

Use of African Palm Digestate and Banana Peel Digestate as Fertilizer in Agricultural Soils

Melvin Jose Barillas Marroquin, Ing. en Energía¹, Ada S. Rodriguez, Mastér Ing. en Estructuras²
^{1,2}Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, melvinjose@unitec.edu,
ada.rodriguez@unitec.edu.hn

Abstract– The purpose of this study is to address two issues: the search for solutions to the high costs of chemical fertilizers and the proper management of digestate, a by-product of anaerobic digestion that is considered a waste. The main objective of the research is to evaluate the effectiveness of digestate as an agricultural fertilizer through soil pH, water retention and macronutrient content tests to be compared with conventional chemical fertilizers. The research employed both a quantitative approach in pH and macronutrient content tests, where the percentage of nitrogen, phosphorus and potassium was analyzed, and a qualitative approach in the water retention test. The results reveal that African palm digestate presents notable percentages of macronutrients, with 30.18% nitrogen, 13.85% phosphorus and 13.77% potassium, which positions it as a viable alternative to the ternary chemical fertilizers 15-15-15 containing 15% of each of the three essential macronutrients and 12-24-12 containing 12% nitrogen, 24% phosphorus and 12% potassium. In contrast, banana peel digestate and dehydrated banana peel digestate do not exceed 6% in any macronutrient. African palm digestate has the highest macronutrient content, followed by chemical fertilizers, which exceed the content of banana peel digestate and dehydrated banana peel digestate, so it can be concluded that African palm digestate is a good alternative to chemical fertilizers.

Keywords-- Digestate, residue, fertilizer, macronutrients, NPK.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Use of African Palm Digestate and Banana Peel Digestate as Fertilizer in Agricultural Soils

Melvin Jose Barillas Marroquin, Ing. en Energía¹, Ada S. Rodriguez, Mastér Ing. en estructuras²
^{1,2}Facultad de Ingeniería, Universidad Tecnológica Centroamericana, Honduras, ada.rodriguez@unitec.edu.hn

Resumen - Este estudio tiene como propósito abordar dos problemáticas que serían la búsqueda de soluciones ante los elevados costos de los fertilizantes químicos y la adecuada gestión del digestato, un subproducto de la digestión anaeróbica que es considerado un residuo. El objetivo principal de la investigación es evaluar la efectividad del digestato como fertilizante agrícola a través de ensayos de pH en el suelo, retención de agua y contenido de macronutrientes para después ser comparados con fertilizantes químicos convencionales. En la investigación se emplea tanto un enfoque cuantitativo en ensayos de pH y contenido de macronutrientes, donde se analiza el porcentaje de nitrógeno, fósforo y potasio, cualitativo en el ensayo de retención de agua. Los resultados revelan que el digestato de palma africana presenta porcentajes notables de macronutrientes, con un 30.18% de nitrógeno, 13.85% de fósforo y 13.77% de potasio, lo que lo posiciona como una alternativa viable a los fertilizantes químicos ternarios 15-15-15 que contiene 15% de cada uno de los tres macronutrientes esenciales y 12-24-12 que contiene 12% de nitrógeno, 24% de fósforo y 12% de potasio. En contraste, el digestato de cáscaras de plátano y el digestato deshidratado de cáscaras de plátano no superan el 6% en ningún macronutriente. El digestato de palma africana tiene el contenido más alto de macronutrientes, seguido por los fertilizantes químicos, que superan al contenido del digestato de cáscaras de plátano y el digestato deshidratado de cáscaras de plátano por lo cual se puede concluir que el digestato de palma africana si es una buena alternativa ante los fertilizantes químicos.

Palabras Clave- Digestato, residuo, fertilizante, macronutrientes, NPK.

I. INTRODUCCIÓN

El digestato es el resultado que se obtiene después de llevar a cabo un proceso llamado digestión anaeróbica, que es una forma de descomponer la materia orgánica (como residuos de alimentos, estiércol, lodos de aguas residuales, entre otros) en ausencia de oxígeno.

Este proceso se realiza en un entorno controlado, como un biodigestor, donde las bacterias descomponen la materia orgánica y producen biogás (principalmente metano) y un residuo que se llama digestato. En el contexto de la agricultura, los fertilizantes juegan un papel fundamental en el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, los fertilizantes químicos, que contienen nutrientes clave como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, plantean preocupaciones debido a sus efectos negativos en el medio ambiente, como la

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

contaminación del suelo y el agua, además de los costos elevados que afectan la viabilidad económica agrícola. El manejo del digestato también representa un desafío, ya que, al considerarse un residuo, surge la pregunta de qué hacer con él o dónde desecharlo una vez que se ha producido. Se llevará a cabo un estudio para evaluar la calidad del digestato en comparación con los fertilizantes químicos en términos de suministro de nutrientes esenciales para los cultivos. Los macronutrientes del digestato, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, serán analizados mediante ensayos. También se llevarán a cabo ensayos para medir el pH del suelo después de la incorporación de los fertilizantes y el digestato, así como ensayos de retención de agua. Estos resultados se compararán con los obtenidos utilizando fertilizantes químicos en los mismos ensayos. Para finalizar se evaluará la relación costo-beneficio de los diferentes tipos de digestato y los fertilizantes químicos. El objetivo de esta investigación es ofrecer información valiosa tanto a los propietarios de biodigestores como a los agricultores, con el propósito de comprender el potencial del digestato como fuente de nutrientes para los cultivos y convertir este residuo en un recurso práctico. El estudio busca identificar una solución sostenible para la gestión adecuada del digestato como residuo, asegurando que los resultados sean prácticos y aplicables en situaciones reales.

II. MÉTODOS

A. Enfoque y variable

En el enfoque cuantitativo de la investigación, se sigue un proceso sistemático que implica la aplicación de pruebas y experimentos rigurosos, lo cual es esencial para la formulación de preguntas de investigación y objetivos, ya que busca establecer una base teórica sólida que permita prever con precisión los resultados de un proyecto. Este enfoque da prioridad a la recopilación de datos numéricos y a la utilización de técnicas estadísticas para analizarlos, permitiendo no solo comprender el fenómeno de estudio, sino también medirlo y cuantificarlo de manera objetiva. Además, brinda la capacidad de probar hipótesis y relaciones entre variables de manera empírica, lo que conduce a obtener resultados confiables y generalizables, proporcionando así una base sólida para la toma de decisiones informadas y la formulación de conclusiones respaldadas por datos sólidos [1].

El análisis cualitativo, en contraste, se fundamenta en las ideas de pensadores como Max Weber. Es un enfoque inductivo que implica que la recopilación de datos se emplea para afinar las preguntas de investigación o descubrir nuevas interrogantes durante el proceso de interpretación. A

diferencia de la investigación cuantitativa, que se apoya en una hipótesis, la investigación cualitativa generalmente parte de una pregunta de investigación que se formula de acuerdo con la metodología que se pretende emplear [2].

La investigación adopta un enfoque que integra tanto métodos cuantitativos como cualitativos. Desde una perspectiva cuantitativa, se llevan a cabo ensayos para establecer una base teórica. Estos ensayos miden parámetros como el pH, la retención de agua y los niveles de macronutrientes, con el propósito de evaluar la eficacia de estas muestras como fertilizantes. Paralelamente, se emplea un enfoque cualitativo que incluye pruebas visuales destinadas a evaluar la capacidad de retención de agua en las muestras de suelo. Estas pruebas cualitativas permiten una apreciación visual de la interacción de cada muestra de suelo con el agua, teniendo en cuenta indicadores visuales como la velocidad de absorción de agua, la saturación y la retención de humedad. Es importante destacar que este enfoque cualitativo se complementa con análisis cuantitativos, lo que permite obtener una comprensión exhaustiva de las propiedades de retención de agua presentes en cada muestra de suelo.

Las variables independientes incluirían el contenido de macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio), el tipo de fertilizante, el pH y el volumen de agua. La variable dependiente sería el uso de materia orgánica, palma africana y cáscaras de plátano en la elaboración del digestato.

B. Muestra

La población en esta investigación se considera no probabilística debido a que la selección de las muestras de suelo y digestato de palma africana y plátano no sigue un proceso de muestreo aleatorio o probabilístico.

En la investigación se emplearán tres muestras distintas de digestato: digestato de palma africana, digestato de cáscaras de plátano y digestato deshidratado de cáscaras de plátano. Estas muestras se compararán con dos tipos diferentes de fertilizantes químicos, que son el fertilizante 15-15-15 y el 12-24-12. La elección de estos dos fertilizantes químicos se basa en su amplia presencia en el mercado, ya que son dos de los fertilizantes ternarios más comunes y contienen los tres macronutrientes esenciales: nitrógeno, fósforo y potasio. Esta selección se hizo con el propósito de permitir una comparación exhaustiva de los tres tipos de macronutrientes en el estudio [3].

Se llevarán a cabo tres tipos diferentes de ensayos. El primero de ellos será el ensayo de macronutrientes, seguido por el ensayo de pH y el ensayo de retención de fluidos.

TABLA I
MUESTRAS PARA ENSAYO DE MACRONUTRIENTES

Tipo de muestra	Tamaño de muestra	Tipo de ensayo
Digestato de cáscaras de plátano	4 libras	Macronutrientes (% de n, p y k)
Digestato deshidratado de cáscaras de plátano	4 libras	Macronutrientes (% de n, p y k)
Digestato de palma africana	4 libras	Macronutrientes (% de n, p y k)

Para los ensayos de pH y retención de agua, se prepararon seis muestras distintas, cada una con un peso de 5 libras, que incluían los tres tipos de digestato y los dos tipos de fertilizante químico, así como una muestra que consistía únicamente en tierra. Todas las muestras se mezclaron en una proporción de 70% de tierra y 30% de digestato o fertilizante, con la excepción de la muestra de tierra, que consistía en un 100% de tierra. A continuación, se agregaron 100 mL de agua a cada una de las muestras, y se esperó un período de 15 días para permitir la incorporación de todos los fertilizantes y el digestato en el suelo.

C. Procedimiento

Se evaluaron los tres macronutrientes esenciales, que son el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Todos los ensayos de macronutrientes se llevaron a cabo en la FHIA que cuenta con acreditación bajo la Norma ISO/IEC 17025:2005 [4].

La AOAC International, una organización altamente respetada en el ámbito de la evaluación de calidad de productos, ha establecido pautas fundamentales para la evaluación de fertilizantes. En su enfoque exhaustivo hacia la calidad y la seguridad alimentaria, la AOAC enfatiza la necesidad de llevar a cabo ensayos específicos para evaluar la concentración de tres macronutrientes clave: nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en los fertilizantes. Estos tres elementos son esenciales para el crecimiento saludable de las plantas y tienen un impacto directo en la productividad de los cultivos.

La determinación de los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio en los fertilizantes es un proceso crítico para asegurar que estos productos cumplan con los estándares de calidad necesarios para promover un desarrollo vegetal adecuado. La cantidad de cada uno de estos macronutrientes en un fertilizante es un factor clave que influye en la salud de las plantas y, en última instancia, en la calidad y el rendimiento de los cultivos.

Al realizar ensayos específicos para medir los niveles de N, P y K en los fertilizantes, se garantiza que los agricultores y los profesionales de la agricultura tengan información precisa sobre el contenido nutricional de los productos que están aplicando en sus campos. Esto les permite tomar decisiones informadas sobre la cantidad y la composición de los fertilizantes que utilizan, contribuyendo así a un manejo

eficiente de los recursos agrícolas y a la optimización de los rendimientos de cultivos [5].

Para evaluar la concentración de cada uno de los macronutrientes esenciales en los fertilizantes, se llevan a cabo exámenes específicos. El nitrógeno (N) se analiza utilizando el aparato BÜCHI K-355, mientras que el potasio (K) se evalúa mediante Absorción Atómica PerkinElmer AAnalyst 200. Por otro lado, el fósforo (P) se cuantifica utilizando el HACH DR 3900. Estos procedimientos de análisis permiten obtener mediciones precisas de los niveles de N, P y K en los fertilizantes o en este caso sería en el digestato.



Fig.1 BÜCHI K-355

El contenido de nitrógeno (N) en los fertilizantes se determina mediante uno de los métodos ampliamente aceptados conocido como el método Kjeldahl. Este método sigue las pautas establecidas por la normativa establecida AOAC Official Method 984.13, para garantizar mediciones precisas y confiables de nitrógeno en muestras de fertilizantes. El método Kjeldahl es un enfoque confiable y bien establecido para la evaluación del contenido de nitrógeno en fertilizantes, lo que es esencial para asegurar la calidad y la eficacia de estos productos en la agricultura y la horticultura [6].



Fig.2 HACH DR 3900

El contenido de fósforo (P) en los fertilizantes se determina mediante el método de extracción con ácido clorhídrico, un enfoque comúnmente empleado. Este método sigue las pautas establecidas en la norma AOAC Official Method 965.17. El proceso de extracción con ácido clorhídrico permite una medición precisa del fósforo presente en las muestras de fertilizantes, lo que es esencial para garantizar su calidad y capacidad para mejorar la nutrición de las plantas. La norma AOAC Official Method 965.17 proporciona un marco reconocido para llevar a cabo este

análisis de manera precisa y confiable en la evaluación de fertilizantes [7].



Fig.3 Perkin Elmer AAnalyst 200

La determinación del contenido de potasio (K) en el fertilizante se realizó utilizando el método de espectroscopia de absorción atómica, siguiendo las directrices de la norma AOAC 965.09. Este método emplea un equipo especializado conocido como PerkinElmer AAnalyst 200, el cual permite la medición precisa de la concentración de potasio en la muestra. La técnica se basa en la absorción de radiación electromagnética por los átomos de potasio presentes en la muestra, lo que proporciona datos precisos sobre la cantidad de potasio presente en el fertilizante. Este enfoque se ha establecido como un método confiable y ampliamente aceptado para evaluar la calidad del fertilizante y su capacidad para enriquecer la nutrición de las plantas en aplicaciones agrícolas y hortícolas [8].

Una vez que ha transcurrido el proceso de incorporación de los fertilizantes y el digestato, se procede a medir el pH de cada una de las muestras [9].



Fig.4 pH metro

Se utilizó un pH-metro de la marca Boeco, modelo PT-380, para llevar a cabo todas las mediciones necesarias. Se siguieron todas las indicaciones del fabricante para el adecuado uso y mantenimiento del pH-metro. Antes de cada medición, la sonda del pH-metro fue limpiada minuciosamente y calibrada correctamente utilizando soluciones buffer estándar. Además, se cumplió con el método AOAC Method 973.04, el cual es un estándar reconocido para

la medición del pH del suelo, asegurando así la trazabilidad y la precisión de las mediciones realizadas [10].

En el ensayo de retención de agua, se midió la cantidad en mililitros (mL) de agua agregada a cada una de las 6 muestras, registrando el punto en el cual dejaron de absorber más agua. Todo esto siguiendo parámetros dictados en la norma ASTM D2216.



Fig.5 Muestras de digestato, fertilizante y tierra

III. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En esta sección, se presentarán los análisis de resultados relacionados con el porcentaje de macronutrientes, el pH del suelo, la retención de agua y la relación costo-beneficio.

Con los ensayos realizados en la FHIA se obtuvieron los siguientes resultados:

TABLA II
RESULTADOS DE MACRONUTRIENTES DEL DIGESTATO

Tipo de digestato	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
Digestato deshidratado de cascaras de plátano	2.02	0.1	3.8
Digestato de cascaras de plátano	1.62	0.12	5.93
Digestato de palma africana	36.18	13.85	13.77

Se puede observar en la tabla 2 que el digestato de palma africana presenta resultados bastante más altos que los del digestato de cascaras de plátano y el digestato deshidratado de cascaras de plátano.

TABLA III
MACRONUTRIENTES DE FERTILIZANTES QUÍMICOS

Tipo de fertilizante	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)
15-15-15	15	15	15

12-24-12	12	24	12
----------	----	----	----

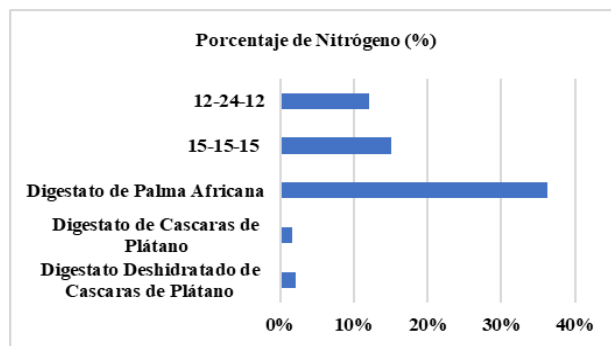


Fig.6 Comparación de porcentaje de nitrógeno

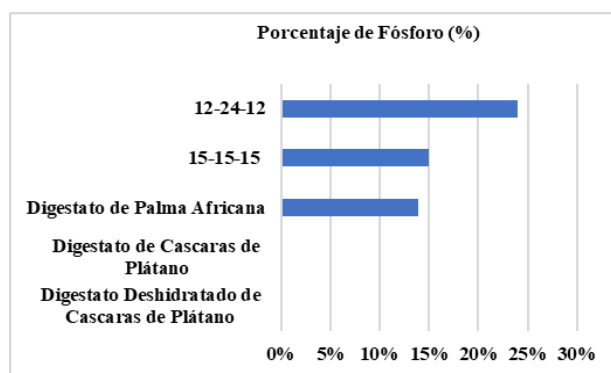


Fig.7 Comparación de porcentaje de fosforo

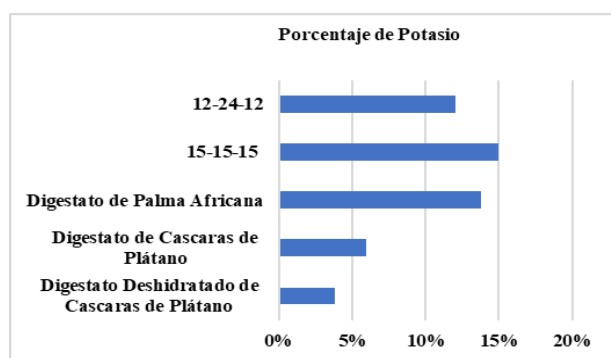


Fig.8 Comparación de porcentaje de potasio

TABLA IV
RESULTADOS DE PH

Tipo de muestra	Ph
Digestato deshidratado de cascaras de plátano	7.3
Digestato de cascaras de plátano	7.2
Digestato de palma africana	6.9

15-15-15	5.58
12-24-12	6.73
Tierra	6.75

Se puede observar en la Tabla 4 que todos los digestatos se mantienen dentro del rango óptimo de pH, es decir, entre 6 y 7.5, con la excepción del 15-15-15, que redujo el pH del suelo en más de 1 unidad y está fuera del rango de un suelo saludable [11].

Resultados de la cantidad de mL que de agua que cada muestra pudo absorber.

TABLA V
RESULTADOS DE RETENCION DE AGUA

Tipo de muestra	Cantidad de agua absorbida (ml)
Digestato deshidratado de cascarras de plátano	150
Digestato de cascarras de plátano	150
Digestato de palma africana	200
15-15-15	50
12-24-12	100
Tierra	150

En la Tabla número 5, podemos observar que el digestato de palma africana tiene una capacidad de retención de agua más alta que la de los otros digestatos y fertilizantes, mientras que el más bajo es el fertilizante 15-15-15.

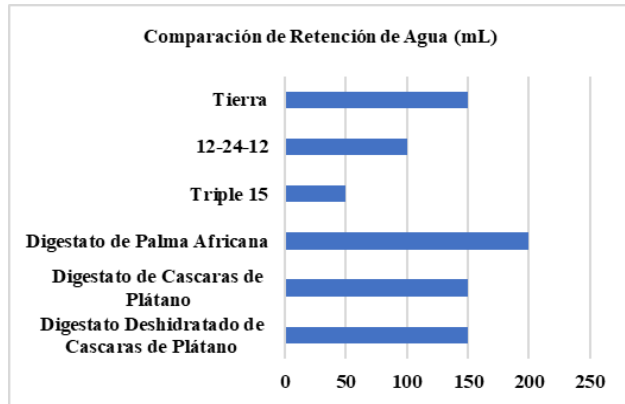


Fig.9 Comparación de retención de agua

TABLA VI
RELACIÓN COSTO-BENEFICIO

Producto	Relación costo beneficio
Digestato deshidratado de cascarras de plátano	0.059392988

Digestato de cascarras de plátano	0.079801151
Digestato de palma africana	1.454018227
15-15-15	0.534903825
12-24-12	0.609137056

En la tabla 6, podemos observar que el digestato de palma africana presenta una relación costo-beneficio que supera el valor de 1, lo que indica que los beneficios son mayores que los costos asociados. Por otro lado, tanto el digestato de cascarras de plátano como el digestato deshidratado de cascarras de plátano muestran valores por debajo de los fertilizantes químicos, lo que sugiere que su uso resulta más rentable en comparación con estos últimos.

IV. CONCLUSIONES

El digestato de cascarras de plátano de la variedad cuerno y el digestato deshidratado de cascarras de plátano de variedad cuerno no presentaron cambios ni se vieron afectados por el proceso de deshidratación. Ambos mantuvieron el mismo pH, siendo 7.2 para el digestato de cascarras de plátano y 7.3 para el digestato deshidratado de cascarras de plátano. En cuanto a la retención de agua, ambos retuvieron exactamente la misma cantidad, que fue de 150 mL. En lo que respecta a los macronutrientes, al igual que en los otros ensayos, no se observó ninguna variación. Esto confirma que el digestato no se ve afectado por el proceso de deshidratación.

Se ha comprobado la presencia de macronutrientes en el digestato de cascarras de plátano cuerno, el digestato deshidratado de cascarras de plátano cuerno y el digestato de palma africana compact x nigería. En cuanto a los porcentajes de macronutrientes, se observa que tanto el digestato de cascarras de plátano como el digestato deshidratado de cascarras de plátano presentan un contenido bajo de macronutrientes, con un contenido de fósforo despreciable y niveles de nitrógeno y potasio por debajo del 6%. En contraste, el digestato de palma africana exhibe un alto contenido de macronutrientes, incluyendo los tres macronutrientes esenciales, lo que lo califica como un fertilizante ternario, con un 36.18% de nitrógeno, 13.85% de fósforo y 13.77% de potasio.

Para llevar a cabo la comparativa con los digestatos, se seleccionaron los fertilizantes químicos 15-15-15 y 12-24-12 de la distribuidora Fertico, ya que son los fertilizantes químicos ternarios más utilizados en Honduras. Además, estos son los fertilizantes ternarios que presentan el contenido de macronutrientes más balanceado y más alto en el mercado. Para el tipo de fertilizante, se optó por fertilizantes ternarios porque se buscaba realizar una comparación de los tres macronutrientes esenciales para las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio. Este tipo de fertilizante es el único que tiene presencia de estos tres macronutrientes.

Los resultados del análisis revelaron que todas las muestras de suelo tratadas con digestato y fertilizantes químicos mantuvieron un pH dentro del rango saludable de 6 a 7.5, con la excepción de la muestra que recibió el fertilizante 15-15-15, la cual experimentó una disminución significativa en su pH, cayendo a 5.58. Este resultado indica un impacto negativo en la acidez del suelo cuando se utiliza el fertilizante 15-15-15. En cuanto a la retención de agua, se encontró que las muestras de digestato de cáscara de plátano, digestato deshidratado de cáscaras de plátano y suelo sin tratar retuvieron un total de 150 mL de agua lo que significa que este no se vio afectado ni de manera positiva ni negativa con las dos muestras que eran de cascara de plátano. Por otro lado, el fertilizante 15-15-15 retuvo solo 50 mL de agua, mientras que el 12-24-12 retuvo 100 mL. La muestra tratada con digestato de palma africana logró retener la mayor cantidad de agua, alcanzando los 200 mL.

El porcentaje de macronutrientes en el digestato de cáscaras de plátano y el digestato deshidratado de cáscaras de plátano es considerablemente bajo en comparación con los porcentajes encontrados en los fertilizantes químicos y el digestato de palma africana. Por otro lado, el digestato de palma africana muestra un equilibrio notable en su contenido de macronutrientes, similar a los fertilizantes químicos, especialmente en fósforo y potasio. Su cantidad de potasio se asemeja a la de los fertilizantes químicos, y su contenido de fósforo se iguala al del fertilizante 15-15-15 (13.77% en comparación con el 15%). Sin embargo, supera significativamente a ambos en contenido de nitrógeno, con un impresionante 36.18%. En relación al pH, todas las muestras mantienen un nivel saludable dentro del rango de 6 a 7.5, característico de un suelo agrícola saludable, excepto el suelo tratado con el fertilizante 15-15-15, que exhibe un pH bajo y no óptimo de 5.58. En cuanto a la retención de agua, los fertilizantes químicos resultaron ser menos efectivos, siendo el 15-15-15 el que retuvo menos agua, seguido del 12-24-12. Tanto el digestato de cáscaras de plátano como el digestato deshidratado de cáscaras de plátano retuvieron la misma cantidad de agua que la tierra sin tratar. Por otro lado, el digestato de palma africana mostró una mejora significativa en la retención de agua, siendo la muestra que retuvo la mayor cantidad de mL de agua. El digestato de palma africana se erige como una alternativa viable a los fertilizantes químicos, superándolos en varios aspectos. En contraste, el digestato de cáscaras de plátano y el digestato deshidratado de cáscaras de plátano no representan buenas alternativas a los fertilizantes químicos debido a su bajo contenido de macronutrientes, lo que limitaría la provisión de nutrientes necesarios para el crecimiento saludable de las plantas y una producción de cultivos óptima.

El digestato de cáscaras de plátano, tanto la versión deshidratada como la regular, resulta poco rentable debido a su bajo valor nutricional. Los costos de aplicación y almacenamiento superan con creces los beneficios, con relaciones costo-beneficio por debajo del 0.1. En contraste, el digestato de palma africana es altamente rentable, con una

relación costo-beneficio de 0.91, superando a los fertilizantes químicos que tienen relaciones de 0.53 y 0.61. Desde una perspectiva económica, el digestato de palma africana es la mejor opción debido a su mayor retorno de inversión.

REFERENCIAS

- [1] Sampieri, R. H. (2014). Metodología de la investigación 6 edición. In R. H. Sampieri, DEFINICIONES DE LOS ENFOQUES (p. 4). Mexico . Retrieved from google scholar : https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58257558/Definiciones_de_los_enfoques_cuantitativo_y_cualitativo_sus_similitudes_y_diferencias.pdf
- [2] Hernández, R., Méndez, S. y Mendoza, C. (2014). Capítulo 1. En Metodología de la investigación, página web de Online Learning Center. Consultado en la red mundial el 29 de abril de 2015 <https://goo.gl/wDW6Ce>
- [3] Arévalo, G., Castellano, M. 2009. Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 57p
- [4] FHIA, (2010). A LA VANGUARDIA EN EL SUMINISTRO DE SERVICIOS AGRICOLAS.
- [5] MAFF Public Notice: Prescribing for the quality labeling standards of special fertilizers, MAFF Public Notice No. 1163 of August 31, 2000, MAFF Public Notice No. 397 (2020) of February 28, 2020, as amended.
- [6] AOAC. 1990, Official Methods of Analysis, (15th ed.), Assoc. Offic. Anal. Chem., Arlington, VA (1990)
- [7] AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC international. 16ª Ed. Volume I. Method 965.17. AOAC International, Virginia, USA
- [8] AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC international. 16ª Ed. Volume I. Method 965.09. AOAC International, Virginia, USA
- [9] World Fertilizer use Manual, 1992, IFA, Paris, 632p. Página Web <http://www.fertilizer.org>, también disponible en versión CD
- [10] AOAC. 1995. Official methods of analysis of AOAC international. 16ª Ed. Volume I. Method 973.04. AOAC International, Virginia, USA
- [11] Segunda edición: Noviembre 2006, publicada por: Proyecto SICA - Zamorano - República de Taiwán, Proyecto de Fortalecimiento e Integración de la Educación Media a los Procesos de Desarrollo Rural Sostenible y Combate a la Pobreza en América Central, financiado por la República de China - Taiwán y ejecutado por la Carrera de Desarrollo Socioeconómico y Ambiente (OSEA) de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano.
- [12] Arévalo, G., Castellano, M. 2009. Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria. Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 57p
- [13] Works, E. (2019). Funcionamiento del tornillo deshidratador de fangos. Recuperado el 18 de agosto de 2023, de <https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/funcionamiento-del-tornillo-deshidratador-de-fangos>
- [14] Exposición de equipos antiguos: pHmetro. (2023). Portal de Aragon. Recuperado el 8 de septiembre de 2023, de <https://www.aragon.es/-/laboratorio-agroambiental-equipos-antiguos-phmetro>