Vermicompostaje en el campus universitario el Cerrillo: Evaluación de mezclas de residuos para una agricultura sostenible

Vermicomposting at the Cerrillo University Campus: Evaluation of waste mixtures for sustainable agriculture

Pedro del Aguila Juárez,[1] Nadia de la Portilla López,[2] Carlos Raúl Sandoval Alvarado[3]

Recibido: 23 de septiembre de 2023 Aceptado: 13 de enero de 2024

Resumen

La creciente preocupación por la gestión de residuos sólidos en los campus universitarios resalta la urgencia de desarrollar proyectos que se centren en la reducción y reciclaje, con el objetivo de mitigar el impacto ambiental. En este contexto, se llevó a cabo un proyecto de vermicompostaje en colaboración con estudiantes de ciencias. Este proyecto se enfocó en evaluar la estabilidad de los productos finales mediante la utilización de mezclas de residuos provenientes de ganado vacuno y ovino, así como residuos vegetales procedentes de la cafetería. El estudio, que se basó en análisis estadísticos, evidenció la estabilidad del producto agrícola después del precomposteo, garantizando la estabilidad de la materia orgánica y previniendo la mortalidad de las lombrices. Aunque los niveles de pH y humedad no cumplen con las normativas establecidas, los parámetros de conductividad eléctrica, materia orgánica y densidad aparente sí se ajustan a dichas normativas. Se concluyó que las mezclas que incluyen estiércol de caballo, borrego y residuos domésticos (T2 y T3) presentaron una mayor estabilidad en comparación con la T1 (estiércol de vaca y residuos domésticos), sugiriendo así su viabilidad como complementos al fertilizante en suelos agrícolas, especialmente en entornos de invernaderos.

PALABRAS CLAVE

Sustentabilidad, gestión de residuos sólidos, ambiente, contaminación.

Abstract

The growing concern for solid waste management at university campuses underscores the urgent need of developing projects focused on reduction and recycling to mitigate environmental impact. In this context, a vermicomposting project has been carried out in collaboration with science students. This project aimed to assess the stability of end products by using mixtures of waste from cattle, sheep, and cafeteria vegetable waste. The study, based on statistical analyses, showed the stability of the agricultural product post-precomposting, ensuring organic matter stability and preventing worm mortality.

Although pH and moisture levels do not comply with the established regulations, parameters such as electrical conductivity, organic matter, and bulk density do meet these standards. It was concluded that mixtures containing horse manure, sheep waste, and domestic refuse (T2 and T3) exhibited greater stability compared to T1 (cow manure and domestic waste), suggesting their viability as supplements for fertilizers in agricultural soils, particularly in greenhouse environment.

KEY WORDS

Sustainability, solid waste management, environment, pollution.

[1] Universidad Autónoma del Estado de México, México. delaguila.1959@gmail.com
[2] Universidad Autónoma del Estado de México, México. naomenpl@hotmail.com
[3] Universidad Autónoma del Estado de México, México. sandovalcarlos0@gmail.com

Introducción

La creciente prevención por el medio ambiente y la gestión sostenible de los residuos ha llevado a la implementación de enfoques innovadores en diversos ámbitos. La renovada prevención por el cambio climático y la búsqueda de prácticas agrícolas más sostenibles ha llevado a la adopción de soluciones innovadoras que promuevan la gestión adecuada de los residuos orgánicos (Amoah *et al.,* 2023, p. 1).

Ligado a la problemática ambiental por los residuos sólidos, en los campus universitarios que son considerados como "pequeñas ciudades" debido a las extensas áreas que cubren, las altas densidades de población y la diversidad de actividades tanto domésticas como científicas. Debido a la generación de residuos sólidos, estos deben iniciar sus propios planes de gestión sostenible debido a sus responsabilidades éticas y legales en relación con las acciones ambientales (Bahçelioglu *et al*., 2020).

Por lo que el realizar prácticas o proyectos en el sector educativo universitario que involucren el tema del reciclaje como un proceso de vermicomposteo, representa una oportunidad para avanzar hacia un modelo de desarrollo más sustentable y armonioso con el medio ambiente.

El vermicompostaje surge como una solución tecnológica para gestionar residuos orgánicos, este proceso implica la participación de la lombriz de tierra y microorganismos que aceleran la transformación de la materia orgánica (MO), mejorando las propiedades biológicas, físicas y químicas del sustrato (Shafique *et al.,* 2021; Das *et al*., 2022; Chen *et al.,* 2023). Durante el compostaje, los compuestos de C y N se transforman a través de las actividades de sucesivas poblaciones microbianas en formas orgánicas más estables y complejas, que química y biológicamente se asemejan a sustancias húmicas. El producto final del compostaje se puede definir como un material estabilizado que se puede utilizar como enmienda en suelos agrícolas. (Bustamante *et al*., 2008). Durante el proceso de vermicompostaje, se lleva a cabo un análisis detallado de diversos indicadores que van definiendo la evolución del mismo. Estos indicadores incluyen el tipo de residuo orgánico, la temperatura, la humedad, el pH, la aireación, la relación carbono/nitrógeno, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de materia orgánica entre otros (Rodríguez y Córdova, 2006).

En el campo de la investigación sobre prácticas agrícolas sostenibles, el empleo de enmiendas orgánicas ha experimentado un crecimiento significativo. Abonos, compost, vermicompost y biocarbón son ejemplos de fuentes valiosas de nutrientes que desempeñan un papel fundamental en la promoción de la agricultura sostenible (Abbott *et al.,* 2018; Balachandar *et al*., 2021; Kauser y Khwairakpam, 2022).

Los estudiantes universitarios poseen ventajas significativas como líderes en este tipo de proyectos. En su mayoría, son jóvenes y altamente educados, lo que se traduce en una comprensión más profunda de la separación adecuada de residuos y la disposición a adoptar nuevos procesos de sostenibilidad ambiental. Además, a través de actividades como el vermicompostaje, adquieren habilidades prácticas en la reducción de residuos lo que también concuerda con Zhang *et al.* (2017).

Objetivo

Comparar la estabilidad de la vermicomposta hecha con tres tipos de residuos animales (vacuno, ovino y equino) y residuos domésticos, evaluando parámetros fisicoquímicos con la finalidad de obtener un producto de calidad para uso agrícola.

Sitio de Estudio

El estudio se realizó en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicados en el campus "El Cerrillo Piedras Blancas", que abarca una extensión de 30.868 hectáreas con coordenadas geográficas de latitud 19° 24' 36" N y longitud 99° 41' 21" Oeste. A su vez, la colecta de los residuos se realizó en la Posta y el Hospital de grandes especies de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia (Figura 1).

Figura 1. Espacio académico: Facultad de Ciencias (1), la Posta (2) y el Hospital de grandes especies (3) de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia.



Fuente: Elaboración propia.

[1] La inauguración formal se realizó el día 22 de junio del 2023, por el exgobernador Lic. Alfredo del Mazo Maza y el actual rector de la Universidad Autónoma del Estado de México el Dr. En CA. Carlos. Barrera Díaz.

[2] Realismo, implicación e interactividad.

[3] También conocido como blue box. De acuerdo a (Naval Air Station fort Lauderdale Museum, 2023) obtiene la patente en 1931 lo que le permitió mejorar considerablemente la experiencia de vuelo simulado.

Metodología

Elementos necesarios para llevar a cabo el proceso de vermicompostaje.

La recolección de residuos de origen animal, como estiércol bovino, ovino y equino, se llevó a cabo tanto en la Posta como en el Hospital de grandes especies de la Facultad de Veterinaria y Zootecnia. Por otro lado, los residuos domésticos, que incluyen desechos de frutos cítricos como naranjas y toronjas, así como de verduras, fueron recogidos en la cafetería y el suelo se colecto del campus universitario, como se muestra en la Figura 1.

Selección de la lombriz

La lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) comúnmente conocida como híbrido roja californiana, se seleccionó de acuerdo a lo reportado por Garg *et al*., (2006), el cual considera las siguientes características como indicadores de madurez sexual: individuos de color rojo tenue (característico de lombrices jóvenes), con el clitelo bien desarrollado (anillo de mayor tamaño localizado en la segunda sección del cuerpo), con un tamaño promedio de 4 a 6 cm y un peso de 0.5 g por individuo (Figura 2).

Figura 2. La lombriz de tierra (*E. foetida*) organismos que se utilizó en el estudio



Fuente: Elaboración propia.

Diseño del experimento, montaje y elaboración de la vermicomposta

El establecimiento de los tratamientos en el sitio de realización del experimento se llevó a cabo mediante bloques dispuestos de manera aleatoria. Los tres tratamientos sometidos a experimentación se conformaron de la siguiente manera:

- **T1=** suelo + estiércol vacuno (EV) + residuo doméstico (RD) + lombrices.
- **T2=** suelo + estiércol equino (EE), residuo doméstico (RD) + lombrices.
- **T3=** suelo + estiércol ovino (EO), residuo doméstico (RD) + lombrices.

Cada tratamiento se realizó por triplicado y como tinas de compostaje se utilizaron recipientes de plástico de 20 cm de ancho, 30 cm de largo y 20 cm de altura.

Se adicionaron 12 lombrices de tierra a cada tratamiento de aproximadamente 0.5 g (peso húmedo) de acuerdo a lo reportado por Gupta y Garg (2008).

La investigación comenzó con una etapa de precompostaje de la materia orgánica, la cual se llevó a cabo durante 20 días y se realizó una evaluación del pH para determinar su estabilidad antes de iniciar el proceso de vermicompostaje, conforme a los sugerido por Garg et al. (2006). A partir del día 20 se dio inicio con el proceso de vermicompostaje se prolongó hasta el día 75.

Con el objetivo de asegurar un suministro constante de alimento para las lombrices, se llevaron a cabo dos recargas de residuos orgánicos de un kilogramo para cada recipiente de cada tratamiento a los 30 y 60 días del experimento. Posteriormente se realizaron tomas de muestras de vermicomposta a los 15 y 75 días. Estas muestras a continuación fueron secadas al ambiente, homogeneizadas, molidas y tamizadas para su análisis químico en el laboratorio de acuerdo con la norma mexicana (SAGARPA, 2007).

Determinación de parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos se analizaron siguiendo las directrices de la Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2008 (SAGARPA, 2007). El pH se evaluó usando un potenciómetro (inoLab® pH 7110, México) medido a una proporción de 1/10 de sustrato/agua), la conductividad eléctrica se midió con un medidor de conductividad EC Hanna EC/TDS/Temp, Marca Conductronic Modelo PC1, la densidad aparente por el método de la probeta, la humedad usando una estufa con circulación forzada serie OV50 marca INDELAB, y el contenido de carbono orgánico por el método de ignición utilizando una mufla AR-340.

Análisis de los datos

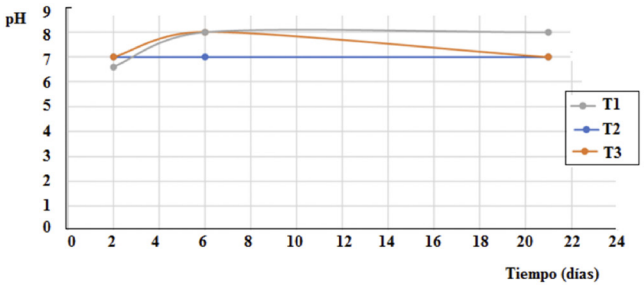
Se realizó un análisis de estadística descriptiva (media, desviación estándar y gráficas) de los parámetros fisicoquímicos. También se procedió a la prueba de LSD ($p \leq 0.05$) para conocer las diferencias de las variables fisicoquímicas entre los tratamientos y la prueba de t-Student para los tiempos de cada tratamiento con un intervalo de confianza de 95 % ($p \leq 0.05$) en el paquete de datos Statgraphics Centurion XVI.

Aportaciones o resultados

El objetivo principal del proceso de precompostaje, como se ilustra en la Figura 3, es evaluar la estabilidad de tres tratamientos: T1, T2 y T3. Este paso es crucial antes de introducir las lombrices con el fin de prevenir su mortalidad.

En los primeros días, se observa un aumento en los valores de T1 y T3, mientras que T2 permanece constante. A partir del sexto día en adelante, los tratamientos T1 (pH=8) y T2 (pH=7) comienzan a estabilizarse, mientras que solo el tratamiento T3 (pH=7) muestra una tendencia a disminuir, alcanzando finalmente su estabilidad en el día 22.

Figura 3. Evaluación del pH en el tiempo del proceso de precompostaje en los tres tratamientos: T1: estiércol vacuno, T2: estiércol equino y T3: estiércol ovino.



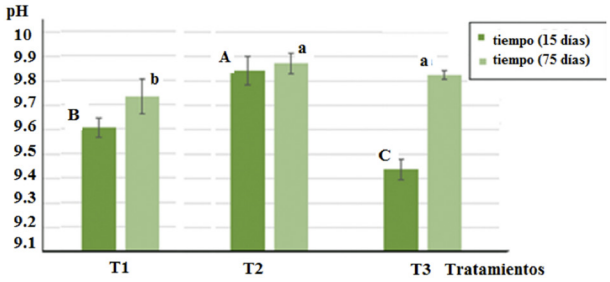
Fuente: Elaboración propia.

Determinación de los parámetros fisicoquímicos de la vermicomposta

El pH de la vermicomposta en los tres tratamientos, mostrado en la Figura 4, inicialmente muestra una inclinación hacia la alcalinidad, revelando diferencias significativas entre ellos ($F_{(2,11)}$=74.3, p<0.001). En particular, el tratamiento T2 (pH=9.8 ± 0.05) exhibió el pH más elevado en comparación con T1 (pH= 9.6± 0.03) y T3 (pH=9.4± 0.04). A lo largo de todo el proceso, se observó una constante tendencia alcalina; no obstante, es destacable señalar que la alcalinidad experimentó un aumento en el tratamiento T3 al llegar al término del proceso de vermicompostaje.

En relación con el tiempo inicial y final del proceso, se detectaron diferencias significativas en los tratamientos T1 y T3 con respecto a los valores de pH. Para T1 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ =-3.156, p<0.01), comenzó con un pH de 9.6± 0.03 y finalizó en 9.73 ± 0.07. Similarmente, en el tratamiento T3 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ =-17.3, p<0.001), el pH inicial fue de 9.43 ± 0.04, y al concluir el proceso alcanzó 9.82± 0.01. Es importante destacar que no se observaron variaciones significativas en el tratamiento T2.

Figura 4. Variación del pH entre tratamientos y al comienzo y al término del proceso de vermicomposteo en los tratamientos T1: estiércol vacuno, T2: estiércol equino y T3: estiércol ovino y cada tratamiento incluyó una proporción constante de residuo doméstico y lombrices. Prueba de LSD (letras mayúsculas) y de t-Student (letras minúsculas) con un valor de p≤0.05.



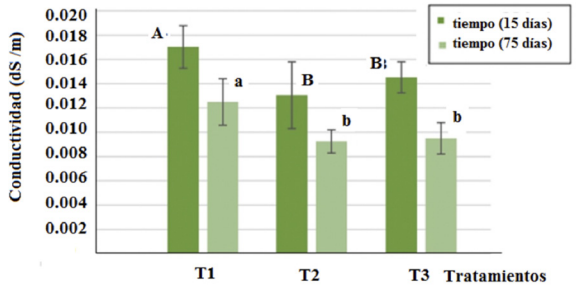
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 5, se presenta la conductividad eléctrica de los tratamientos que exhibieron diferencias significativas en ambos momentos de medición. Para el primer tiempo ($F_{(2,11)}$ = 8.52, p<0.001), se observa que el tratamiento T1 muestra la mayor conductividad eléctrica (0.017 ± 0.002 dS m^{-1}), seguido de T3 y T2, ambos con una conductividad de 0.014 ± 0.002 dS m^{-1} y 0.013 ± 0.0009 dS m^{-1}, respectivamente.

En relación con el segundo periodo de tiempo ($F_{(2,11)}$ = 6.8, p<0.019), también se observaron diferencias significativas. T1 exhibió una mayor conductividad eléctrica de 0.0125 ± 0.002 dS m^{-1} en comparación con T2 y T3, donde la CE fue de 0.009 ± 0.0009 dS m^{-1} y 0.0095 ± 0.0019 dS m^{-1}, respectivamente.

En cuanto a la duración del proceso, todos los cambios significativos. Para T1 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ =3.48, p<0.01), la conductividad eléctrica disminuye de 0.017± 0.001 dS m^{-1}a 0.012± 0.009 dS m^{-1}. Por otro lado, en el caso de T2 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ =5.54, p<0.001), la conductividad eléctrica pasa de 0.013± 0.0009 dS m^{-1}a 0.009 ± 0.0009 dS m^{-1} y para T3 0.014 ± 0.002 dS m^{-1} a 0.0095 ± 0.0019 dS m^{-1}

Figura 5. Variación de la conductividad eléctrica (dS/m) al inicio y al final del proceso de vermicomposteo en los tratamientos T1 (estiércol vacuno), T2 (estiércol equino) y T3 (estiércol ovino) y cada tratamiento incluyó una proporción constante de suelo, residuo doméstico y lombrices. Prueba de LSD (letras mayúsculas) y de t-Student (letras minúsculas) con un valor de p≤0.05.



Fuente: Elaboración propia.

El comportamiento de la densidad aparente (Tabla 1) en los tres tratamientos al principio y al final del proceso muestra una relativa estabilidad, con cambios que no

parecen ser estadísticamente significativos. Sin embargo, cabe destacar que en el caso de T1 se observó un aumento en la densidad aparente, alcanzando un valor de 0.833 ($g.mL^{-1}$), mientras que en los otros tratamientos, T2 y T3, se registró una leve disminución, situándose al final en 0.769 ($g.mL^{-1}$) y 0.833 ($g.mL^{-1}$), respectivamente.

Tabla 1. Valores de la densidad aparente de los tratamientos durante el proceso de elaboración de vermicomposta

Tabla 1. Valores de la densidad aparente de los tratamientos durante el proceso de elaboración de vermicomposta

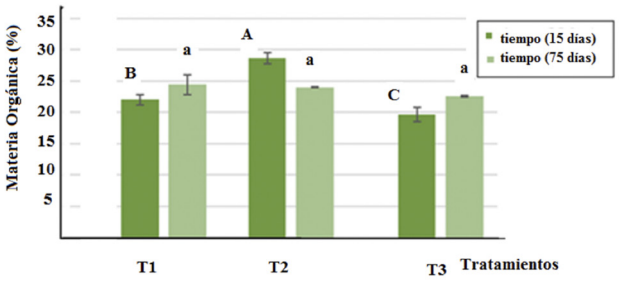
Tratamiento	Tiempo(15 días) D_1 ($g.mL^{-1}$)	Tiempo (75 días) D_2 ($g.mL^{-1}$)
T1	0.724	0.833
T2	0.819	0.769
T3	0.925	0.833

D: densidad aparente, T1: estiércol vacuno, T2: estiércol equino y T3: estiércol ovino.
Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 6 se representa la evolución de la materia orgánica a lo largo del proceso. Inicialmente, se observaron diferencias significativas ($F_{(2,11)}$ = 120.42, p<0.01), destacando un aumento en T2 (28.65 ± 0.84 %) en comparación con T1 (22.05 ± 0.82 %) y T3 (19.68 ± 1.13 %). Sin embargo, al final del proceso, se observa una similitud en los niveles de materia orgánica en los tratamientos T1 (24.41 ± 1.59 %), T2 (24 ± 0.822 %) y T3 (22.68 ± 1.57 %), lo que indica que ambos tratamientos llevaron a cabo de manera similar la degradación de la materia orgánica.

En relación con las dos mediciones en cada tratamiento, se evidenciaron cambios significativos en T1 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ =8.28, p<0.001), donde el contenido de materia orgánica aumentó de 22.05 ± 0.82 % a 24 ± 0.84 %. Por otro lado, en T3 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ =-3.21, p<0.01), se observó un incremento en la materia orgánica, pasando de 19.68 ± 1.13 % a 22.58 ± 1.57 %. En el caso de T2, se registró una disminución de 28.65 ± 0.84 % a 24 ± 0.822 %, y se notaron variaciones significativas en la materia orgánica a lo largo del proceso.

Figura 6. Cambio en el porcentaje de materia orgánica durante el inicio y final del proceso de vermicomposteo en T1 (estiércol vacuno), T2 (estiércol equino) y T3 (estiércol ovino). La composición del suelo, residuo doméstico y lombrices estuvo constante. Prueba de LSD (letras mayúsculas) y de t-Student (letras minúsculas) con un valor de p≤0.05.

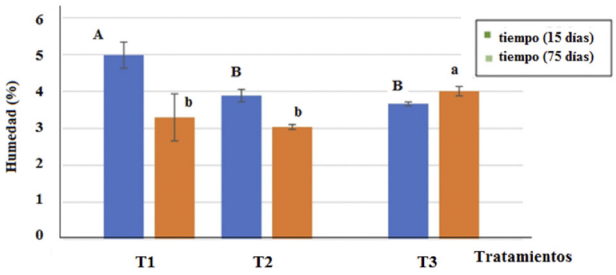


Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la Figura 7, el contenido de humedad se observa que al inicio y final del proceso se presentaron diferencias significativas. Entre los tratamientos al inicio ($F_{(2,11)}$ = 38.53, p<0.001) quien presentó mayor contenido de humedad fue T1 (4.98 ± 0.35 %), pero T2 (3.88 ± 0.16 %) y T3 (3.66 ± 0.05 %) fueron iguales. Para el término del proceso ($F_{(2,11)}$ = 7.10 p<0.01), T3 (4.0 ± 0.126 %) tuvo la mayor humedad y T1 (3.29 ± 0.65 %) y T2 (3.03 ± 0.06 %) mostraron el mismo contenido.

En relación con las dos mediciones efectuadas en cada tratamiento, se observaron cambios significativos en los tres tratamientos. En el caso de T1 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ = 4.63, p<0.001), se registró una reducción en la humedad de 4.98 ± 0.35 % a 3.29 ± 0.63 %. Por su parte, en T2 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ = 9.50, p<0.001), la humedad también disminuyó de 3.88 ± 0.16 % a 3.03 ± 0.06 %. En contraste, en T3 ($t_{(11,\alpha=0.99)}$ = -5.0, p<0.01), se evidenció un aumento en la humedad, pasando de 3.66 ± 0.057 % a 4.07 ± 0.127 %.

Figura 7. Cambio en el porcentaje de humedad al inicio y al final del proceso de vermicomposteo en T1 (estiércol vacuno), T2 (estiércol equino) y T3 (estiércol ovino). La composición del suelo, residuos domésticos y lombrices estuvo constante. Prueba de LSD (letras mayúsculas) y de t-Student (letras minúsculas) con un valor de p≤0.05.



Fuente: Elaboración propia.

Discusiones

Precomposteo

El pH alcanza una estabilización en el valor de 7 durante la etapa de precompostaje, lo cual facilita la incorporación de lombrices en cada tratamiento. Este proceso transforma los residuos sólidos orgánicos en materia orgánica estabilizada, eliminando componentes peligrosos y enriqueciendo los nutrientes vegetales. Estos resultados resaltan la efectividad del compostaje en la gestión de residuos sólidos, respaldando investigaciones anteriores de García-Sánchez *et al*. (2017) y Mahapatra *et al*. (2022).

pH

En cuanto al pH, se observa que la vermicomposta exhibe un carácter alcalino que no cumple con las regulaciones establecidas por la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI (SAGARPA, 2007). Esta norma establece un rango de pH de 5.5 a 8.5 como requisito para que la vermicomposta quede dentro

de la norma mexicana. Sin embargo, es importante señalar que el aumento en el pH obedece a la naturaleza y calidad del alimento que se les dio a las lombrices que concuerda con Bhat *et al*., (2016). Las lombrices utilizadas en este estudio son del tipo epígeo, especializadas en consumir exclusivamente materia orgánica y tolerar pH amplios rangos de pH y que coindicen con investigaciones de Gómez-Brandón *et al.* (2013) que reportan pH ácidos de 5 y alcalinos de 9.

Es importante destacar que durante la fase de precompostaje, autores como Fornes et al. (2012) indican que se produce un aumento del pH debido a la biooxidación de los residuos orgánicos. Este incremento está asociado a la naturaleza y calidad de los residuos. En este contexto, la presencia de residuos vegetales, como el bagazo de uva, puede contribuir a un pH alcalino, según lo mencionado por García-Sánchez *et al*. (2017).

Cabe resaltar que un pH alcalino en las vermicompostas tiene implicaciones en la disponibilidad de nutrientes, especialmente para elementos como el fósforo (P), hierro (Fe) y manganeso (Mn). Es relevante mencionar que el amoniaco, con sus propiedades alcalinas, también puede elevar el pH de la composta, corroborando hallazgos previos de Fornes *et al.* (2012) y Dume *et al.* (2023). Este componente químico indica que el tratamiento realizado con estiércol de vaca y residuos domésticos presenta el valor de alcalinidad más bajo en comparación con los otros dos tratamientos.

Conductividad Eléctrica

Según la norma mexicana para vermicomposta (SAGARPA, 2007), el rango de conductividad eléctrica (CE) debe ser igual o inferior a 4 dS m^{-1}. Los tres tratamientos lo cumplen. Este resultado concuerda con lo mencionado por Gómez-Brandon *et al*. (2013), quienes también encontraron valores bajos de conductividad eléctrica, similares a los del estiércol crudo (0.27 ± 0.009 mS cm^{-2}). Así también se puede decir que una baja CE en el estudio, es un indicador que no hay presencia de sales minerales disponibles de fosfato, amonio y potasio (Hait y Tare, 2011). Para este componente químico los tratamientos con base en estiércol de caballo, borrego y residuos domésticos presentan una mejor CE que le que contienen estiércol de vaca y residuos doméstico.

Densidad aparente

En relación con los tres tratamientos, se observó que el valor de la densidad aparente se mantuvo constante y similar entre ellos. Además, de acuerdo a la norma mexicana (SAGARPA, 2007), estos valores se encontraron dentro del rango especificado, que va de 0.40 a 0.90 g mL^{-1}. Según un estudio realizado por Vázquez *et al.,* (2020), indican que la adición de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost al suelo de un monocultivo de *Gypsophila* tuvo un impacto positivo en la disminución de la densidad aparente. Es importante destacar que la densidad aparente del suelo representa la cantidad de suelo seco contenida en un volumen específico, incluyendo tanto los sólidos del suelo como los poros de acuerdo con Agostini *et al.* (2014). Al respecto a este componente físico se puede decir que el de menor densidad aparente es el que contiene estiércol de caballo y residuos doméstico, con respecto a los que contienen estiércol de borrego, vaca y residuos domésticos.

Materia orgánica (MO)

La MO en el proceso de vermicomposteo siguió un ligero incremento similar en T2 y T3 por la adición de las dos recargas y solo T1 si disminuyó quedando dentro de la norma mexicana (SAGARPA, 2007) que se encuentra de 20 % a 50 % base seca.

En tratamiento T1, se observó una disminución del contenido de MO, mientras que en los tratamientos T2 y T3 se registró un aumento. Para el caso de T1, la disminución se atribuye a la actividad microbiana y la presencia de lombrices durante el proceso de vermicompostaje, lo que conduce a una reducción en el contenido total de C. Este fenómeno está respaldado por estudios previos realizados por Dume *et al.* (2023). La disminución del C orgánico también se relaciona con el enriquecimiento de la fracción húmica, que se incrementa a medida que la vermicomposta madura y la MO se estabiliza. Por otro lado, investigaciones realizadas por Frederickson *et al.* (2007), Suthar (2009) y García-Sánchez *et al*. (2017), señalaron que el C orgánico se pierde durante el proceso, en un rango de 17.5 % a 67 %, cuando las lombrices participan en la descomposición de la MO, lo que provoca un cambio en la relación C/N (39:1). Otra causa de la disminución del C orgánico se atribuye a los procesos de digestión realizados por las lombrices, como lo indican los informes de Khare *et al.* (2005) y Aira y Domínguez (2009), estos consumen la MO y la convierten en partículas más finas. Por el contrario, cuando se observa un aumento en el contenido de MO, esto puede deberse a recargas de materia orgánica y posiblemente a una menor actividad de los microorganismos en el medio. Un alto contenido de C en el suelo es beneficioso en términos de captura de C, y este aumento y las diferencias entre T3 y T2 coinciden con los hallazgos de estudios realizados por Caballinas *et al.* (2013).

A lo que respecta al componente que contiene mayor contenido de materia orgánica los constituidos por estiércol de vaca y caballo mezclados con residuo domésticos en comparación a que contiene estiércol de borrego y residuo doméstico.

Humedad

En lo que respecta a la humedad, es importante destacar que se mantuvo por debajo de los estándares establecidos por la normativa mexicana (SAGARPA, 2007), aunque esta situación no afecta la calidad de la vermicomposta para su uso. De hecho, la disminución de la humedad tiene un efecto beneficioso, ya que incrementa el espacio poroso en los tratamientos, como se ha observado en

estudios de Contreras *et al.* (2014). Este aumento en el espacio poroso facilita el intercambio de gases dentro del producto final, mejorando sus propiedades.

En cuanto al trabajo de campo y laboratorio llevado a cabo, se logró cumplir con el objetivo de fomentar prácticas en la elaboración de una enmienda orgánica, como lo es la vermicomposta. Se varió el tipo de residuos animales, manteniendo constante aquellos de origen vegetal, con el propósito de promover un compromiso activo con la conservación del medio ambiente entre la comunidad estudiantil.

Conclusiones

El estudio demostró la estabilidad del producto agrícola tras un precomposteo que aseguró la estabilidad de la materia orgánica y evitó la mortalidad de las lombrices. Aunque los parámetros de pH y humedad no cumplieron con las normas mexicanas, la vermicomposta mostró una tendencia alcalina y baja humedad. Sin embargo, la conductividad eléctrica, densidad aparente y materia orgánica se mantuvieron en niveles aceptables. Por lo que se sugiere que las mezclas T2 y T3, con estiércol de caballo, borrego y residuos domésticos, son más estables que T1 (estiércol de vaca y residuos domésticos), siendo opciones potenciales como complementos al fertilizante en suelos agrícolas, especialmente en invernaderos.

Referencias

Abbott, L. K., Macdonald, L. M., Wong, M. T. F., Webb, M. J., Jenkins, S. N., & Farrell, M. (2018). Potential roles of biological amendments for profitable grain production–A review. Agriculture, Ecosystems & Environment. 256: 34-50. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.021

Aira, M., & Domínguez, J. (2009). Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm Eisenia fetida (Savigny, 1826). Journal of Hazardous Materials. 161 (2-3): 1234-1238. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.073

Agostini, M. D. L. Á., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. Ciencia del suelo. 32 (2): 171-176.

Amoah, J. O., Britwum, A. O., Essaw, D. W., & Mensah, J. (2023). Solid waste management and gender dynamics: Evidence from rural Ghana. Research in Globalization. 6: 100111. http://doi.org/10.1016/j.resglo.2023.100111

Bahçelioğlu, E., Buğdaycı, E. S., Doğan, N. B., Şimşek, N., Kaya, S. Ö., & Alp, E. (2020). Integrated solid waste management strategy of a large campus: A comprehensive study on METU campus, Turkey. Journal of Cleaner Production. 265: 121715. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121715

Balachandar, R., Biruntha, M., Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Subbaiya, R., Govarthanan, M., & Karmegam, N. (2021). Earthworm intervened nutrient recovery and greener production of vermicompost from Ipomoea staphylina–An invasive weed with emerging environmental challenges. Chemosphere, 263: 128080. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128080

Bhat, S. A., Singh, J., & Vig, A. P. (2016). Effect on growth of earthworm and chemical parameters during vermicomposting of pressmud sludge mixed with cattle dung mixture. Procedia Environmental Sciences. 35: 425-434. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.025.

Bustamante, M. A., Paredes, C., Marhuenda-Egea, F. C., Pérez-Espinosa, A., Bernal, M. P., & Moral, R. (2008). Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. Chemosphere. 72 (4): 551-557. https://doi:10.1016/j.chemosphere.2008.03.030

Cabanillas, C., Stobbia, D., & Ledesma, A. (2013). Production and income of basil in and out of season with vermicomposts from rabbit manure and bovine ruminal contents alternatives to urea. Journal of cleaner production. 47: 77-84. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.012

Contreras, J. L., Rojas, J., Acevedo, I., & Adams, M. (2014). Caracterización de las propiedades físicas y bioquímicas del vermicompost de pergamino de café y estiércol de bovino. Rev. Fac. Agron (LUZ). 1 (Supl 1): 489-501.

Chen, Y., Zhang, Y., Shi, X., Shi, E., Zhao, T., Zhang, Y., & Xu, L. (2023). The contribution of earthworms to carbon mineralization during vermicomposting of maize stover and cow dung. Bioresource Technology. 368: 128283. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.128283

Das, D., Abbhishek, K., Banik, P., & Swain, D. K. (2022). Comparative evaluation of changes in soil bio-chemical properties after application of traditional and enriched vermicompost. Environmental Technology & Innovation. 28: 102956. https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102956

Dume, B., Hanc, A., Svehla, P., Michal, P., Chane, A. D., & Nigussie, A. (2023). Composting and vermicomposting of sewage sludge at various C/N ratios: technological feasibility and end-product quality. Ecotoxicology and Environmental Safety. 263: 115255. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115255

Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-de-la-Fuente, R., Abad, M., & Belda, R. M. (2012). Composting versus vermicomposting: a comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. Bioresource technology. 118: 296-305. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.028

Frederickson, J., Howell, G., & Hobson, A. M. (2007). Effect of pre-composting and vermicomposting on compost characteristics. *European* Journal of Soil Biology. 43: S320-S326. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.032

García-Sánchez, M., Taušnerová, H., Hanč, A., & Tlustoš, P. (2017). Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: Changes in chemical and biological parameters. Waste Management. 62: 33-42. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.02.008

Garg, P., Gupta, A., & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using Eisenia foetida: A com-

parative study. *Bioresource technology*, *97*(3), 391-395. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.009

Gómez-Brandón, M., Fornasier, F., de Andrade, N., & Domínguez, J. (2022). Influence of earthworms on the microbial properties and extracellular enzyme activities during vermicomposting of raw and distilled grape marc. Journal of Environmental Management, 319, 115654. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115654

Gupta, R., & Garg, V. K. (2008). Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. Journal of hazardous materials, 153(3), 1023-1030. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.055

Hait, S., & Tare, V. (2011). Vermistabilization of primary sewage sludge. Bioresource technology, 102 (3): 2812-2820. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.031

Kauser, H., & Khwairakpam, M. (2022). Organic waste management by two-stage composting process to decrease the time required for vermicomposting. Environmental Technology & Innovation. 25: 102193. https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102193

Khare, N. S. A., Bhargava, D. S., & Bhattacharya, S. (2005). Effect of initial substrate pH on vermicomposting using Perionyx excavatus (Perrier, 1872). Applied ecology and environmental research. 4 (1): 85-97.http://www.ecology.kee.hu. ISSN 1589 1623

Mahapatra, S., Ali, M. H., & Samal, K. (2022). Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. Energy Nexus. 6: 100062. https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100062

Rodríguez S. M.A., & Córdoba, y V. A. (2006). Manual de compostaje municipal, Tratamiento de residuos sólidos urbanos.

SAGARPA (2007). Norma Mexicana de humus y lombriz, especificaciones y métodos de prueba. NMX-FF-109-SCFI-2007.

Shafique, I., Andleeb, S., Aftab, M. S., Naeem, F., Ali, S., Yahya, S., ... & Abbasi, W. A. (2021). Efficiency of cow dung based vermi-compost on seed germination and plant growth parameters of Tagetes erectus (Marigold). Heliyon. 7 (1). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05895

Suthar, S. (2009). Vermistabilization of municipal sewage sludge amended with sugarcane trash using epigeic Eisenia fetida (Oligochaeta). Journal of Hazardous Materials. 163 (1): 199-206. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.106

Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. Scientia Agropecuaria. 11 (1): 105-112. http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.01.12

Zhang, H., Liu, J., Wen, Z. G., & Chen, Y. X. (2017). College students' municipal solid waste source separation behavior and its influential factors: A case study in Beijing, China. Journal of cleaner production. 164: 444-454. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.224