabajo de Grado Pregrado, Universidad de Pamplona]. Repositorio Hulago Universidad de Pamplona. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/2228>
- Román, P., Martínez, M., Pantoja, A. Manual de compostaje del agricultor, experiencia en América Latina. (2013). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Santiago de Chile.
- Rosa, Elvrida, Sufardi, Sufardi, Syafruddin, Syafruddin, Rusdi, Muhammad, Bioremediation of Ex-Mining Soil with the Biocompost in the Incubation Experiments, *Applied and Environmental Soil Science*, 2023, 4129909, 14 pages, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/4129909>
- Salvador Pinos, C., González, E., Rojas, M., Mesa, L., Batallas, F., Pérez Martínez, A., & Concepción, D. (2018). Empleo de biocatalizadores en la degradación de material lignocelulósico: principales impactos. *FIGEMPA: Investigación Y Desarrollo*, 5(1), 41-46. <https://doi.org/10.29166/revfig.v1i1.799>
- Suthar, S. (2007). Vermicomposting potential of *Perionyx sansibaricus* (Perrier) in different waste materials. *Bioresource technology*, 98(6), 1231-1237.
- Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., y Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2). <https://doi.org/10.22579/20112629.575>