

Efectos de los sistemas de compostaje en las propiedades fisicoquímicas de compost de desechos agrícolas.

Effects of composting systems on the physicochemical properties of compost from agricultural waste.

Autores:

Ofelia Alexandra Granda Morocho¹, Yustin Eduardo Reyes Guartatanga², Martha Iliana Porras Fernández³, Delly Maribel San Martin Torres⁴.

¹Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, ogranda@utmachala.edu.ec,
<https://orcid.org/0000-0001-8850-8180>

²Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, yreyes1@utmachala.edu.ec,
<https://orcid.org/0009-0004-8996-3133>

³Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, mporras@utmachala.edu.ec,
<https://orcid.org/0000-0002-2391-3908>

⁴Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador, dsanmartin@utmachala.edu.ec,
<https://orcid.org/0000-0002-4680-4042>

Autor de Correspondencia: Ofelia Alexandra Granda Morocho, ogranda@utmachala.edu.ec

Reception: 10-January-2025 **Acceptance:** 08-February-2025 **Published:** 01-March-2025

Como citar este artículo:

Granda Morocho, O. A., Reyes Guartatanga, Y. E., Porras Fernández, M. I., & San Martin Torres, D. M. (2025). Efectos de los sistemas de compostaje en las propiedades fisicoquímicas de compost de desechos agrícolas. *Sapiens International Multidisciplinary Journal*, 2(2), 1-21. <https://doi.org/10.71068/wkxwn22>

Resumen

El estudio se realizó en la hacienda Sagrado Corazón de Jesús, ubicada en la parroquia Bella María, cantón Santa Rosa, y tuvo una duración de 13 semanas. Su propósito fue analizar cómo diferentes sistemas de compostaje influyen en las características fisicoquímicas y en la eficiencia del compost elaborado a partir de residuos agrícolas. Se establecieron cuatro tratamientos: T1 (residuos de plátano con sistema abierto), T2 (residuos de plátano con sistema cerrado), T3 (residuos de cacao con sistema abierto) y T4 (residuos de cacao con sistema cerrado), cada uno con dos repeticiones. Para la elaboración del compost, se emplearon 50 kg de residuos de plátano o cacao junto con 12,5 kg de gallinaza, en una proporción 80:20. Se evaluaron distintos parámetros fisicoquímicos, observándose que el pH se mantuvo en 7,6 en todos los tratamientos, mientras que la humedad fluctuó entre el 40 % y el 50 %. La conductividad eléctrica fue menor a 4 ds/m en los tratamientos con residuos de plátano. En cuanto a los niveles de fósforo y potasio, todos los tratamientos cumplieron con los estándares establecidos, al igual que el contenido de carbono en los compost elaborados con residuos de cacao. Sin embargo, ninguno alcanzó el 20 % mínimo de materia orgánica. La relación C/N indicó que los compost obtenidos eran maduros, con valores inferiores al 13 %. Los resultados fueron comparados con la norma NTE INEN 233:2013. Se recomienda continuar explorando otros tipos de residuos y técnicas, incluyendo la adición de microorganismos, para mejorar la calidad del compost producido.

Palabras clave: Compostaje, residuos agrícolas, propiedades fisicoquímicas, madurez del compost.

Abstract

The study was conducted at the Sagrado Corazón de Jesús farm, located in the Bella María parish, Santa Rosa canton, and lasted 13 weeks. Its purpose was to analyze how different composting systems influence the physicochemical characteristics and efficiency of compost produced from agricultural waste. Four treatments were established: T1 (banana waste with open system), T2 (banana waste with closed system), T3 (cocoa waste with open system), and T4 (cocoa waste with closed system), each with two repetitions. For compost production, 50 kg of banana or cocoa waste was used along with 12.5 kg of chicken manure, in an 80:20 ratio. Various physicochemical parameters were evaluated, with the pH remaining at 7.6 in all treatments, while moisture ranged between 40% and 50%. Electrical conductivity was lower than 4 ds/m in the banana waste treatments. Regarding phosphorus and potassium levels, all treatments met the established standards, as did the carbon content in compost produced with cocoa waste. However, none of the treatments reached the minimum 20% organic matter content. The C/N ratio indicated that the compost produced was mature, with values below 13%. The results were compared with the NTE INEN 233:2013 standard. It is recommended to continue exploring other types of waste and techniques, including the addition of microorganisms, to improve the quality of the compost produced.

Keywords: Composting, agricultural waste, physicochemical properties, compost maturity.

1. INTRODUCCIÓN

Los abonos orgánicos han sido utilizados desde épocas precolombinas por nuestros antepasados para mejorar la calidad de los suelos y garantizar una mayor producción agrícola. Sin embargo, con el tiempo, estas prácticas han ido desapareciendo, especialmente tras la introducción de fertilizantes y biofertilizantes químicos que han reemplazado a los abonos orgánicos en la agricultura convencional. El uso excesivo de estos productos químicos ha generado efectos negativos, como la contaminación de los recursos naturales y la escasez de alimentos, lo que afecta a las familias a nivel mundial (Cortés et al., 2020).

Un aspecto crucial a destacar es el aumento en la generación de residuos agrícolas, como los restos de cacao y plátano, producidos por grandes empresas agroindustriales y alimenticias. Estos residuos, en muchas ocasiones, son desechados en vertederos sin un aprovechamiento adecuado. En Ecuador, la falta de un sistema eficiente para la gestión de los residuos agroindustriales generados durante el proceso agroindustrial y la post cosecha se debe, en gran medida, a la falta de conocimiento sobre su valor y a la ausencia de métodos establecidos para su reutilización. La escasa educación e información sobre los beneficios y la rentabilidad de los residuos agrícolas ha llevado a que la sociedad no reconozca el potencial de estas prácticas. Además, la carencia de incentivos económicos para los agricultores ha dificultado el desarrollo de una producción de abono orgánico sostenible (Álvarez-Sánchez et al., 2021a).

En la actualidad, se observa un aumento significativo en la cantidad de desechos agrícolas generados por grandes explotaciones agropecuarias e industriales. La Hacienda Sagrado Corazón de Jesús no es ajena a esta tendencia, lo que resalta la necesidad de explorar formas eficaces de aprovechar los residuos agrícolas generados durante el cultivo de plátanos y cacao. En este contexto, los residuos, incluyendo hojas, cortezas y tallos, se depositan alrededor de las plantas de la hacienda con el objetivo de mejorar las propiedades del suelo. Es importante señalar que los sistemas de compostaje tienen un impacto directo en las propiedades fisicoquímicas del compost obtenido. Entre los métodos más destacados se encuentra el sistema abierto, que favorece la homogeneización y aireación de los residuos, resultando en una descomposición más rápida y eficiente. Esto genera una mayor concentración de nutrientes y una menor presencia de compuestos tóxicos en el compost. Por otro lado, el sistema cerrado permite un mejor control de las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, lo que puede dar lugar a una descomposición más lenta pero homogénea (Cruz et al., 2019). Este proceso no solo mejora la calidad del compost, sino que también enriquece la estructura del suelo y aumenta la productividad agrícola.

En Ecuador, la agricultura representa un pilar clave de la economía, no solo por su contribución financiera, sino también por su importancia en la seguridad alimentaria nacional. En 2018, la producción agrícola del país superó los 23 millones de kilogramos, destacándose cultivos como la caña de azúcar, el plátano, el cacao, la palma aceitera, el maíz, el arroz, la papa, la naranja, el café, el guineo y el brócoli (Riera et al., 2019).

Este estudio tiene como objetivo aprovechar los residuos agrícolas de plátano y cacao para la producción de compost orgánico, buscando mejorar la estabilidad y viabilidad de la Hacienda Sagrado Corazón de Jesús, ubicada en la parroquia Bella María, cantón Santa Rosa. La investigación analizará el impacto de distintos métodos de compostaje en las propiedades fisicoquímicas del compost, agregando valor a estos desechos agrícolas.

2. DESARROLLO

2.1 Compostaje

El compostaje se refiere al proceso de descomposición de materia orgánica en un entorno aeróbico, utilizado para mejorar la estructura del suelo y aportar nutrientes. Este proceso ofrece ventajas ambientales, ya que disminuye los olores desagradables generados por la descomposición y ayuda a controlar la presencia de vectores como insectos y roedores. Además, proporciona beneficios económicos, dado que el producto final posee propiedades valiosas como acondicionador del suelo y fertilizante, lo que permite reemplazar el uso de fertilizantes minerales (Carvalho & Casas, 2022).

2.2 Compost.

La palabra compost proviene del latín *componere*, que significa mezclar. Se trata de un fertilizante orgánico pre-humificado, obtenido a través de la descomposición y transformación biológica aeróbica de residuos orgánicos, en condiciones adecuadas de humedad y aireación para facilitar la acción de los microorganismos. El compost maduro se caracteriza por su color marrón oscuro o casi negro y su aroma a tierra o bosque. Este producto final mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y permite reducir el uso de fertilizantes convencionales sin comprometer significativamente el rendimiento de los cultivos agrícolas.

Los materiales utilizados para elaborar compost varían según el tipo de actividad de la que provienen, y pueden ser clasificados como agrícolas, ganaderos, forestales, urbanos, entre otros. El origen de estos sustratos es fundamental, ya que influye directamente en las características físicas y químicas del compost resultante (Rivas Nichorzon & Silva Acuña, 2019).

Una de las principales cualidades del compost es su capacidad para mejorar todo tipo de suelo, incluso aquellos en áreas áridas, semiáridas o ecosistemas que han sufrido incendios o sequías. Este abono, rico en proteínas y minerales, no solo ofrece nutrientes clave, sino que también ayuda a restaurar las propiedades físicas y químicas de los suelos dañados por actividades agrícolas. Además, su uso contribuye a disminuir la dependencia de agroquímicos, lo que reduce la toxicidad y previene problemas como la erosión y la degradación del suelo (Delgado Arroyo et al., 2019a).

2.3 Propiedades físicas y químicas del compost

2.3.1 Humedad

El rango óptimo de humedad para el compostaje se sitúa generalmente entre el 50% y el 60%, ya que niveles inferiores pueden reducir la actividad microbiana, mientras que valores superiores al 70% favorecen condiciones anaeróbicas, generando problemas como malos olores y lixiviados. La aireación también influye directamente en la humedad: un nivel adecuado de oxígeno (alrededor del 10%) es esencial para evitar pérdidas de humedad excesivas o acumulaciones que alteren el proceso. Por ello, es crucial mantener un equilibrio adecuado entre humedad y aireación para garantizar un compostaje eficiente y sin complicaciones (Pérez Pérez et al., 2023).

2.3.2 Temperatura

Las temperaturas óptimas para el proceso de compostaje se encuentran entre 35 y 55 °C, con el propósito de erradicar patógenos, parásitos y semillas de plantas indeseables. Este intervalo de temperatura se registró en nuestro experimento para todos los tratamientos evaluados (Cuadro 2). Temperaturas que superan los 55 °C pueden afectar negativamente la presencia y viabilidad de microorganismos críticos en la elaboración del compost. Por lo tanto, es fundamental destacar que la temperatura se relaciona principalmente con la frecuencia de volteo de los sustratos durante el proceso de compostaje (Álvarez-Sánchez et al., 2021b).

2.3.3 pH

El proceso de compostaje se beneficia de un pH ligeramente alcalino, con valores óptimos que oscilan entre 6.8 y 7.9. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el pH ideal puede variar (Pérez Pérez et al., 2023).

2.3.4 Relación carbono/Nitrógeno

Para un compostaje efectivo, la relación carbono-nitrógeno (C/N) ideal se encuentra entre 25:1 y 30:1, disminuyendo a medida que los microorganismos descomponen la materia orgánica y liberan CO₂. Para ajustar esta relación, se pueden utilizar estiércoles y orinas de animales. Por ejemplo, el estiércol de gallina es rico en carbono, pero ácido, mientras que mezclar purines con paja ayuda a equilibrar la proporción. El estiércol de caballo también puede ser beneficioso para mejorar la relación C/N. Es fundamental mantener un equilibrio: una relación C/N demasiado alta puede resultar en deficiencia de nitrógeno, mientras que una demasiado baja puede causar exceso de nitrógeno, ralentizando el proceso y generando malos olores (Pérez Pérez et al., 2023).

2.3.5 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es determinada por la naturaleza y composición del material, principalmente por la concentración de sales disueltas, mientras que, en menor medida, también se ve afectada por la presencia de iones de amonio y nitrato que se forman durante los procesos de mineralización y nitrificación (Delgado Arroyo et al., 2019b).

2.3.6 Materia orgánica

La materia orgánica es clave para determinar la calidad del compost final. Durante el proceso de compostaje, esta tiende a reducirse debido a su transformación en minerales y a la liberación de carbono como dióxido de carbono, lo que puede representar hasta un 20% de pérdida en la masa total. Esta disminución ocurre en dos fases principales. En la primera, los carbohidratos se descomponen rápidamente: las largas cadenas de carbono se rompen en compuestos más simples, algunos de los cuales se reorganizan para formar moléculas más complejas llamadas compuestos húmicos. En la segunda fase, cuando los materiales más fáciles de degradar ya han sido consumidos, comienza la lenta descomposición de sustancias más resistentes, como las ligninas, que también contribuyen a la formación de compuestos húmicos. Sin embargo, este último proceso suele ser más prolongado y no llega a completarse dentro del tiempo habitual del compostaje (Cisterna et al., 2023).

2.4 Sistemas de compostaje

Para asegurar la proliferación y actividad metabólica de los microorganismos involucrados en el compostaje, es esencial contar con una masa mínima de 50 a 100 kg de sustrato biodegradable. Asimismo, se recomienda la incorporación de una matriz diversificada de insumos, incluyendo materiales lignocelulósicos de origen vegetal, con alta proporción de carbono, y residuos de origen animal, caracterizados por su mayor concentración de nitrógeno, a fin de optimizar la relación C/N y favorecer la eficiencia del proceso biológico (Morgado Guerrero, 2022).

2.4.1 Sistema de compostaje abierto

Estos sistemas se caracterizan por su baja demanda de inversión, ya que el sustrato orgánico es dispuesto en pilas a cielo abierto. No obstante, presentan la limitación de un control restringido sobre las variables operacionales del proceso, como temperatura, humedad y oxigenación, debido a su susceptibilidad a las variaciones ambientales y condiciones meteorológicas (Morgado Guerrero, 2022).

La técnica de sistemas abiertos se aplica cuando hay una gran cantidad y variedad de residuos orgánicos. La gestión del compostaje es importante y hay varios métodos para hacerlo. En el sistema de pilas, se asegura el acceso de oxígeno para los microorganismos aeróbicos, lo que mejora la descomposición del material. Este método consiste en crear montículos de material vegetal sobre una base, lo que permite voltearlo y mezclarlo constantemente para mantener una relación adecuada de carbono a nitrógeno (C:N) de 30:1, controlando la temperatura y la humedad de manera óptima (Chimbo Cabascango, 2023).

2.4.2 Sistema de compostaje cerrado

Los sistemas cerrados son los más utilizados en el compostaje doméstico debido a sus múltiples beneficios. Estos contenedores definen claramente el área de compostaje, resguardan el material de vientos intensos, contribuyen a mantener una temperatura

óptima, permiten un volteo efectivo del compost y previenen la entrada de contaminantes. Asimismo, simplifican el manejo manual del proceso, lo que lo hace más fácil de realizar para cualquier persona (Chimbo Cabascango, 2023).

2.5 Residuos biodegradables

El cultivo de banano y cacao produce habitualmente una gran cantidad de residuos orgánicos, como tallos, seudotallos, hojas y otros materiales vegetales que no son comercializables durante las etapas de cosecha y postcosecha. Estos residuos contribuyen a la contaminación ambiental, favorecen la proliferación de plagas y enfermedades de las plantas, y generan acumulación de desechos en descomposición en el entorno (Cortés López et al., 2023).

2.5.1 Plátano

La agroindustria del plátano presenta una subutilización significativa de biomasa residual, específicamente los pseudotallos post-cosecha y los exocarpios del fruto. La disposición inadecuada de estos residuos orgánicos genera externalidades negativas, incluyendo la contaminación edáfica e hídrica, así como el fomento de nichos ecológicos para el desarrollo de patógenos y vectores de enfermedades, como resultado de la descomposición incontrolada de la materia orgánica (Haro-Velasteguí et al., 2017).

Los residuos de plátano se pueden dividir en varias categorías:

2.5.1.1 Cáscara de plátano

Esta es una de las principales categorías de desechos generados durante el proceso de producción y consumo de la fruta, aunque muchas personas optan por tirarla. Después de consumir el plátano, la cáscara externa, que actúa como su protección, se considera un residuo. Sin embargo, posee múltiples aplicaciones potenciales, como mejorar la calidad del suelo, ser utilizada en compostaje, servir como alimento para animales e incluso en la elaboración de papel (Mondragón García et al., 2018).

2.5.1.2 Tallos y hojas

Las hojas de plátano verde, que a menudo se desechan después de la cosecha de la fruta, tienen diversos usos. Por ejemplo, pueden utilizarse como envoltorios naturales para alimentos, reemplazando plásticos y otros materiales no biodegradables. Además, son una materia prima útil en la producción de papel, fibras textiles y otros productos biodegradables. Finalmente, también pueden aprovecharse como alimento para animales (Marcelo Ángulo et al., 2022).

2.5.2 Cacao

El cacao, un árbol tropical originario de América del Sur y Central, ha sido cultivado y consumido durante miles de años. Se utiliza para producir productos como el cacao en polvo y la manteca de cacao, que es fundamental en la elaboración tanto del chocolate dulce como del amargo. A lo largo de la historia, además de su aplicación en la producción

de chocolate, el cacao ha sido tradicionalmente empleado en la preparación de bebidas, como el chocolate caliente (Marcelo Ángulo et al., 2022).

Los residuos del cacao son subproductos generados durante el procesamiento y la fabricación de chocolate y otros productos derivados de esta planta. Estos incluyen cáscaras, pulpa (mucílago), endocarpio (la capa interna que recubre la semilla de cacao), nueces defectuosas y otros restos no utilizados en la elaboración de productos finales. A pesar de ser comúnmente desecharlos, estos subproductos poseen un considerable potencial en las industrias agrícola y alimentaria. Su utilización no solo es importante para la optimización de recursos y la reducción de residuos, sino que también puede ofrecer beneficios económicos a los productores de cacao y contribuir a una cadena de valor más eficiente (Zavala et al., 2021). La cáscara de cacao, que es el residuo más común y abundante en el proceso de elaboración del cacao, constituye aproximadamente el 70% del peso total del grano y tiene un alto contenido de fibra. Existen diversas maneras de utilizar este subproducto (Aguiñaga Bravo et al., 2020).

3. METODOLOGÍA

La experimentación se realizó en la Hacienda Sagrado Corazón de Jesús, ubicada en la parroquia Bella María, cantón Santa Rosa, propiedad del señor César Reyes Jordán. La investigación, de enfoque experimental, explicativo y comparativo, consistió en la manipulación de variables para analizar y comparar el efecto de diferentes sistemas de compostaje en las propiedades físico-químicas del compost.

Los elementos necesarios para el proceso incluyeron equipos como balanza analítica, termómetro, pH-metro, multiparámetro y tamices de 1 cm, así como materiales como palas, lampas, rastrillos, guantes, sacos, mangueras, carretillas y bandejas de aluminio. Además, se requieren insumos tales como residuos agrícolas de plátano y cacao, estiércol de gallinaza, aserrín, agua potable, fundas de cierre hermético y tanques de plástico para las pilas cerradas.

3.1 Variables de estudio

3.1.1 Variables independientes

Se controlan y manipulan variables independientes para evaluar su impacto en el compostaje y sus propiedades finales. La siguiente tabla detalla estos factores y sus niveles:

Tabla 1

Factores y niveles de estudio

Factores	Niveles
Tipo de residuos agrícolas	Plátano y cacao

Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Variables dependientes

Las variables dependientes reflejan la influencia del compostaje en la calidad del compost, considerando parámetros como temperatura, pH, humedad, materia orgánica, relación Carbono/Nitrógeno y conductividad eléctrica.

3.2 Procedimiento para la elaboración del compost

El proceso de elaboración del compost implica una serie de etapas que transforman los residuos orgánicos en un fertilizante natural, enriqueciendo el suelo con nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas.

3.2.1 Recolección de residuos agrícolas

Los residuos de plátano y cacao se recogen por separado y se trasladan al sitio experimental.

3.2.2 Clasificación de los residuos

Se lleva a cabo una clasificación individual de los residuos de plátano y cacao antes de proceder con su picado.

3.2.3 Picado

Los residuos se pican manualmente con herramientas como machetes para reducir su tamaño. También es posible utilizar una trituradora eléctrica para facilitar el proceso.

3.2.4 Aplicación de las variables de estudio

El compostaje se realiza utilizando dos métodos: abierto y cerrado.

3.2.4.1 Sistema Abierto (pilas con aireación): Los residuos de plátano y cacao se apilan por separado bajo sombra en un área seca. Se emplean compostadoras de 0,8 m de largo, 0,7 m de altura y 0,5 m de ancho, y se cubren con plástico negro para incrementar la temperatura y reducir la pérdida de agua. El compost se volteá 4 veces a la semana, utilizando una mezcla de 80% de residuos agrícolas y 20% de estiércol de gallinaza.

Figura 1.

Sistema de compostaje abierto de residuos de plátano y cacao



Fuente: Elaboración propia

3.2.4.2 Sistema Cerrado (reactor): Se utiliza un tanque plástico horizontal de 50 galones como reactor, con una manivela para facilitar la mezcla. Este sistema también utiliza 80% de residuos agrícolas y 20% de estiércol de gallinaza, y se volteá 4 veces por semana.

Figura 2.

Sistema de compostaje cerrado de residuos de plátano y cacao



Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Mediciones de las variables de control

Las mediciones se realizan semanalmente. La temperatura se mide en distintas distancias y profundidades para obtener resultados homogéneos. El pH y la conductividad eléctrica se determinan utilizando un equipo multiparámetro, disolviendo el sustrato en agua destilada en una proporción de 1:5. Para medir la humedad, se utiliza la técnica de puño cerrado, asegurando que el material esté compacto, pero sin gotear agua, y ajustando su contenido con agua o aserrín según sea necesario.

3.2.6 Tamizado

El compost se tamiza a través de una malla con un diámetro de 1 cm, asegurando que el abono tenga un tamaño homogéneo después de aproximadamente 4 meses de proceso. Los resultados se presentan en el Anexo L.

3.2.7 Envasado

El compost se envasa en fundas de polietileno o sacos plásticos, y se almacena en un ambiente seco y libre de humedad. Posteriormente, se realizan las valoraciones necesarias para determinar el rendimiento del compost.

3.2.8 Método

Durante el proceso de compostaje, se realizan mediciones de pH, humedad y temperatura con un equipo multiparámetro. Las pruebas fisicoquímicas se envían a laboratorios externos para su análisis detallado.

Se utilizó un diseño factorial 2^k con tres repeticiones, y se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significancia del 95%. Para la comparación de medias, se empleó la prueba de Tukey.

4. RESULTADOS

El análisis de humedad, temperatura y pH en función del tiempo implicó la evaluación de cada uno de los tratamientos durante un período de 13 semanas, supervisando su evolución a lo largo de este tiempo.

4.1 Humedad

La humedad es un parámetro clave en la calidad del compost. En la Tabla 2, se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA), los cuales permiten evaluar su influencia en el proceso de compostaje.

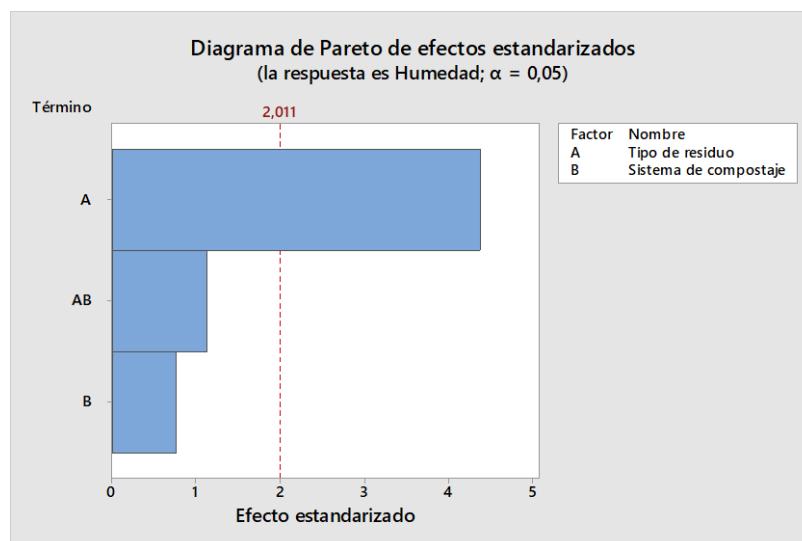
Tabla 2
Análisis de Varianza para la humedad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de residuo	1	2196,35	2196,35	19,11	0,000
Sistema de compostaje	1	66,87	66,87	0,58	0,449
Tipo de residuo*Sistema de compostaje	1	146,19	146,19	1,27	0,265
Error	48	5516,16	114,92		
Total	51	7925,58			

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 2, el p-valor para el tipo de residuo es menor a 0,05; lo que indica que se rechaza la hipótesis nula y se confirma la existencia de una diferencia significativa en función de la humedad. Por esta razón, se procedió a realizar la prueba de comparación de Tukey. En contraste, tanto los sistemas de compostaje como su interacción con el tipo de residuo presentan un p-valor superior a 0,05, lo que implica la aceptación de la hipótesis nula.

En la figura 3 se observa el diseño de Pareto para la humedad, que ilustra de manera clara y concisa la distribución de los diferentes factores que influyen en las variaciones, permitiendo identificar los elementos más significativos que afectan el proceso.

Figura 3.
Diseño de pareto para la humedad


Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Pareto evidencia que el tipo de residuo (A) es el único factor con un impacto significativo en la humedad, ya que su efecto estandarizado excede la línea de referencia (2,011), lo cual se respalda con un p-valor inferior a 0,05, lo que lleva al rechazo de la hipótesis nula. En contraste, el sistema de compostaje (B) y la interacción entre ambos factores (AB) muestran efectos menores que no alcanzan el umbral de significancia, lo que indica p-valores superiores a 0,05, validando la aceptación de la hipótesis nula y confirmando que no influyen de manera significativa en la humedad. Por ello, para mejorar la humedad del compost, es más relevante elegir adecuadamente el tipo de residuo que modificar el sistema de compostaje.

4.2 Temperatura

La temperatura juega un papel fundamental en la calidad del compost. En la Tabla 3, se presentan los resultados del análisis de varianza (ANOVA), que permiten examinar su efecto en el desarrollo del proceso de compostaje.

Tabla 3

Análisis de Varianza para la temperatura

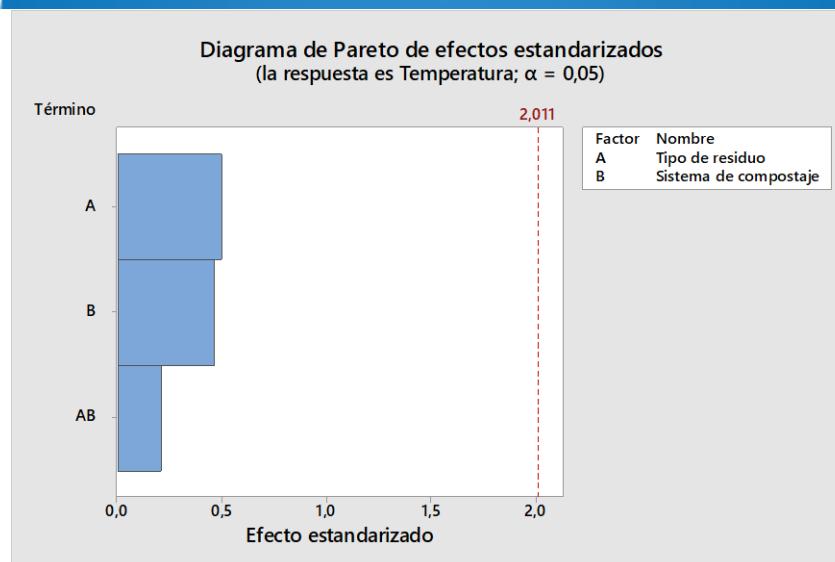
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de residuo	1	1,125	1,1254	0,25	0,618
Sistema de compostaje	1	0,972	0,9722	0,22	0,643
Tipo de residuo*Sistema de compostaje	1	0,191	0,1908	0,04	0,837
Error	48	214,799	4,4750		
Total	51	217,088			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4 se observa el diseño de Pareto para la temperatura, que ilustra de manera clara y concisa la distribución de los diferentes factores que influyen en las variaciones térmicas, permitiendo identificar los elementos más significativos que afectan el proceso.

Figura 4.

Diseño de pareto para la temperatura



Fuente: Elaboración propia

El diagrama de Pareto muestra que ninguno de los factores analizados (tipo de residuo, sistema de compostaje e interacción entre ambos) tiene un efecto significativo sobre la temperatura, ya que todos los efectos estandarizados son menores al umbral de referencia (2,011). Esto indica que sus p-valores son mayores a 0,05, por lo que se acepta la hipótesis nula, concluyendo que ni el tipo de residuo ni el sistema de compostaje influyen significativamente en la temperatura del compost.

4.3 pH

El pH es un parámetro en la calidad del compost. La Tabla 4 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA), los cuales permiten analizar su influencia en el desarrollo del proceso de compostaje.

Tabla 4

Análisis de Varianza para el pH

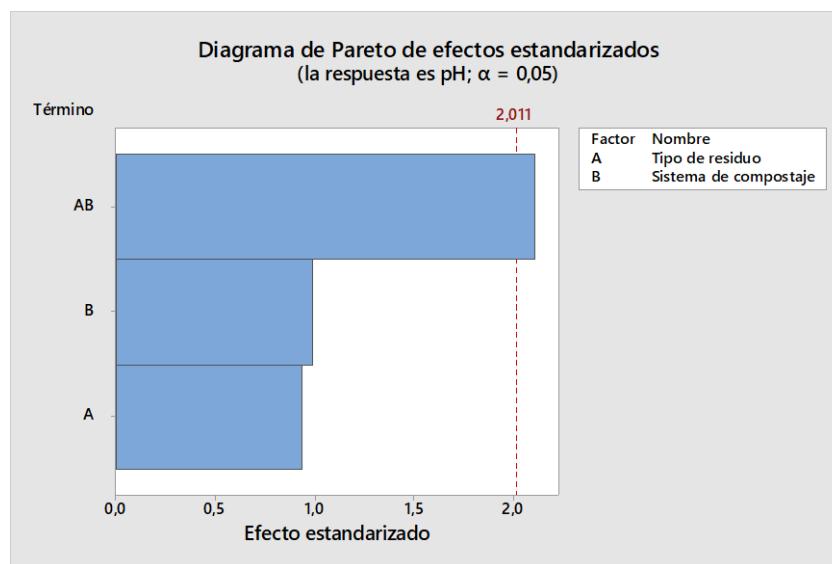
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tipo de residuo	1	0,09139	0,09139	0,88	0,352
Sistema de compostaje	1	0,10173	0,10173	0,98	0,326
Tipo de residuo*Sistema de compostaje	1	0,45797	0,45797	4,43	0,041
Error	48	4,96003	0,10333		
Total	51	5,61112			

Fuente: Elaboración propia

En la figura 5 se observa el diseño de Pareto para el pH, que ilustra de manera clara y concisa la distribución de los diferentes factores que influyen en las variaciones, permitiendo identificar los elementos más significativos que afectan el proceso.

Figura 5.

Diseño de pareto para el pH



Fuente: Elaboración propia

El análisis de Pareto muestra que tanto el tipo de residuo (A) como los sistemas de compostaje (B) son factores significativos que afectan el pH, dado que sus efectos estandarizados superan el umbral de referencia (2,011) y cuentan con p-valores inferiores a 0,05, lo que conlleva al rechazo de la hipótesis nula. Por otro lado, al considerar el tipo de residuo (A) y el sistema de compostaje (B) de manera individual, se observa que sus efectos no alcanzan la significancia estadística, evidenciado por p-valores superiores a 0,05, lo que permite aceptar la hipótesis nula y confirma que estos factores, en forma aislada, no tienen un impacto significativo en el pH.

4.4 Análisis físicos químicos del compost obtenido.

Tabla 5

Resultados fisicoquímicos del compost obtenido

Muestra	pH	Humedad (%)	Conductividad eléctrica (dS/m)	Nitrógeno total (%)	P (%)	K (%)	Carbono orgánico (%)	Materia orgánica (%)	Relación C/N
A1B1	7,6	44,70	3,52	1,37	0,12	0,23	7,65	13,2	5,58
A1B2	7,6	47,00	3,30	1,19	0,13	0,22	8,15	14,06	6,85

A2B1	7,6	49,71	7,32	1,94	0,11	0,43	11,05	19,05	5,70
A2B2	7,6	49,63	7,10	2,07	0,10	0,41	10,81	18,64	5,22

Fuente: Elaboración propia

Los análisis de laboratorio realizados en los tratamientos indicaron que, en términos de pH, todos los tratamientos exhibieron un valor constante de 7.6. Respecto a la humedad, los valores se situaron en un rango de 44.70% a 49.71%. La conductividad eléctrica, expresada en decisiemens por metro (ds/m), varió entre 3.52 y 7.10. El porcentaje de nitrógeno total osciló entre 1.37% y 2.07%, mientras que el porcentaje de fósforo se registró entre 0.10% y 0.12%. Por su parte, el porcentaje de potasio fluctuó entre 0.22% y 0.41%, el contenido de carbono orgánico se situó entre 7.65% y 11.05%, y el porcentaje de materia orgánica varió de 13.2% a 19.05%. Finalmente, la relación calculada entre el porcentaje de carbono orgánico y el porcentaje de nitrógeno total se determinó en un rango de 5.22 a 6.85.

5. DISCUSIÓN

Tanto la falta como el exceso de humedad pueden ser perjudiciales para la obtención de un fertilizante de alta calidad, ya que afectan directamente el proceso de descomposición y la actividad microbiana (Yong Lescano, 2020). Por lo tanto, es fundamental gestionar adecuadamente estos niveles de humedad para optimizar el proceso de compostaje. En este sentido, el incremento de la temperatura actúa como un indicador directo de la efectividad del compostaje y está íntimamente vinculado a la rapidez de las reacciones biológicas que ocurren durante el proceso (Sun et al., 2019). Esta relación entre temperatura y actividad biológica resalta la importancia de mantener condiciones adecuadas para la formación de un compost de calidad.

Conforme a la norma NTE INEN 236:2013, el pH de los fertilizantes orgánicos debe mantenerse entre 6.5 y 8.5. Así, es crucial supervisar y ajustar el pH a lo largo del proceso de compostaje para asegurar la producción de un compost de alta calidad (Díaz-Chuquizuta et al., 2022). De hecho, investigaciones llevadas a cabo por otros autores reportaron un pH final de 5.2 y una temperatura de 30 °C después de 84 días de descomposición. En este estudio, se observaron valores de pH de 7.6 y una temperatura entre 30 y 40 °C en 91 días, lo que indica un impacto en la conductividad eléctrica (Corrales Sillo et al., 2024). Esta evidencia subraya la relevancia de monitorear tanto el pH como la temperatura para garantizar un compostaje efectivo.

Además, se señala que la humedad ideal para el crecimiento microbiano se sitúa entre el 50% y el 70%. En consecuencia, la actividad biológica disminuye significativamente cuando la humedad cae por debajo del 30%. Algunas investigaciones sugieren que la humedad inicial debe estar entre el 50% y el 60% para un proceso adecuado (Corrales Sillo et al., 2024). Por lo tanto, mantener la humedad dentro de estos rangos es esencial para evitar efectos adversos en los procesos fisiológicos de las plantas, como la absorción de agua y nutrientes, así como la fotosíntesis y la transpiración, lo que podría repercutir

negativamente en su desarrollo y crecimiento. Según la Norma Mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2008), la mayoría de los fertilizantes orgánicos tienen un límite máximo de conductividad eléctrica de 4 dS/m. Sin embargo, de los análisis realizados, se observa que los tratamientos A2B1 y A2B2 superan los rangos permitidos (Araos, 2018), lo que destaca la necesidad de ajustar los parámetros de manejo durante el compostaje.

Asimismo, según las pautas establecidas en el Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines para uso agrícola, el contenido total de carbono en el fertilizante orgánico debe estar entre el 10 % y el 20 % (Cedeño-Zambrano et al., 2022). Esta especificación es fundamental, ya que el contenido adecuado de carbono es un indicador clave de la calidad del compost. Por otra parte, el fertilizante orgánico debe tener un contenido de potasio que se encuentre entre el 0.3 % y el 1 %, de acuerdo con las directrices de la norma NTE INEN 235:2013. Del mismo modo, el fertilizante debe tener fósforo en una concentración que varíe entre el 0.1 % y el 1 %, de acuerdo con lo establecido en la norma NTE INEN 233:2013 (Aguirre Forero et al., 2022). Estos nutrientes son vitales para el crecimiento de las plantas y deben ser controlados cuidadosamente durante el proceso de compostaje.

Finalmente, el fertilizante orgánico debe tener un porcentaje de materia orgánica igual o superior al 20 %, conforme a lo indicado en el Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos relacionados de uso agrícola de la FAO. Para determinar la concentración de fósforo en el fertilizante orgánico, se empleó el método gravimétrico (Sigüencia Avila et al., 2020). Esto enfatiza la importancia de seguir estándares específicos para asegurar que el compost obtenido no solo sea eficaz, sino que también cumpla con las normativas internacionales que garantizan su calidad.

5. CONCLUSIONES

El uso de residuos de cacao y plátano, que contienen altos niveles de nitrógeno (4.6% y 3.5%, respectivamente), es esencial para producir compost de calidad. Estos residuos no solo son ideales para compostaje, sino que también se pueden utilizar en biocombustibles, fertilizantes orgánicos, piensos, materiales de construcción y productos farmacéuticos.

El compost obtenido presenta un pH de 7.6, cumpliendo con la norma NTE INEN 236:2013, que establece un rango de 6 a 8. La conductividad eléctrica se mantiene por debajo de 4 ds/m en los tratamientos A1B1 y A1B2, dentro del límite aceptable. El contenido de nitrógeno total varía entre 0.3% y 1.5%, cumpliendo los requisitos de los tratamientos A1B1 y A1B2.

En cuanto al fósforo, todos los tratamientos cumplen con la norma que exige un contenido entre 0.1% y 1%. Los tratamientos A2B1 y A2B2 también cumplen con el rango de potasio requerido (0.3% a 1%). El contenido de carbono en A2B1 y A2B2 está entre el 10% y el 20%, de acuerdo con el Manual Técnico para el Registro y Control de Fertilizantes. Sin embargo, ninguno alcanza el porcentaje de materia orgánica recomendado por la FAO, que es del 20% o más. A pesar de esto, el compost es considerado maduro, ya que su valor es inferior al 13%.

De los cuatro tratamientos (A1B1, A1B2, A2B1 y A2B2), los primeros dos cumplen con los requisitos de nitrógeno, mientras que los últimos dos satisfacen los criterios de carbono. Por lo tanto, todos los tratamientos son apropiados para la elaboración de compost, teniendo en cuenta sus resultados específicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiñaga Bravo, A., Medina Dzul, K., Garruña Hernández, R., Latournerie Moreno, L., & Ruíz Sánchez, E. (2020). Efecto de abonos orgánicos sobre el rendimiento, valor nutritivo y capacidad antioxidante de tomate verde (*Physalis ixocarpa*). *Acta Universitaria Multidisciplinary Journal*, 30. <https://doi.org/http://doi.org/10.15174/au.2020.2475>
- Aguirre Forero, S. E., Piraneque Gambasica, N. V., & Cruz O'Byrne, R. K. (2022). Relación entre nutrientes con carbono, nitrógeno y materia orgánica en suelos de la zona bananera de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 93–112. <https://doi.org/10.22490/21456453.5186>
- Álvarez-Sánchez, A. R., Llerena-Ramos, L. T., & Reyes-Pérez, J. J. (2021a). Effect of sugary substances on organic substrates degradation for compost elaboration. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.916>
- Álvarez-Sánchez, A. R., Llerena-Ramos, L. T., & Reyes-Pérez, J. J. (2021b). Effect of sugary substances on organic substrates degradation for compost elaboration. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V39I0.916>
- Araos, F. (2018). Navigating in open waters: Tensions and agents in marine conservation in the Patagonia of Chile. *Revista de Estudios Sociales*, 2018(64), 27–41. <https://doi.org/10.7440/res64.2018.03>
- Carvalho, A. M., & Casas, L. E. (2022). Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 990–1013. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i4.2641
- Cedeño-Zambrano, J. R., García-Párraga, J. V., Solórzano-Cobeña, C. M., Jiménez-Flores, L. A. J., Ulloa-Cortazar, S. M., López-Mejía, F. X., Avellán-Vásquez, L. E., Bracho-Bravo, B. Y., & Sánchez-Urdaneta, A. B. (2022). Fertilization with magnesium in “barraganete” plantain (*musa aab*) ecuador. *Granja*, 35(1). <https://doi.org/10.17163/LGR.N35.2022.01>
- Chimbo Cabascango, D. E. (2023). Estudio del proceso de compostaje de estiércol con restos vegetales provenientes de la granja experimental ECAA. chrome-extension://efaidnbmnnibpcapcglclefindmkaj/https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ec6d19be-02f2-42d2-9d89-fd44757edcd9/content
- Cisterna, E. A., Paredes, N. C., Marín, M. V., Pacahuala, E. A. R., Gamero, A. R. M., Taype, R. A., & Pimentel, J. I. S. (2023). Compost obtained from organic waste in

the city of Lima, 2022. Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2023-July.
<https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.1023>

Corrales Sillo, E. E., Luna Murillo, R. A., Carrión Benavides, C. D., Quinatoa Lozada, E. F., & Espinoza Coronel, A. L. (2024). Comparación de producción de compost con diferentes formulaciones de residuos de origen vegetal y pecuario. Ciencia y Tecnología, 17(2), 64–72. <https://doi.org/10.18779/cyt.v17i2.803>

Cortés López, Y. M., Alejandra, Y., & Ortegón, C. (2023). Revisión bibliográfica para el establecimiento del potencial de los residuos de plátano y cacao en la generación de empaques biodegradables. Universidad Santo Tomás Seccional Tunja.

Cortés, Y. F., Rodríguez, K. D. S., & Marín, L. A. V. (2020). Environmental impacts from coffee production and to the sustainable use of the waste generated. Producción y Limpia, 15(1), 93–110. <https://doi.org/10.22507/PML.V15N1A7>

Cruz, E., Almaguel, R. E., & Reyes, Z. (2019). Caracterización físico-química y microbiológica del lixiviado generado del compostaje de excreta porcina para su uso como abono orgánico. Revista Computarizada de Producción Porcina, 26. chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ciap.org.ar/Sitio/Archivos/Compost,%20lixiviados,%20residuales%20porcinos.pdf

Delgado Arroyo, M. D. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019a). Assessment of the composting process of poultry manure using different mixtures of substrates. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 35(4), 965–977. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>

Delgado Arroyo, M. D. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019b). Assessment of the composting process of poultry manure using different mixtures of substrates. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 35(4), 965–977. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>

Díaz-Chuquizata, P., Hidalgo-Melendez, E., Cabrejo-Sánchez, C., & Valdés-Rodríguez, O. A. (2022). Response of maize (*Zea mays* L.) to foliar application of liquid organic fertilizers. Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences, 38(2), 144–153. <https://doi.org/10.29393/CHJAA38-14RMPO40014>

Haro-Velasteguí ¹, A. J., Borja-Arévalo ¹¹, A. E., & Triviño-Bloisse ¹¹¹, S. Y. (2017). Análisis sobre el aprovechamiento de los residuos del plátano, como materia prima para la producción de materiales plásticos biodegradables Analysis on the use of banana waste, as raw material for the production of biodegradable plastic materials Análise da utilização da bananeira resíduos como matéria-prima para a produção de plásticos biodegradáveis. 3(2), 506–525. <https://doi.org/10.23857/dom.cien.pocaip.2017.3.2.esp.506-525>

Marcelo Ángulo, N. M., Susanibar Ramírez, E. T., García Cordero, O., & Legua Cárdenas, J. A. (2022). Compostaje de los residuos industriales de tierra de blanqueo para su reciclado como productos fertilizantes. *Revista Alfa*, 6(17), 239–246. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i17.164>

Mondragón García, J. M., Serna Jiménez, J. A., García-Alzate, L. S., & Jaramillo-Echeverry, L. M. (2018). Caracterización fisicoquímica de los subproductos cáscara y vástago del plátano Dominico harton. *Revista ION*, 31(1), 21–24. <https://doi.org/10.18273/revion.v31n1-2018003>

Morgado Guerrero, Y. M. (2022). Elaboración de composta a partir de residuos agroindustriales procedentes de la región de Tlapacoyan, Veracruz. <chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/7558/1/MORGADO%20GUERRERO%20YOMARA%20MICHELL.pdf>

Pérez Pérez, N. L., Linares Nima, L. M., & Huamán, D. P. (2023). Valorización de propiedades fisicoquímicas de residuos sólidos orgánicos alimentarios para la elaboración de compostaje. *Rev.I NST. INVESTIG. FAC. MINAS METAL. CIENC. GEOGR.* <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.24193>

Riera, M. A., Maldonado, S., & Palma, R. (2019). RESIDUOS AGROINDUSTRIALES GENERADOS EN ECUADOR PARA LA ELABORACIÓN DE BIOPLÁSTICOS. *Revista Ingeniería Industrial*, 17(3), 227–246. <https://doi.org/10.22320/S07179103/2018.13>

Rivas Nichorzon, M., & Silva Acuña, R. (2019). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamo de café y bora (*Eichhornia Crassipes*). *Revista Ciencia UNEMI*, 13, 87–100.

Sigüenia Avila, J. M., Delgado Noboa, J. W., Posso Rivera, F. R., & Sánchez Quezada, J. P. (2020). Estimación del potencial de producción de bioetanol para los residuos de la corteza del cacao en Ecuador. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 21(3), 1–20. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num3_art:1429

Sun, Q., Chen, J., Wei, Y., Zhao, Y., Wei, Z., Zhang, H., Gao, X., Wu, J., & Xie, X. (2019). Effect of semi-continuous replacements of compost materials after inoculation on the performance of heat preservation of low temperature composting. *Bioresource Technology*, 279, 50–56. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.090>

Yong Lescano, J. J. (2020). Identificación de macronutrientes, micronutrientes y microorganismos en el bocashi elaborado en base a residuos ruminales. <file:///C:/Users/ASUS/Desktop/ARTICULOS%20PARA%20MENDELEY/T-UTEQ-0290.pdf>

Zavala, C. H., Pretell, V., Verastegui, J., & Ramirez, A. (2021). Estimating producer gas energy potential from gasification of cocoa pod husk and oil palm empty

Conflictos de Intereses: Los autores afirman que no existen conflictos de intereses en este estudio y que se han seguido éticamente los procesos establecidos por esta revista. Además, aseguran que este trabajo no ha sido publicado parcial ni totalmente en ninguna otra revista.