

**Efecto de aplicación de materia orgánica como agente de recuperación de algunas propiedades químicas en suelos cultivados con palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq**

Jimmy Pineda Toro

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Medio Ambiente ECAPMA

Programa de Agronomía

Cúcuta

2024

**Efecto de aplicación de materia orgánica como agente de recuperación de algunas propiedades químicas en suelos cultivados con palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq**

Jimmy Pineda Toro

Trabajo de Grado Presentado Como Requisito Para Optar al Título de Agrónomo

Asesora:

María del Pilar Calderón

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y Medio Ambiente ECAPMA

Programa de Agronomía

Cúcuta

2024

**Página de aceptación**

---

María del Pilar Calderón

Directora Trabajo de Grado

---

Efraín Francisco Visconti Moreno

Jurado

**Cúcuta**

**2024**

**Dedicatoria**

A Dios, mi guía, mi luz y mi fortaleza, A mi esposa y mis hijos por su amor, constancia comprensión y apoyo incondicional, quienes son mi tesoro y por quienes constantemente lucho por darles lo mejor. A mi Familia y amigos.

**Agradecimientos**

Especialmente a los docentes por su gran apoyo. Empresa PALMIAGRO DEL NORTE S.A.S  
por permitirme ejecutar este proyecto.

### Resumen

La palma de aceite es un cultivo de alta importancia en Colombia, ya que según (Fedepalma, 2023), Colombia supera las 520.000 has. sembradas. Además, hoy día se presenta un aumento significativo comparado con años anteriores. Sin embargo, la palma de aceite se señala como un cultivo generador de degradación ambiental (Munévar, 1998), dado que algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo se ven afectadas en el desarrollo de este cultivo. Por ello, el presente trabajo, aborda el estudio del efecto de aplicación de materia orgánica como agente de recuperación de algunas propiedades químicas en suelos cultivados con palma de *aceite Elaeis guineensis Jacq* en predios de PALMIAGRO, finca Villa Teresa ubicada en el corregimiento de La Petrolea en el municipio de Tibú-Norte de Santander. En concreto se evaluaron algunas propiedades químicas del suelo testigo para conocer sus condiciones iniciales como punto de referencia, también se midieron en el suelo de cada tratamiento las siguientes propiedades: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva, Carbono Orgánico Oxidable. Los tratamientos evaluados consistieron en la aplicación de tres fuentes de materia orgánica (gallinaza, bovinaza y compost de residuos de cosecha de palma-raquis) cada cuatro meses. Este estudio es una investigación de tipo descriptiva y experimental con un enfoque cuantitativo, basado en un diseño de experimentos en bloques al azar, donde la unidad experimental fue estructurada con cuatro tratamientos y cinco repeticiones con un suelo testigo tratado convencionalmente con fertilización química. Se pudo observar que se incrementaron los niveles de pH y CICE aplicando gallinaza respecto al suelo testigo y el uso de bovinaza y raquis de palma y que el carbono orgánico oxidable presentó altas diferencias significativas con respecto a la variable la condición inicial del suelo y entre los diferentes tratamientos.

**Palabras clave:** Gallinaza, Bovinaza, compostaje, fertilización, Palma de aceite.

### Abstract

Oil palm is a highly important crop in Colombia, (Fedepalma, 2023), exceeding a cultivated area up of 520,000 hectares. Furthermore, there is a significant increase compared to previous years, However, oil palm is noted as a crop that generates environmental degradation (Múnevar, 1998), given that some physical, chemical and biological properties of the soil are affected in the development of this crop. Therefore, this work aims the study of the effect of adding organic matter as an agent for the recovery of some chemical properties in soils cultivated with oil palm *Elaeis guineensis* Jacq. The study was conducted at PALMIAGRO lands, in a farm called Villa Teresa located in the district of La Petrolea municipality of Tibú-Norte de Santander. The chemical properties of the soil were evaluated to know its initial conditions as a reference point. The following properties were measured in the soil of each treatment: pH, Effective Cationic Exchange Capacity, and Oxidizable Organic Carbon. The experiment consisted in treatments with application of three sources of organic matter (poultry manure, bovine manure and palm-rachis harvest residue compost) every four months. This study is a descriptive and experimental investigation with a quantitative approach, based on a design of experiments in randomized blocks, where the experimental unit was structured with four treatments and five repetitions with a control soil of conventionally treated with chemical fertilization. It was observed that the pH and CICE levels were increased by applying poultry manure compared to the control soil and the use of bovine manure and palm rachis and that the oxidizable organic carbon presented high significant differences with respect to the initial soil condition variable and between the different treatments.

**Keywords:** Poultry manure, cattle manure, composting, fertilization, oil palm.

**Tabla de Contenido**

|                                      | <b>Pág.</b> |
|--------------------------------------|-------------|
| Introducción .....                   | 14          |
| Problema .....                       | 17          |
| Descripción del Problema .....       | 17          |
| Planteamiento del Problema.....      | 19          |
| Sistematización del Problema .....   | 19          |
| Justificación .....                  | 21          |
| Objetivos.....                       | 24          |
| Objetivo General .....               | 24          |
| Objetivos Específicos.....           | 24          |
| Marco Referencial.....               | 25          |
| Antecedentes .....                   | 25          |
| Contexto Internacional .....         | 25          |
| Contexto Nacional.....               | 28          |
| Marco Conceptual .....               | 30          |
| Sector Primario.....                 | 30          |
| Sector Agrícola.....                 | 30          |
| Agricultura.....                     | 31          |
| Cultivo.....                         | 31          |
| La Palma de Aceite.....              | 31          |
| Suelo.....                           | 32          |
| Propiedades Químicas del Suelo ..... | 32          |

|   |    |
|---|----|
| Degradación del Suelo.....  | 33 |
| Fertilización.....  | 34 |
| Suelo y la Degradación por Fertilización Química .....                              | 35 |
| Materia Orgánica.....   | 36 |
| Materias Orgánicas Compostadas .....  | 36 |
| Marco Metodológico.....   | 38 |
| Metodología .....   | 38 |
| Unidad Experimental .....   | 38 |
| Análisis Estadístico .....  | 40 |
| Factores de Estudio.....  | 41 |
| Tratamientos .....  | 41 |
| Fases del Experimento .....   | 41 |
| Marcación de las Plantas .....  | 42 |
| Aplicación de Materias Orgánicas.....   | 43 |
| Toma de Muestras .....  | 43 |
| Aplicaciones 1-2 y 3.....   | 45 |
| Análisis de Resultados .....  | 46 |
| Características Químicas del Suelo (Grupo Testigo).....                             | 46 |
| Efecto de la Aplicación de Tres Tipos de Materia Orgánica sobre las Características |    |
| Químicas del Suelo .....  | 52 |
| Efecto de la Cantidad de Aplicaciones de Compostaje de Bovinaza Sobre las           |    |
| Características Químicas del Suelo.....   | 63 |

|  |    |
|--|----|
| Efecto de la Cantidad de Aplicaciones de Compostaje de Gallinaza Sobre las<br>Características Químicas del Suelo .....       | 72 |
| Efecto de la Cantidad de Aplicaciones de Compostaje de Raquis de Palma sobre las<br>Características Químicas del Suelo ..... | 78 |
| Discusión de Resultados .....  | 86 |
| Conclusiones .....   | 88 |
| Recomendaciones .....  | 90 |
| Referencias Bibliográficas .....   | 91 |

## Lista de Tablas

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| <b>Tabla 1</b> <i>Propiedades químicas pH</i> .....  | 47          |
| <b>Tabla 2</b> <i>Propiedades químicas carbono orgánico oxidable (COOx)</i> .....                            | 48          |
| <b>Tabla 3</b> <i>Nivel de potasio y acidez intercambiable en suelo</i> .....                                | 49          |
| <b>Tabla 4</b> <i>Contenido de fósforo (P) y azufre (S) en suelo</i> .....                                   | 50          |
| <b>Tabla 5</b> <i>Nivel de saturación en el suelo</i> .....  | 51          |
| <b>Tabla 6</b> <i>Relación de magnesio potasio y calcio-magnesio-potasio en suelo palmicultor</i> .....      | 52          |
| <b>Tabla 7</b> <i>Efecto de la aplicación de materia orgánica compostada sobre el pH</i> .....               | 54          |
| <b>Tabla 8</b> <i>Efecto de la aplicación de materia orgánica compostada sobre el carbono</i> .....          | 56          |
| <b>Tabla 9</b> <i>Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre el nivel de potasio</i> .....            | 58          |
| <b>Tabla 10</b> <i>Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre el contenido de fósforo</i> .....       | 59          |
| <b>Tabla 11</b> <i>Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre el nivel de saturación</i> .....        | 61          |
| <b>Tabla 12</b> <i>Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre la relación de calcio</i> .....         | 63          |
| <b>Tabla 13</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de bovinaza sobre el pH</i> .....                            | 65          |
| <b>Tabla 14</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de bovinaza nivel de potasio</i> .....                       | 67          |
| <b>Tabla 15</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de bovinaza sobre el fósforo</i> .....                       | 68          |
| <b>Tabla 16</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de bovinaza sobre el nivel de magnesio</i> .....             | 69          |
| <b>Tabla 17</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de bovinaza sobre la relación de calcio magnesio</i> .....   | 71          |
| <b>Tabla 18</b> <i>Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre el pH</i> .....     | 73          |
| <b>Tabla 19</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de gallinaza sobre el nivel de potasi</i> .....              | 75          |
| <b>Tabla 20</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de gallinaza sobre el contenido de fósforo (P)</i> .....     | 76          |
| <b>Tabla 21</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de gallinaza sobre el nivel de saturación de (mg),</i> ..... | 77          |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 22</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de gallinaza sobre la relación de calcio magnesio .....</i> | 78 |
| <b>Tabla 23</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de raquis de palma sobre el pH .....</i>                    | 80 |
| <b>Tabla 24</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de raquis de palma sobre el nivel de potasio .....</i>      | 82 |
| <b>Tabla 25</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de raquis de palma sobre el contenido de fosforo .....</i>  | 83 |
| <b>Tabla 26</b> <i>Efecto de aplicar compostaje de raquis de palma sobre el nivel de saturación mg.....</i> | 84 |
| <b>Tabla 27</b> <i>Efecto de aplicar u compostaje de raquis de palma sobre la relación de calcio .....</i>  | 85 |

**Lista de Figuras**

|   | <b>Pág.</b> |
|---|-------------|
| <b>Figura 1</b> <i>Propiedades químicas del suelo</i> .....                                       | 33          |
| <b>Figura 2</b> <i>Esquema del diseño del experimento en bloques al azar</i> .....                | 39          |
| <b>Figura 3</b> <i>Georreferenciación de la zona</i> .....  | 42          |
| <b>Figura 4</b> <i>Marcación de las plantas para la aplicación de materias orgánicas</i> .....    | 42          |
| <b>Figura 5</b> <i>Aplicación de materias orgánicas en los suelos de la zona de estudio</i> ..... | 43          |
| <b>Figura 6</b> <i>Toma de Muestras</i> .....   | 44          |
| <b>Figura 7</b> <i>Empacado de las muestras de suelos para enviar al laboratorio</i> .....        | 45          |

## Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (*Food and Agriculture Organization*, en inglés) [FAO] (2018), el suelo es un recurso finito, lo que significa que su pérdida y degradación no es recuperable en el transcurso de una vida humana. Los suelos afectan a los alimentos que comemos, al agua que bebemos, al aire que respiramos, a nuestra salud y la de todos los organismos del planeta. Sin suelos sanos no podríamos producir nuestros alimentos. De hecho, se calcula que el 95% de nuestros alimentos se producen directa o indirectamente en los suelos.

El incremento que ha tenido a nivel mundial la demanda de aceites vegetales según Salgado et al. (2023), en Colombia “se estima que el consumo per cápita en el país es de 40 Kg anuales de aceites vegetales, representados en los diferentes productos que utilizan el aceite vegetal como materia prima” (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022, p.5). Esta información evidencia la alta demanda de este producto a nivel nacional. Sin embargo, su producción tiene inmersas una serie de impactos ambientales que atentan contra la sostenibilidad de los cultivos.

La producción de aceite de palma ha mostrado cifras ascendentes, para enero de 2023 se alcanzó una cifra histórica de 168,900 toneladas. (Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite en Colombia [Fedepalma], 2023). Identificándose que este producto tiene una alta demanda a nivel nacional. Es importante resaltar que, aunque el 99% de los cultivos de palma de aceite en Colombia se encuentran libres de deforestación, según Fedepalma (2023), existen las practicas asociadas al cultivo de palma que requieren de ciertas condiciones que pueden afectar la calidad del suelo donde se siembre y en consecuencia afectar la productividad del mismo, generándose entonces una problemática de índole económico, social y ambiental.

Frente a ello, Salgado et al. (2023) citan que los cultivos de palma tienen inmersos problemas como desplazamientos de sistemas pecuarios, a la deforestación y la destrucción del hábitat, por ello, es necesario que para esta práctica agrícola se implemente alternativas que mitiguen este tipo de problemáticas.

El cultivo de la palma de aceite o palma africana (*Elaeis guineensis Jacq*) es de carácter perenne con una vida productiva de 25 años, en los cuales extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo, requiere de terrenos con buenas condiciones topográficas y agroecológicas para su normal crecimiento, desarrollo y productividad (Fedepalma, 2023). Lo cual demuestra la necesidad de que estas prácticas se lleven a cabo teniendo en consideración los factores que puedan favorecer a esta actividad.

Lo descrito en el párrafo anterior se sustenta en el hecho de que la rentabilidad de este cultivo depende de un buen manejo nutricional que consta de la aplicación de grandes cantidades de fertilizantes; de allí, que, su uso irracional, conlleva el empobrecimiento gradual o acelerado que trae como consecuencias la baja fertilidad e improductividad de los suelos por la salinización, solidificación, compactación y contaminación química (Martínez, 2011).

Todo ello, genera la degradación del suelo, un recurso renovable indispensable para la obtención de los alimentos necesarios para el sustento de los seres humanos, por ello, cuando sucede se considera como un problema complejo y global (Gómez, 2019). Esta degradación puede ser el resultado de la disminución de materia orgánica del suelo y su actividad biológica, la destrucción de la estructura del suelo, la formación de costras, la disminución de la fertilidad y cambios en la acidez del suelo (Lahmar & Ruellan, 2007). En general, las características químicas del suelo pueden ser degradadas por efectos naturales o factores humanos, particularmente por malas prácticas agrícolas.

El manejo de los suelos y de la nutrición del cultivo no han recibido la atención que requieren como elementos de alta incidencia en la productividad y la sostenibilidad en el cultivo de la palma de aceite. Mediante estudios realizados por Calderón (2016), los suelos en predios de los palmicultores pertenecientes a ASOPALTIBÚ (Tibú-Norte de Santander) presentan un impacto ambiental negativo Alto - Severo. Por lo anterior es urgente realizar estudios en donde se evalúe la factibilidad de aplicación de estrategias que puedan mitigar esta problemática, entre ellas, el uso de materia orgánica como agente de recuperación de las propiedades químicas, disminución de los niveles de acidez y aumento de la fertilidad del suelo.

La presente investigación se llevó a cabo en predios de la finca Villa Teresa (Tibú-Departamento Norte De Santander), este trabajo fue importante ya que determinó si la aplicación de fuentes orgánicas como: gallinaza, Bovinaza y residuo compostado de palma, tienen una incidencia significativa en la recuperación de las propiedades químicas del suelo (CO<sub>2</sub>, pH y CICE).

## **Problema**

### **Descripción del Problema**

Desde la época pre-revolución industrial, la siembra y cultivo de productos de origen agrícola ha cobrado gran importancia para el sustento y desarrollo de las naciones, el sector agropecuario representa una alternativa de gran importancia para el fortalecimiento de la economía de cualquier nación, a través del mismo se obtienen las materias primas y los alimentos necesarios por las poblaciones para cubrir sus necesidades básicas (Rodríguez et al., 2015).

En relación a las condiciones de todo el territorio colombiano para la obtención de productos del área agrícola, Córdova et al. (2017) explican que en Colombia se cuenta con una serie de cualidades que le permiten la obtención de productos de alta calidad, sin embargo, este sector no cuenta con las oportunidades requeridas para lograr una incidencia significativa en el desarrollo económico del país, de allí la premisa de que las actividades del sector agrícola no son explotadas de forma oportuna, que le permitan al país incrementar la obtención de beneficios por la producción agrícola.

En Colombia el sector agrícola no es usado como estrategia para la estabilidad de las condiciones económicas del país, sus principales ingresos son producto de las exportaciones de petróleo, la minería y el turismo (Cruz, 2017). En este sentido el potencial de los agronegocios no está siendo aprovechado por el país, dando paso a la generación de dificultades para quienes deciden dedicarse a las actividades agrícolas. La FAO (2022) manifiesta que los países que han logrado combatir la pobreza y tener crecimiento económico son aquellos donde se ha fortalecido la producción agrícola, lo cual, se debe a la importancia del sector para la obtención de productos

que garantizan la supervivencia del ser humano, de allí, que los productos obtenidos por estas actividades siempre tienen una alta demanda a nivel mundial.

Lo descrito anteriormente es evidencia de la necesidad de que este sector sea impulsado y que se mitiguen las afectaciones y las barreras que puedan estar frenando el crecimiento del mismo. Una de las principales afectaciones de los agronegocios en Colombia es la deforestación:

En cifras, durante el primer trimestre del año 2021 se deforestaron 45.500 ha, mientras que durante el mismo periodo del 2022 la cifra fue de 50.400 ha. Frente al segundo trimestre, que corresponde a la primera temporada de lluvias en el país, en el 2021, 1.580 ha fueron deforestadas, mientras que en 2022 la cifra ascendió a 2.060. Meta, Caquetá, Guaviare, Putumayo, Norte de Santander y Antioquia son los seis departamentos más afectados (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2023, p. 6).

Esta realidad no solo afecta a los habitantes de las zonas deforestadas sino a la población en general, evidencia de ello es la problemática actual del cambio climático, cuyas afectaciones van desde la disminución del suministro de agua y alimentación hasta la desaparición de diversidad de especies. Entonces es innegable la necesidad de búsqueda de agronegocios sostenibles que además de preservar las condiciones ambientales sean herramientas para generar empleo, combatir el hambre, la pobreza, entre otros aspectos que están inmersos en los objetivos del Desarrollo Sostenible.

En este sentido, se evidencia que ante la actual crisis ambiental es necesario que se establezcan alternativas más amigables con el ambiente, donde se asegure una producción sostenible, es decir, se usen adecuadamente los recursos naturales renovables para la obtención de diferentes bienes y servicios, lo que permita mitigar las afectaciones por la acción del hombre. Sin embargo, el actual crecimiento poblacional y la era de la globalización han generado incrementos en las demandas de algunos bienes y servicios, que generan la necesidad de incrementar la producción.

El cultivo de palma de aceite ha sido señalado por generar pérdida de capacidad agrícola y ser degradador de suelos, dado que en estudios realizados anteriormente se ha detectado que las condiciones del suelo son alteradas presentándose pérdida de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Lo anterior se genera debido a la ausencia de estudios preliminares que permitan conocer la capacidad de uso del suelo mediante análisis de caracterización que permitan conocer la calidad del mismo, (Paramanathan, 2004).

Munevar (1998), estudio las principales características de los suelos cultivados en palma de aceite en Colombia y señaló que los problemas más relevantes que presentaban dichos suelos eran la alta compactación y la lenta conductividad hidráulica, la baja capacidad de intercambio catiónico y los bajos niveles de disponibilidad de nutrientes, principalmente N, K, Mg, B y P.

### **Planteamiento del Problema**

¿Cómo contribuye la aplicación de materia orgánica al mejoramiento de las propiedades químicas de un suelo bajo uso de cultivo de palma de aceite en el municipio Tibú, Norte de Santander?

### **Sistematización del Problema**

La productividad y la rentabilidad del cultivo de aceite de palma depende de las propiedades nutricionales del suelo donde se siembre, por ello, es necesario que este recurso natural renovable cuente con las condiciones químicas, físicas y biológicas de forma adecuada sin sufrir ningún tipo de degradación, siendo entonces necesario que se adapten estrategias agrícolas que puedan mitigar las afectaciones que este pueda sufrir, ya que, esto es un factor determinante para la productividad y sostenibilidad.

Es por ello, que se deben prevenir prácticas agrícolas inadecuadas que degraden las propiedades del recurso natural y en consecuencia afecten la sostenibilidad, de allí, que en este

estudio se hará un análisis de las propiedades del suelo de un cultivo de palma de aceite donde se medirán las propiedades químicas, luego se hará el enriquecimiento del mismo con materia orgánica como agente de recuperación de las propiedades químicas, disminución de los niveles de acidez y aumento de la fertilidad del suelo y se harán los análisis correspondientes para validar la efectividad del procedimiento como estrategia agrícola para la solución de la problemática identificada.

### **Justificación**

Desde el inicio el cultivo de palma de aceite en la región del Catatumbo en el año 2003; se ha venido consolidando como unas de las zonas palmeras más importantes a nivel nacional, esto debido a las condiciones agroecológicas, que favorecen un excelente desarrollo de las plantas, por lo tanto, esta apuesta por la agroindustria de la palma se fortalece al pasar del tiempo. Actualmente se estima que hay establecidas unas 28.000 hectáreas. Según Fedepalma (2023) hay entre 1.200 medianos y pequeños productores que se están beneficiando directamente, y se estima un promedio de empleos entre directos e indirectos de 7.000, convirtiéndose así en el rublo económico más importante en el sector agrícola de la región, por tanto, es necesario desarrollar estudios encaminados en mejorar las condiciones de estos suelos para que esta actividad siga siendo sostenible y rentable para todos los actores que dependen de ella.

Como ya se ha descrito el estado nutricional del suelo está directamente relacionado con la productividad, rentabilidad y sostenibilidad del cultivo de palma de aceite, por ello, el aumento de la fertilidad del suelo, representa una alternativa para optimizar el uso adecuado del suelo como recurso natural renovable, el cual, es uno de los recursos naturales más importantes, que, además de servir como soporte en la agricultura, también provee grandes cantidades de nutrientes a las plantas para su desarrollo y productividad. La variabilidad de las propiedades es una condición inherente al mismo y depende de cada suelo, las propiedades químicas tienen mayor variabilidad que las físicas, y dicha variabilidad es mayor en suelos que están siendo sometidos a usos agropecuario que los que están en una condición natural. (Vargas et al., 2019, p.55)

Este estudio permitirá ayudar, fortalecer y sentar un precedente en el manejo agronómico de los suelos a los palmicultores de la zona, sus alrededores y a nivel nacional que permita cambiar el enfoque que por muchos años en el área nutricional se ha venido implementando, todo ello para la recuperación de la salud de los suelos y un aprovechamiento más adecuado que

conservar sus propiedades. Lo que en resumidas cuentas dará beneficios al gremio que está compuesto por diferentes asociaciones, empresas privadas e independientes que hacen parte de esta cadena productiva tan importante para la región.

A medida que los suelos se degradan es más difícil que este pueda suplir las necesidades nutricionales necesarias que requiere la planta para poder mantener su potencial productivo y su estado fitosanitario, convirtiéndose de esta manera en un gran problema para el productor, ya que este tendrá que redoblar esfuerzos técnicos y económicos principalmente para que su plantación sea sostenible.

Se busca establecer por medio de esta investigación que las materias orgánicas anteriormente mencionadas tienen un efecto significativo en la recuperación de las propiedades químicas del suelo, permitiendo que estas puedan mantener el potencial productivo e incluso incrementarlo, ya que, las propiedades químicas tienen una alta incidencia en el desarrollo radicular de la planta (pH), absorción de nutrientes (Fe, Mn, B, Zn, Cu y fosfatos), actividad microbiana, todos ellos necesarios para mantener las mejores condiciones a la planta.

Por ello, esta investigación es relevante para el área de la agronomía, ya que, se llevarán a cabo análisis de suelo de cultivos de palma para conocer las propiedades químicas de un recurso natural renovable que ha sido explotado por más de 15 años, lo que permite el acceso al conocimiento real de la información acerca del estado nutricional del mismo, lo cual, es clave para identificar las deficiencias o excesos de nutrientes que puedan afectar el buen desarrollo de la planta. Esto permitirá que los profesionales del área agrícola puedan evidenciar la importancia de los análisis de suelo post siembra, lo que a su vez permitirá identificar necesidades de mejora en cuanto al enriquecimiento del mismo y propiciar la disminución del uso indiscriminado de fertilizantes.

Además de ello, el estudio es relevante porque permite evidenciar cuál materia orgánica implementada beneficia las propiedades químicas de los suelos cultivados con palma de aceite como por ejemplo la regulación del pH del suelo, mejora de la capacidad de intercambio catiónico, los contenidos de potasio, magnesio, calcio y fosforo, y por ende su materia orgánica. Lo que suministra información valiosa en cuanto al empleo de técnicas agronómicas adecuadas para mantener y mejorar las condiciones de fertilidad de los suelos de cultivo de palma.

Como ya se describió anteriormente el cultivo de palma es una actividad agrícola que genera empleo, en este sentido contar con alternativas que favorezcan a su sostenibilidad y que mitiguen los riesgos de afectaciones en su rentabilidad.

En términos de sostenibilidad ambiental, esta investigación es importante porque se presentará a los productores una forma adecuada de realizar prácticas agrícolas que mitiguen el deterioro de los suelos, siendo este un recurso natural renovable fundamental para la producción de diversos bienes y servicios, necesarios para el sustento del ser humano, por ello, contar con información acerca del uso de materia orgánica como herramienta de reducción del uso de fertilización química es una solución ante la problemática ambiental por degradación de las propiedades químicas del suelo.

Otra relevancia de la presente investigación es lo referente al impacto económico, ya que, estudios han demostrado que la rentabilidad lograda con la aplicación de materia orgánica él se obtienen ahorros en los costos de producción frente al sistema tradicional de fertilización química (Randall, 2004). Por lo cual las investigaciones que suministren información acerca de técnicas agrícolas para la conservación y el mejoramiento de la fertilidad del suelo de cultivo de palma son importantes para garantizar el sostenimiento de la producción del cultivo.

## Objetivos

### Objetivo General

Evaluar el Efecto de Aplicación de Materia Orgánica como Agente de Recuperación de Algunas Propiedades Químicas en Suelos Cultivados con Palma de Aceite *Elaeis guineensis* Jacq. (segunda fase).

### Objetivos Específicos

Identificar los contenidos de algunas propiedades químicas del suelo testigo para conocer sus condiciones iniciales como punto de referencia.

Identificar en los suelos objeto de estudio el contenido de pH, Conductividad Eléctrica (Ce), Capacidad De Intercambio Catiónico Efectiva, Saturación De Humedad, Carbono Orgánico Oxidable (COOX), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno Total, Acidez Intercambiable a partir de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica (gallinaza, Bovinaza y compost de residuos de cosecha de palma-raquis) cada cuatro meses.

Analizar el efecto de la aplicación de tres fuentes de materia orgánica (gallinaza, Bovinaza y compost de residuos de cosecha de palma-raquis) cada cuatro meses como agente de recuperación de algunas propiedades químicas de los suelos.

### **Marco Referencial**

Para el desarrollo de este capítulo se hará uso de los referentes teóricos de importancia para la investigación, se utilizarán antecedentes de otros investigadores que sirvan de sustento teórico para el estudio, así mismo se definirán los conceptos de mayor relevancia, se expondrán las teorías que apoyan la investigación y se describe el marco legal que avala el estudio.

#### **Antecedentes**

En este apartado de la investigación se procede a hacer la descripción de los estudios que guardan relación con la temática en estudio con el objetivo de contar con un respaldo teórico que sirva para la mejor comprensión de la temática en estudio, para ello, se seleccionaron un total de 6 investigaciones de índole internacional y nacional y cada uno de los aportes se presentan a continuación.

#### ***Contexto Internacional***

Para iniciar con este marco de antecedentes se hace uso de lo expuesto por Lazo, et. al. (2020) quienes llevaron a cabo una investigación acerca del enriquecimiento de las propiedades nutricionales de los suelos de cultivo de aceite de palma. Se explica en el estudio que el aceite de palma es un producto de gran importancia para la contribución del desarrollo socioeconómico de Ecuador, pero que las propiedades acidas de los suelos, el clima húmedo, las fuertes precipitaciones, entre otros, que provocan remoción de nutrientes del suelo y de metales pesados, lo que en consecuencia limita el buen desarrollo de los cultivos.

De allí que el objetivo propuesto fue evaluar el efecto del manejo integrado de suelo en la producción del cultivo de *Elaeis guineensis* en tres fincas Nueva Esperanza, El Recreo y La Comuna. Para ello se aplicó enmiendas, magnesita al 20%, 2 kg alrededor de la corona en cada planta a un diámetro de 1.80, en el área de las raíces, además de microorganismos benéficos

*Bacthon*, *Tricho-D* y *Micosplag* y se evaluó la producción total y rendimiento durante los años 2014, 2015 y 2016, en comparación con el año 2013 donde no se realizó ningún tipo de manejo al suelo.

Los resultados obtenidos por el grupo de investigadores demuestran que con prácticas adecuada del manejo del suelo se pueden tener mejoras en los rendimientos de dicho cultivo. En el estudio se indica que se pudo comprobar la existencia de diferencias en los niveles de producción y rendimientos, concluyéndose la necesidad de fortalecer las propiedades químicas de los cultivos de palma para garantizar su sostenibilidad y rentabilidad. Este estudio suministra información valiosa para esta investigación, puesto que, se puede recolectar información sobre las ventajas que confiere el uso de prácticas agrícolas que se centren en la mejora de las propiedades de los suelos.

Por su parte, Madrigal & Garbanzo (2018) llevaron a cabo una investigación titulada Uso de residuos agroindustriales en previveros de palma aceitera (*Elaeis guineensis*, *Arecaceae*): crecimiento y absorción de nutrimentos, cuyo objetivo fue evaluar el efecto de dosis de ceniza industrial, lodos industrial y compost de fibra de racimos vacíos en mezclas con suelo sobre el crecimiento y la absorción de nutrimentos en palma aceitera variedad Deli x Nigeria en previveros.

Para ello se llevó a cabo un procedimiento a través de cual se agregaron los residuos agroindustriales a Mezclas confeccionadas para los tratamientos en las evaluaciones de crecimiento y absorción en previveros de palma aceitera, con porcentajes de 80 y 90% de suelo.

A estas mezclas se le realizaron una serie de análisis para conocer la composición química y el crecimiento de la planta, por ello, se realizaron muestreos antes del procedimiento, luego a los 45 y finalmente a los 90 días. Los resultados obtenidos fue un mejor crecimiento y rendimiento de la planta y el cultivo de palma, que fue evidente por el aumentó la longitud y el diámetro de la hoja, la biomasa, el diámetro del bulbo y la longitud de la raíz. También aumentó la absorción de nutrientes en todas las mezclas. La concentración de Mg, K, P, Zn y S fue mayor que en el suelo. Los desechos industriales permiten una reducción significativa en los fertilizantes para los previveros.

Como conclusión los autores indican que es necesario utilizar materia orgánica para recuperar las propiedades químicas de este tipo de cultivo y obtener mejores rendimientos. Los hallazgos presentados en esta investigación son un aporte relevante para la investigación porque se demuestra la necesidad de dar un manejo adecuado a los suelos donde se cultiva la palma, siendo el uso de materia orgánica una opción viable para reducir el uso de fertilizantes y favorecer a la sostenibilidad de este cultivo.

Por último, en este marco de antecedentes de índole internacional se cuenta con el estudio de Pérez & Pérez (2023) quienes llevaron a cabo una investigación sobre la incidencia del cultivo de la palma sobre las propiedades fisicoquímicas, biológicas y ecológicas del suelo. Por ello el objetivo de este antecedente ofrecer un panorama actual de la expansión del cultivo de palma de aceite para una zona de la región Soconusco, Chiapas, México. Para ello se hizo uso de una metodología documental a través del cual se realizó la búsqueda de palabras clave en el apartado de “tópicos” dentro de la base de datos “*Web of Science*” del año 2009 hasta marzo del 2018.

El desarrollo investigativo se pudo recolectar información acerca de los efectos negativos que genera el cultivo de palma de aceite sobre algunas propiedades fisicoquímicas del suelo y sobre la ecología y biología de la macrofauna edáfica. Entre los cuales se pueden encontrar pérdidas de carbono, cambios en las propiedades fisicoquímicas que, por consecuencia de un mal manejo agronómico del cultivo, disminuyen la calidad de los suelos como consecuencia de una disminución en la MO, Orgánico, Ntotal y temperatura, mientras que el pH aumenta.

Otro de los aportes de este estudio es que se recolecto información sobre el inadecuado manejo del cultivo y las aplicaciones excesivas de fertilizantes, lo que además de afectar la sostenibilidad del mismo incrementan los costos de producción. Por ello, se concluye que el manejo inadecuado del cultivo de la palma de aceite tiene implicaciones ambientales irreversibles que requieren de la integración de buenas prácticas agrícolas para mitigar las afectaciones ya descritas.

La información recopilada en este apartado de índole internacional permitió conocer que la problemática de las afectaciones en las propiedades químicas del suelo con cultivos de palma de aceite es de tipo ambiental y económico. Lo cual, se debe a un manejo inadecuado del recurso natural y a las practicas inadecuadas agronómicas que deterioran el suelo, además de ello, se pudo recolectar información acerca de los beneficios que se obtienen al utilizar materia orgánica para recuperar la salud de los suelos afectados por el cultivo, evidenciándose la relevancia de la temática en abordada en esta investigación.

### ***Contexto Nacional***

El estudio de Manzano et al. (2021) contiene información sobre el cultivo agroindustrial de palma de aceite, debido a su apuesta productiva para el desarrollo económico del país. Se presenta información acerca de la búsqueda de la sostenibilidad ambiental y la adaptación de

prácticas sostenibles para la obtención de productos agrícolas, por ello, el objetivo de este estudio fue estimar el nivel de desarrollo sostenible del cultivo agroindustrial de palma de aceite en Norte de Santander. Para ello, en primer lugar, a partir de las cuatro dimensiones del desarrollo sostenible se caracterizan las Unidades de Producción Agrícola (UPA) palmicultores del departamento; y en segundo lugar, mediante el Índice Multidimensional de Desarrollo Sostenible (IMDS) se estima el nivel de desarrollo sostenible de cada UPA.

Los resultados sugieren que la actividad no parece ofrecer condiciones que promuevan un desarrollo con crecimiento económico próspero, que sea socialmente incluyente y ambientalmente sostenible en el marco de la buena gobernanza; es decir, la actividad no promueve integralmente el desarrollo sostenible para los palmicultores de Norte de Santander.

Molina & Aldana (2018) en un trabajo de evaluación económica y financiera realizado a una planta extractora de aceite determinó que: la utilización de este compost tiene como fin proporcionar nutrientes para evitar la degradación de los suelos e incrementa la productividad de las cosechas en un 20 %. Además, disminuye el costo de los fertilizantes y también otorga una mejor calidad del fruto fresco, que se ve reflejada en un mayor rendimiento y mejor calidad en la producción de aceite de palma.

En el estudio realizado por Calderón (2016), cuyo objetivo fue evaluar el impacto ambiental sobre el recurso suelo cultivados con palma de aceite en los predios de los palmicultores pertenecientes a la agremiación ASOPALTIBU, en el Municipio de Tibú; se pudo determinar que: se presentan cambios altamente significativos en las propiedades físicas (textura, arcillas), y químicas especialmente por el aumento significativo de la acidez (pH, CIC, Al), porcentaje de materia orgánica y los contenidos de macronutrientes, disminución de la disponibilidad de micronutrientes, pérdida de cationes básicos calcio (Ca), magnesio (Mg),

potasio (K) y sodio (Na) y una acumulación de cationes ácidos de aluminio (Al). También se concluye en este estudio que: El nivel de impacto ambiental en el suelo, generado por el cultivo de la Palma (*Elaeis guineensis Jacq*) en predios de los palmicultores de ASOPALTIBU. Tibú-Norte de Santander, es Media o Severa.

La revisión de estos antecedentes de índole nacional demuestra la importancia que tiene el cultivo de palma de aceite para el desarrollo económico del país, así como también el impacto ambiental negativo sobre la calidad del suelo como recurso natural. Por último, la necesidad de contar con prácticas agrícolas adecuadas que favorezcan al desarrollo sostenible y a la salud de los suelos.

### **Marco Conceptual**

Debido a la importancia de algunos términos para la comprensión de la temática en estudio, es necesario que se presente la definición de los mismos, para ello, se presenta el siguiente marco conceptual.

#### ***Sector Primario***

Cruz & Polanco (2014) como las actividades que se realizan para la obtención de productos naturales que generen ingresos económicos, las principales actividades que constituyen este sector son la agricultura, ganadería, pesca, minería y explotación forestal.

#### ***Sector Agrícola***

Se define como el sector donde se desarrollan actividades de explotación de los recursos naturales para la obtención de alimentos, entre los principales productos se encuentran los cereales, las frutas y hortalizas y es uno de los pilares del sector primario y la economía de las naciones (Flores, 2015).

### ***Agricultura***

Para la producción de diversos alimentos el hombre tiene que cultivar y trabajar la tierra mediante métodos y técnicas adecuadas y haciendo uso de los insumos, maquinarias y equipos que le permitan el desarrollo adecuado de la actividad, a la cual se le conoce como agricultura. (Rogge et al., 2017).

### ***Cultivo***

Luego de que la tierra ya es fertilizada, está lista para dar paso a la producción, en este momento se lleva a cabo el proceso del cultivo, mediante el cual se realiza la operación de la siembra de las semillas cuyos productos se desean obtener, la cuales deben ser sembradas bajo unas condiciones específicas a fin de asegurar que el proceso sea productivo, al tener la tierra ya alimentada con las semillas se deben realizar actividades diarias de riego, absorción de luz solar y de nutrientes del suelo, con la finalidad de que el cultivo logre dar los frutos esperados (Franco, & Giraldo, 2019).

### ***La Palma de Aceite***

La palma africana (Palma aceitera africana, Coroto de Guinea, Palmera *Aabora*, Palmera de Guinea) es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano, concretamente en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis Jacq*, la palma de aceite se conoce con el nombre de *Elaeis guineensis Jacq*, nombre dado por *Jacquin* en 1763, con base en la palabra griega *elaoin*, que significa aceite y *guineensis*. En cuanto a los requerimientos ambientales soporta temperaturas medias mensuales que oscilan entre 26 °C y 28 °C, siempre que las mínimas mensuales no sean inferiores a 21 °C, las precipitaciones favorables oscilan entre 1800 mm y 2300 mm al año, se le considera una planta heliófila por sus altos requerimientos de luz unas 1500 horas promedio al

año, y una humedad relativa superior al 75%. Respecto a los suelos se adapta muy bien a una gran variedad de suelos entre ácidos, moderadamente ácidos, los suelos óptimos son los de textura franco-arcillosa.

### ***Suelo***

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO] (2021) define el suelo como:

El medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas. (p. 3)

El suelo es un recurso natural, integrado por una gama de elementos físicos, químicos y biológicos que determinan sus características y su potencial empleo en la satisfacción de las necesidades del hombre, actúa como amortiguador en el paso de sustancias hacia áreas subterráneas (Reyes, 2003). Está formado por cinco componentes principales: materia mineral, agua, aire, materia orgánica y organismos vivos. Al igual, es la región donde se sustenta la vida vegetal, uno de los sitios más dinámicos en interacciones biológicas en la naturaleza, donde se realizan la mayor parte de reacciones bioquímicas involucradas en la descomposición de materia orgánica, intemperización de las rocas y la nutrición de los cultivos agrícolas (Alexander, 1994).

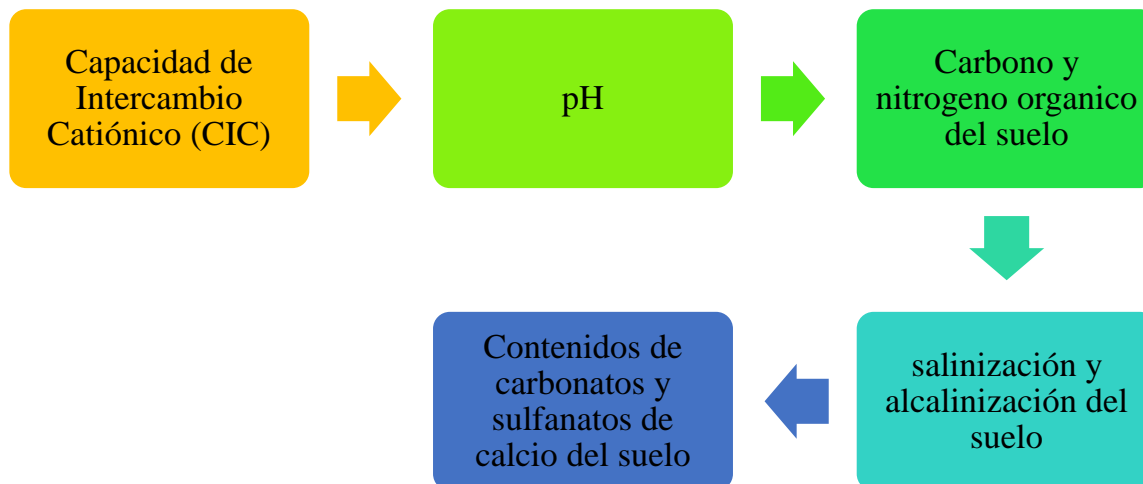
### ***Propiedades Químicas del Suelo***

Por su característica de recurso natural el suelo tiene en su composición nutrientes y elementos químicos que se intercambian con las plantas o cultivos y que determinan su salud (Ames, 2019). Estas propiedades pueden ser afectadas por agentes internos y externos y en

consecuencia son quienes definen la calidad del mismo. Entre las propiedades químicas del suelo se encuentran las siguientes:

### Figura 1

#### *Propiedades químicas del suelo*



Fuente: Autoría Propia, adaptada de FAO (2023).

#### *Degradación del Suelo*

Las actividades antropogénicas en muchas ocasiones no toman en cuenta la conservación del ambiente, sino que ejercen presión sobre el mismo y los recursos naturales concibiéndolos como una fuente inagotable de bienes que pueden ser usados para el bienestar humano, sin medir su impacto y su sostenibilidad en el tiempo (Ciccioli & Ragni, 2017). Por su parte, Moreno (2022) explica que en la actualidad este acelerado ritmo en el crecimiento y desarrollo de la sociedad ha generado infinidad de daños en el ambiente, los cuales se perciben por los cambios de clima, la acumulación de gases de efecto invernadero, el deterioro de la capa de ozono, entre otros aspectos que indican que existe un daño masivo en el planeta tierra.

En este sentido, las actividades humanas generan degradaciones y contaminación de los suelos, lo que disminuye la calidad de los servicios que proporcionan y alteran la salud del mismo, debido a la pérdida de sus propiedades naturales que imposibilitan su uso. Por ejemplo, una de las principales causas de la degradación de los suelos es el uso de fertilizantes que contaminan las capas del suelo, además de que el uso indebido de las tierras de cultivo, que tienen la capacidad de alterar su estructura natural.

El suelo es el recurso elemental en la actividad agropecuaria, durante cada ciclo el suelo se va deteriorando y así afectando su composición química y su estructura física. Este proceso ha ocasionado la progresiva degradación de los suelos de uso agrícola, entendiendo la degradación como: “la disminución o alteración negativa de una o varias de las ofertas de bienes, servicios y/o funciones ecosistémicas y ambientales, ocasionada por procesos naturales o antrópicos que, en casos críticos, pueden originar la pérdida o la destrucción total del componente ambiental” (López & Botello, p. 35).

Cuando existe una alteración en las propiedades químicas del suelo es decir no cuenta con los nutrientes o características químicas requeridas para su adecuado funcionamiento, se comprende que existe una degradación del mismo y por ende su rendimiento y funcionalidad no es la óptima, por ello, es necesario que se estudien a fondo las propiedades del suelo y se implementen estrategias de mitigación.

### ***Fertilización***

Para González & Pomares (2008) la fertilización es el proceso mediante el cual se busca fortalecer las propiedades de la tierra a fin de obtener un mejor beneficio de la misma, este se lleva a cabo mediante el enriquecimiento de la misma a través del uso de diversas

sustancias(fertilizantes), permitidas por las entidades competentes, que buscan lograr un equilibrio entre los nutrientes de tal modo que se pueda aumentar la fertilidad del mismo.

### ***Suelo y la Degradación por Fertilización Química***

Al degradarse, el suelo pierde capacidad de producción en cantidad y calidad, cada vez hay que añadirle más fertilizantes para producir siempre cosechas inferiores a las que produciría el suelo si no se presentase degradado. La degradación del suelo puede ser química, por varias causas: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. El deterioro del suelo a veces es consecuencia de una degradación física, por pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua. En otras ocasiones se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica (ONU, 1987).

El suelo contiene cinco grupos principales de microorganismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios (Alexander, 1994). Las prácticas de manejo intensivo y la contaminación pueden influenciar la biomasa microbiana del suelo, y la actividad microbiana afecta la fertilidad del suelo (Leita et al., 1999).

Los cambios en el tamaño y la actividad de la biomasa pueden afectar la mineralización de C, el contenido de materia orgánica y el ciclo de N y P, así como su disponibilidad para las plantas dado que la biomasa es una fuente dinámica que contiene reservas considerables de estos elementos (Paolini, 2018). La biomasa microbiana por sí misma puede ser un indicador importante de la calidad del suelo, y la proporción de carbono microbiano por carbono orgánico del suelo puede alertar con anticipación sobre el mejoramiento o deterioro de la calidad del suelo (Franca et al., 2007).

De acuerdo, al estudio más reciente sobre degradación de los suelos en México, en el año 2002, el 44.9% de superficie nacional mostraba algún signo de degradación, siendo la degradación química y la erosión hídrica los procesos más importantes con 23.5%: 17.8% es química. En la degradación química, el tipo dominante es la disminución de la fertilidad del suelo, lo cual repercute gravemente en el rendimiento de los cultivos.

### ***Materia Orgánica***

La FAO (2021) lo define como todo material del suelo orgánico vivo, que proviene de las plantas o de microorganismos como bacterias, hongos o lombrices y que por su composición es degradable de forma rápida y puede ser utilizado para el desarrollo de otros productos.

### ***Materias Orgánicas Compostadas***

La aplicación de materia orgánica o humus (en un avanzado estado de descomposición) es, sin duda, el mejor método para mejorar las propiedades físicas del suelo proporciona nutrientes a la tierra en proporciones equilibradas, incluyendo microelementos.

El uso de sustratos orgánicos está tomando importancia en la agricultura orgánica, ya que es una respuesta a la mejora en las prácticas agrícolas. Sus procesos de elaboración incluyen métodos biológicos que transforman restos orgánicos en productos estables para el mejoramiento de los suelos.

Por otra parte, la materia orgánica no es fitotóxica ni contamina el suelo, el agua y/o la atmósfera. No desarrolla resistencia en los insectos plagas, hongos y bacterias patógenas. Así mismo, se puede aplicar en cualquier momento, es bio-degradable y sus moléculas no son tóxicas. Además, a los cultivos les ayuda a formar fitoaléxinas (sustancias de autodefensa) que ayudan en su desarrollo sin provocar estrés como algunos agroquímicos, y las impulsan a desdoblar los tóxicos ya acumulados en sus tejidos.

De acuerdo a estudios recientes, han confirmado que mejorando los niveles de materia orgánica se mejoran los niveles de N, y tanto el N orgánico como el C son más altos cuando se practica la conservación de suelos y reciclaje de desechos. La función de los abonos orgánicos en la recuperación de los suelos se resume en los siguientes puntos, según Vandevivere & Ramírez (1998), Pega. Los coloides orgánicos se asocian con las partículas del suelo y ayudan a mejorar su estructura. Fertilizante y bodega. La liberación de los elementos en un abono orgánico es más lenta que en el caso de un fertilizante químico. Bioestimulante. El compost estimula el desarrollo de la microflora y microfauna en el suelo y el crecimiento radical.

## Marco Metodológico

### Metodología

El diseño de experimento se llevó a cabo en suelos cultivados con palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq*) en la finca Villa Teresa ubicada en el corregimiento de petrolea en (Tibú-Norte de Santander). El tipo de investigación realizada es de tipo descriptiva y experimental con un enfoque cuantitativo y se desarrolló basado en un diseño de experimentos Bloques al azar.

### Población y Muestra

La Unidad de Estudio se realizó sin muestreo previo. La muestra se seleccionó por conveniencia. El experimento se realizó en una finca representativa del gremio, la cual fue seleccionada bajo criterios de un muestreo por conveniencia (aporte y colaboración del propietario). La finca seleccionada tiene un área sembrada en palma de 69 hectáreas cultivo de aproximado 7 años de establecido. Del total de 18 hectáreas se seleccionó un área de 1 ha.

### Unidad Experimental

La Unidad experimental fue estructurada con cuatro tratamientos y cinco repeticiones con un suelo testigo tratado convencionalmente con fertilización química.

Cada unidad experimental consistió en cuatro palmas ubicadas en forma de zigzag, esto según el sistema de siembra ya existente en el lote del cultivo. De esta forma se utilizaron veinte palmas por tratamiento (cuatro por repetición) para un total de 80 palmas equivalentes a veinte unidades experimentales (figura 5).

Se evaluó el efecto de la aplicación de la materia orgánica en las propiedades químicas del suelo objeto de estudio a partir de tres fuentes orgánicas compostadas (Gallinaza, Bovinaza y producto de residuos de cosecha de palma), y un suelo testigo tratado convencionalmente con fertilización química.

A continuación, se especifican los tratamientos:

T1: Testigo, suelo sin aplicación de materia orgánica

T2: Suelos aplicados con gallinaza

T3: Suelos aplicados con Bovinaza

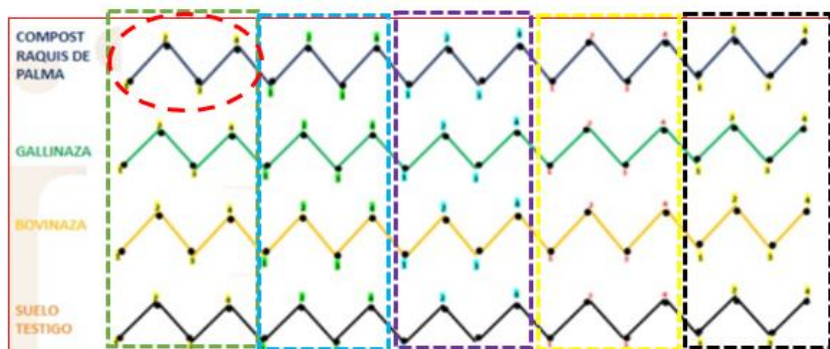
T4: Suelos aplicados con compost de raquis de palma

La organización y distribución de las unidades experimentales para cada tratamiento se realizó en franjas, esto estratégico para facilitar la aplicación de cada materia orgánica a evaluar. La distribución final indica un diseño bloques al azar, en el cual, en cada bloque se asignó un tratamiento (figura 5).

En la figura 5, la elipse punteada color rojo, representa las cuatro palmas que conforma la unidad experimental. Los rectángulos punteados, color verde, azul, morado, amarillo y negro, representan como se conforman el bloque N°1, N°2, N°3, N°4 y N°5.

## Figura 2

*Esquema del diseño del experimento en bloques al azar*



Fuente: Autoría Propia

### **Análisis Estadístico**

Los datos se organizaron y tabularon con Microsoft Excel. Se utilizó estadística descriptiva y se presentaron en tablas y gráficas. A continuación, se describe el análisis estadístico utilizado para dar respuesta a los objetivos.

Se aplicó una prueba de T Student pareada o asociada para evaluar la condición inicial (antes) y final (después) del grupo de suelo testigo, esto con la finalidad de verificar si se presentan o no cambios en el suelo, al transcurrir el tiempo del experimento, sin haber recibido aplicación de materia orgánica. El análisis de T Student pareada, se verificó con la prueba no paramétrica de Wilcoxon.

Se aplicó un análisis de varianzas ANOVA, con el primer registro de datos (primer análisis de datos, posterior primera aplicación de abono “iniciando el experimento”); esto con la finalidad de verificar si existen diferencias en las propiedades del suelo con base a la primera aplicación de materia orgánica. El análisis con ANOVA fue verificado con los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Levene). En caso de no cumplimiento de los supuestos, se utilizó no paramétrica Kruskal Wallis. Este mismo análisis se realizó con los últimos datos registrados posterior a la última aplicación de materia orgánica (al finalizar el experimento).

Los datos registrados en el intermedio del experimento (posterior a la segunda aplicación de materia orgánica) se analizaron en conjunto (primer, segundo y tercer registro de datos) a través de medidas repetidas en el tiempo. Este análisis se realizó por separado, para los datos de cada grupo o tratamiento. El análisis se realizó con la finalidad de identificar si existen cambios en las propiedades del suelo debido a realizar más de una aplicación de materia orgánica en el suelo.

### ***Factores de Estudio***

Los factores evaluados fueron la aplicación de materia orgánica como manejo adecuado del suelo para mejorar las propiedades químicas. Por ello, se utilizaron tres fuentes de compost (bovinaza, gallinaza y compost de raquis de palma), para realizar tres aplicaciones cada cuatro meses, la fertilización fue aplicada en la zona de plateo de la planta.

### ***Tratamientos***

Se tomó una muestra inicial del suelo (control) luego una muestra cada cuatro meses después de aplicada cada fertilización (experimental). Las muestras de suelo se tomaron de acuerdo a los protocolos de toma de muestras; luego, fueron enviadas a un laboratorio certificado para el análisis del pH, MO, Carbono Orgánico y Capacidad de intercambio catiónico Efectiva. Para el desarrollo del experimento se realizó en un área de una hectárea (10.000m<sup>2</sup>), se utilizó un diseño bloques en forma de fajas, cada uno estará constituido por 20 plantas en las cuales a cada uno se les aplicó un tratamiento de fertilización

### **Fases del Experimento**

#### ***Fase inicial de campo***

En la fase inicial de campo se identificaron las propiedades químicas de los suelos objeto de estudio, densidad de siembra, edad del cultivo, antecedentes fitosanitarios, origen del material vegetal y su variedad. Según el IGAC en el estudio general de los suelos del departamento, en la parte nororiental (Tibú) el relieve de la zona es pendiente suave y ligeramente plana que da a la formación de valles, terrazas y vegas; por tal razón el lote se ubicó en la parte central del cultivo y, para que los bloques tengan características homogéneas se organizaron franjas con transeptos en zigzag garantizando una homogeneidad en los criterios de geomorfología en el muestreo de suelos y el diseño de bloques al azar.

**Marcación de las Plantas**

Georreferenciación: Mediante el software QGIS (figura 6) se realizó la georreferenciación de cada una de las palmas y posterior a ello se marcó con pintura las carpetas ubicadas en la base del estípite, donde se colocó el número de la palma y la letra inicial correspondiente al nombre de la fuente orgánica, (figura 7).

**Figura 3**

*Georreferenciación de la zona*



Fuente. Autoría Propia

**Figura 4**

*Marcación de las plantas para la aplicación de materias orgánicas*



Fuente: Autoría Propia

### *Aplicación de Materias Orgánicas*

Se aplicó la materia orgánica compostada a los suelos objeto de estudio en dosis de 50 Kg/planta en el plato de la planta a una distancia de 1,5 metros desde la base del estípite. Este procedimiento se repitió cada 4 meses durante un año en el cual previamente se midieron los niveles de pH, CO y CICE, a su vez se realizó análisis de suelos a partir del cuarto mes de aplicación, se tuvo un suelo testigo fertilizado con insumos químicos.

### **Figura 5**

*Aplicación de materias orgánicas en los suelos de la zona de estudio*



Fuente: Autoría Propia

### *Toma de Muestras*

Con el fin de conocer de manera detallada las condiciones químicas iniciales del suelo se realizó un muestreo según lineamientos del IGAC, para la toma de muestras acorde a los transeptos definidos, el cual estuvo compuesta por 20 submuestras que fueron empacadas, embaladas debidamente y enviadas al laboratorio (AGRILAB) junto con cada una de las muestras de materia orgánica para el análisis químico.

**Figura 6***Toma de Muestras*

Fuente. Autoría Propia

Se realizaron cuatro (4) ciclos de muestreo de suelo, una inicial y una cada (4) meses después de la aplicación de cada materia orgánica. Se tomó una muestra por cada repetición, cada muestra estuvo conformada por cuatro (4) submuestras, es decir que por cada tratamiento se colectaron cinco (5) muestras.

La profundidad a la que se tomaron las muestras fue de 30 cm, teniendo en cuenta que es la zona donde hay la mayor concentración de raíces terciarias y cuaternarias de la palma. Después de la toma en campo se procedió a la preparación y empaquetado de las mismas, donde previamente se realizó una limpieza para extraer las impurezas como piedras, madera, hojas raíces. La muestra enviada al laboratorio es de 500 gr, para lo cual se verifica en una balanza y luego se etiqueta con los datos correspondientes a nombre del propietario de la muestra, ubicación, cultivo, edad del cultivo, variedad y profundidad a la que se tomó la muestra.

**Figura 7**

*Empacado de las muestras de suelos para enviar al laboratorio*



Fuente. Autoría Propia

**Aplicaciones 1-2 y 3**

Con base en los criterios establecidos anteriormente se realizó la aplicación de cada tratamiento previa identificación de sus propiedades químicas, esta aplicación se realizó en una proporción de 50 kg/planta por cada ciclo según recomendaciones y/o condiciones en la zona, aportadas por el área de asistencia técnica del cultivo.

### **Análisis de Resultados**

El análisis de los parámetros fisicoquímicos del suelo se presenta en tres momentos. Se inicia evaluando las características del suelo sin fertilización (grupo testigo) al iniciar y finalizar el estudio, con la finalidad de establecer si cada parámetro evaluado se mantuvo o no constante durante el experimento

Un segundo momento corresponde a comparar el efecto generado por la primera aplicación de materia orgánica (compostaje de bovinaza, gallinaza y raquis de palma) sobre las características del suelo, esto tomando de referente el análisis inicial del grupo testigo. A su vez, se comparó el efecto generado por la tercera aplicación de materia orgánica tomando como referencia el análisis final del suelo sin fertilizar.

En un tercer momento, se realizó un análisis de medias repetidas en el tiempo para verificar si la aplicación periódica de la materia orgánica (tres veces durante el experimento) generó cambios en las características del suelo con el transcurrir del tiempo.

#### **Características Químicas del Suelo (Grupo Testigo)**

Las propiedades químicas referentes a pH, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y nivel de saturación de humedad del suelo no presentaron diferencias significativas en el análisis realizado al iniciar y finalizar el experimento, indicando que estos parámetros estuvieron constantes durante el desarrollo del estudio (Tabla 1).

La conductividad eléctrica (CE) registrada en el suelo del grupo testigo fue estadísticamente diferente al iniciar y finalizar el experimento (p-valor 0,016), estableciéndose que este parámetro se incrementó por factores externos a las variables controladas en el estudio (Tabla 1).

**Tabla 1***Propiedades químicas pH*

| Condición del suelo | pH<br>p-valor: 0,779 | CE (dS/m)<br>p-valor: 0,016 | CICE (meq/100)<br>p-valor: 0,638 | Saturación H (%)<br>p-valor: 0,675 |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Inicial             | 4,81 a<br>± 0,28     | 0,25 a<br>± 0,02            | 14,54 ±<br>6,79 a                | 28,08 a<br>± 10,10                 |
| Final               | 4,91 a<br>± 0,44     | 0,46 b<br>± 0,11            | 11,85 a<br>± 6,73                | 26,14 a<br>± 5,60                  |

*Nota.* La tabla muestra el Test de T Student pareada para dos muestras relacionadas (n = 5) en las propiedades químicas pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y nivel de saturación de humedad en suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica al inicio y finalización del experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

El estudio revela que, en ausencia de la aplicación de materia orgánica, las concentraciones de COOx, MO y N total, así como la densidad aparente del suelo, no experimentaron cambios significativos. Este hallazgo es crucial porque sugiere que el tratamiento testigo, que no recibió ninguna enmienda orgánica, mantuvo la estabilidad de estos parámetros durante todo el periodo de observación. Esto implica que la adición de materia orgánica podría ser necesaria para provocar cambios en estas variables, destacando la importancia de las prácticas de manejo de suelo en la agricultura palmicultora.

La falta de variación en estas variables en el tratamiento testigo sugiere que, sin la adición de materia orgánica, el suelo mantuvo sus propiedades iniciales sin mejora significativa en su calidad o fertilidad. Este resultado subraya la importancia de la adición de materia orgánica en la gestión del suelo para mejorar su fertilidad y su capacidad de soportar cultivos de palma de aceite de manera sostenible. (Tabla 2).

**Tabla 2***Propiedades químicas carbono orgánico oxidable (COOx)*

| Condición del suelo | COOx (%)<br>p-valor: 0,413 | MO (%)<br>p-valor: 0,412 | N total (%)<br>p-valor: 0,412 | Densidad A (g/cm <sup>3</sup> )<br>p-valor: 0,836 |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---|
| Inicial             | 1,54 a<br>± 0,28           | 2,65 a<br>± 0,48         | 0,12 a<br>± 0,02              | 1,30 a<br>± 0,11                                  |
| Final               | 1,88 a<br>± 0,62           | 3,24 a<br>± 1,07         | 0,15 a<br>± 0,05              | 1,28 a<br>± 0,11                                  |

*Nota.* La tabla muestra el Test de T Student pareada para dos muestras relacionadas (n = 5) en las propiedades químicas carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y densidad aparente en suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica al inicio y finalización del experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* autor

El nivel de potasio intercambiable (K), calcio intercambiable (Ca), magnesio intercambiable (Mg) y acidez intercambiable en suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica no presentó diferencias significativas al inicio y finalización del estudio (Tabla 3).

El nivel de sodio intercambiable (Na) registrado en el grupo testigo al inicio y finalización del estudio fue estadísticamente diferente (p-valor 0,028) evidenciándose que esta característica del suelo disminuyó durante el desarrollo del experimento a causa de factores no controlados en el estudio (Tabla 3).

Este hallazgo es significativo porque el sodio puede afectar negativamente la estructura del suelo y la disponibilidad de otros nutrientes. La disminución del sodio intercambiable en el tratamiento testigo sugiere que, incluso en ausencia de materia orgánica, ciertos cambios pueden ocurrir debido a factores ambientales o de manejo no contemplados en el diseño experimental.

**Tabla 3***Nivel de potasio y acidez intercambiable en suelo*

| Condición del suelo | K<br>(meq/100g)<br>p-valor:<br>0,542 | Ca<br>(meq/100g)<br>p-valor:<br>0,774 | Mg<br>(meq/100g)<br>p-valor:<br>0,897 | Na<br>(meq/100g)<br>p-valor:<br><u>0,028</u> | Acidez<br>(meq/100g)<br>p-valor: 0,489 |
|---------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| Inicial             | 0,35 a<br>± 0,15                     | 8,90 a<br>± 6,18                      | 3,05 a<br>± 2,00                      | 0,22 b<br>± 0,03                             | 2,00 a<br>± 1,30                       |
| Final               | 0,28 a<br>± 0,12                     | 7,36 a<br>± 6,33                      | 2,83 a<br>± 2,25                      | 0,13 a<br>± 0,02                             | 1,23 a<br>± 1,48                       |

*Nota.* La tabla muestra el Test de T Student pareada para dos muestras relacionadas (n = 5) en

los niveles de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y acidez intercambiable en suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica al inicio y finalización del experimento.

Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras

diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

El contenido de azufre (S) se mantuvo constante tanto al inicio como a la finalización del estudio, indicando que, en ausencia de enmiendas orgánicas, esta variable no experimentó cambios significativos a lo largo del período de observación. Esto sugiere que las condiciones ambientales y el manejo del suelo no influyeron de manera notable en los niveles de azufre disponible para las plantas. Por otro lado, el contenido de fósforo (P) mostró diferencias significativas durante el estudio, con un p-valor de 0,0001, evidenciando un incremento notable en sus niveles. Este aumento en el fósforo no se puede atribuir a las variables controladas dentro del experimento, lo que sugiere la influencia de factores externos no previstos en el diseño del estudio. (Tabla 4).

**Tabla 4***Contenido de fósforo (P) y azufre (S) en suelo*

| Condición del suelo | P (mg/Kg)<br>p-valor: 0,0001 | S (mg/Kg)<br>p-valor: 0,500 |
|---------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Inicial             | 0,44 a<br>± 0,20             | 14,13 a<br>± 4,75           |
| Final               | 38,86 b<br>± 6,15            | 10,34 a<br>± 7,08           |

*Nota.* La tabla muestra el Test de T Student pareada para dos muestras relacionadas (n = 5) en el contenido de fósforo (P) y azufre (S) en suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica al inicio y finalización del experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.*

Autor

El estudio reveló que los niveles de saturación de magnesio (Mg), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) en el suelo palmicultor sin la aplicación de materia orgánica permanecieron constantes durante todo el periodo de observación. No se encontraron diferencias significativas en estos parámetros, como se muestra en la Tabla 5. Esta estabilidad sugiere que, bajo las condiciones específicas del estudio y en ausencia de enmiendas orgánicas, estos elementos mantienen una disponibilidad uniforme en el suelo.

En contraste, el nivel de saturación de sodio (Na) mostró diferencias significativas a lo largo del estudio. Se registró una disminución notable en la saturación de sodio al finalizar el periodo de investigación, con un p-valor que indica significancia estadística. Esta disminución se debe a factores no controlados en el experimento, que podrían incluir la lixiviación del sodio debido a las lluvias, la interacción con otros cationes del suelo, o cambios en las prácticas de manejo que no fueron específicamente monitorizadas.

**Tabla 5***Nivel de saturación en el suelo*

| Condición del suelo | Mg (%)<br>p-valor:<br>0,662 | Na (%)<br>p-valor:<br>0,405 | Al (%)<br>p-valor:<br>0,629 | K (%)<br>p-valor:<br>0,657 | Ca (%)<br>p-valor:<br>0,823 |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Inicial             | 20,04 a<br>± 6,83           | 1,87 a<br>± 0,82            | 21,07 a<br>± 20,21          | 2,48 a<br>± 0,73           | 54,54 a<br>± 20,90          |
| Final               | 23,38 a<br>± 12,00          | 1,39 b<br>± 0,56            | 13,64 a<br>± 14,77          | 2,76 a<br>± 1,14           | 58,76 a<br>± 20,27          |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test de T Student pareada para dos muestras

relacionadas ( $n = 5$ ) en el nivel de saturación de magnesio (mg), sodio (Na), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) en suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica al inicio y finalización del experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

La relación entre calcio y magnesio (Ca/Mg), calcio y potasio (Ca/K), magnesio y potasio (Mg/K), así como la relación combinada de calcio-magnesio-potasio en el suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica, permaneció constante durante todo el estudio, sin presentar diferencias significativas, como se muestra en la Tabla 6.

Esta constancia sugiere que, bajo las condiciones experimentales específicas y sin la adición de materia orgánica, las proporciones relativas de estos nutrientes no se alteraron a lo largo del tiempo. La estabilidad de estas relaciones es indicativa de un equilibrio en la disponibilidad y absorción de estos cationes por parte del suelo y las plantas, lo cual es crucial para el crecimiento y desarrollo óptimo de las palmas de aceite.

Mantener una relación adecuada entre Ca, Mg y K es fundamental para evitar desequilibrios nutricionales que puedan afectar la salud de las plantas. Por ejemplo, una relación alta de Ca/Mg puede inhibir la absorción de magnesio, mientras que una relación alta de Ca/K puede afectar la absorción de potasio.

**Tabla 6***Relación de magnesio potasio y calcio-magnesio-potasio en suelo palmicultor*

| Condición del suelo | Ca/Mg<br>p-valor: 0,885 | Ca/K<br>p-valor: 0,943 | Mg/K<br>p-valor: 0,750 | (Ca + Mg) + K<br>p-valor: 0,864 |
|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|
| Inicial             | 3,00 a<br>± 1,55        | 24,15 a<br>± 11,69     | 8,32 a<br>± 2,96       | 32,46 a<br>± 12,88              |
| Final               | 3,22 a<br>± 2,14        | 24,92 b<br>± 16,27     | 9,40 a<br>± 4,88       | 34,34 a<br>± 16,52              |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test de T Student pareada para dos muestras

relacionadas (n = 5), letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas, en la relación de calcio magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio potasio y calcio-magnesio-potasio en suelo palmicultor sin aplicación de materia orgánica al inicio y finalización del experimento. *Fuente.*

Autor

### **Efecto de la Aplicación de Tres Tipos de Materia Orgánica sobre las Características**

#### **Químicas del Suelo**

Al iniciar el estudio, el pH registrado en el suelo seleccionado para la aplicación de compostaje era muy fuertemente ácido, es decir menor a 5,0. Luego de la primera aplicación, el suelo del tratamiento testigo y los tratamientos con aplicación de compostaje de bovinaza y raquis de palma presentaron un nivel de pH comprendido entre 4,5 a 5,5. Posterior a la tercera aplicación de compostaje de gallinaza, bovinaza y raquis de palma se generó un incremento en el pH, solo el suelo testigo mantuvo pH inicial.

Posterior a la primera aplicación de materia orgánica (compostaje de gallinaza, bovinaza y raquis de palma), los valores del pH y la conductividad eléctrica (CE) del suelo, fueron estadísticamente heterogéneo de acuerdo al tipo de compostaje aplicado. El uso de gallinaza generó un pH neutro y la aplicación de bovinaza y raquis de palma elevó el pH a moderadamente

ácido, mientras el grupo testigo se mantuvo igual. El dato más bajo para conductividad eléctrica se registró en el suelo sin aplicación de compostaje (testigo). Los tres compostajes evaluados evidenciaron una conductividad eléctrica CE mayor respecto al testigo (Tabla 7).

Posterior a la tercera aplicación de compostaje (finalizando el estudio), el pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) evidenciaron diferencias significativas. El tratamiento con gallinaza reportó un pH más alto (neutro), seguido de los tratamientos de bovinaza y de raquis de palma. El grupo testigo se evidencia el pH más bajo (extremadamente ácido). El dato más bajo para conductividad eléctrica (CE) se registró en el suelo testigo y usando bovinaza y raquis de palma. La aplicación de gallinaza reportó la conductividad eléctrica (CE) más alta (Tabla 7).

Al finalizar el estudio, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) fue mayor aplicando gallinaza, respecto al suelo testigo y el uso de bovinaza y raquis de palma. Esta variable fue homogénea posterior a la primera aplicación de los compostajes (Tabla 7). Estos hallazgos subrayan la importancia de seleccionar adecuadamente las enmiendas orgánicas para mejorar las propiedades del suelo. La gallinaza, al incrementar la CICE, puede ofrecer beneficios sustanciales en la fertilidad del suelo, promoviendo una mayor retención de nutrientes esenciales y mejorando su disponibilidad para las plantas. Este aspecto es crucial para la sostenibilidad y productividad de los cultivos palmicultores, especialmente en sistemas de manejo que buscan reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

La siguiente tabla muestra el efecto de la aplicación de materia orgánica compostada sobre el pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y nivel de saturación de humedad en suelos cultivados en palma al inicio (una aplicación) y finalización del experimento (tres aplicaciones).

**Tabla 7***Efecto de la aplicación de materia orgánica compostada sobre el pH*

| Variable         | pH            | CE (dS/m)        | CICE (meq/100)   | Saturación H (%)  |                    |
|------------------|---------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|
| P-valor          | <u>0,0006</u> | <u>0,0003</u>    | 0,1558           | 0,5875            |                    |
| Análisis Inicial | Gallinaza     | 6,27 b<br>± 0,19 | 1,44 b<br>± 0,39 | 23,24 a<br>± 5,20 | 34,00 a<br>± 5,87  |
|                  | Bovinaza      | 5,24 a<br>± 0,11 | 1,77 b<br>± 0,61 | 18,80 a<br>± 3,68 | 33,78 a<br>± 6,16  |
|                  | Raquis P.     | 5,50 a<br>± 0,78 | 1,46 b<br>± 0,36 | 19,46 a<br>± 6,52 | 31,88 a<br>± 6,38  |
|                  | Testigo       | 4,81 a<br>± 0,28 | 0,25 ±<br>0,02 a | 14,54 a<br>± 6,79 | 28,08 a<br>± 10,10 |
|                  | P-valor       | <u>0,0001</u>    | <u>0,0001</u>    | <u>0,0004</u>     | 0,2426             |
| Análisis final   | Gallinaza     | 6,73 c<br>± 0,03 | 1,77 b<br>± 0,51 | 30,92 b<br>± 6,78 | 31,54 a<br>± 4,58  |
|                  | Bovinaza      | 5,58 b<br>± 0,31 | 0,78 a<br>± 0,33 | 17,32 a<br>± 6,00 | 30,20 a<br>± 5,68  |
|                  | Raquis P.     | 5,80 b<br>± 0,44 | 0,98 a<br>± 0,31 | 19,56 a<br>± 7,74 | 29,78 a<br>± 5,39  |
|                  | Testigo       | 4,91 a<br>± 0,44 | 0,46 a<br>± 0,11 | 11,85 a<br>± 6,73 | 26,14 a<br>± 5,60  |

*Nota.* Test Análisis de varianza ANOVA (n = 20). El análisis inicial se realizó de manera independiente a los datos registrados al final de experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas.

Las variables de carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO) y nitrógeno total (N total) mostraron diferencias estadísticamente significativas según el tipo de compostaje aplicado al suelo, tanto al inicio como al final del estudio, después de la primera y tercera aplicación del compostaje, como se observa en la Tabla 8. Estas diferencias indican que la composición orgánica y los niveles de nitrógeno en el suelo fueron influenciados de manera significativa por el tipo de materia orgánica aplicada. El grupo testigo mostró los valores más

bajos para estas tres variables, mientras que el suelo tratado con compostaje de raquis de palma registró los valores más altos. Los suelos tratados con gallinaza y bovinaza mostraron valores intermedios entre estos extremos.

Por otro lado, la densidad aparente del suelo también presentó diferencias significativas en función del tipo de compostaje aplicado, tanto al inicio como al final del estudio. La mayor densidad aparente se registró en el suelo testigo, indicando una mayor compactación en este tratamiento. En contraste, aplicar compostaje de gallinaza, bovinaza y raquis de palma tendió a reducir la densidad del suelo, generando valores más homogéneos entre los tres tipos de compostaje al finalizar el estudio.

Estos hallazgos resaltan la importancia y los beneficios específicos que cada tipo de compostaje aporta al suelo agrícola. En primer lugar, el compostaje de raquis de palma se muestra altamente efectivo para enriquecer el suelo con carbono orgánico, materia orgánica y nitrógeno. Estos elementos son fundamentales para mejorar la fertilidad del suelo y proporcionar los nutrientes necesarios para el crecimiento de cultivos saludables. Además, el compostaje de raquis de palma puede ayudar a mejorar la capacidad de retención de agua del suelo y promover una mejor estructura, lo cual es crucial para la resistencia a la erosión y la conservación de nutrientes.

Por otro lado, los compostajes de gallinaza y bovinaza también muestran beneficios significativos. Aunque pueden generar valores de carbono orgánico, materia orgánica y nitrógeno intermedios en comparación con el raquis de palma, estos compostajes tienen efectos positivos en la estructura del suelo y en la densidad aparente. Reducen la compactación del suelo y mejoran la aireación, lo cual favorece el desarrollo radicular de las plantas y facilita la absorción de nutrientes esenciales.

**Tabla 8***Efecto de la aplicación de materia orgánica compostada sobre el carbono orgánico oxidable*

|                  | Variable  | COOx (%)          | MO (%)            | N total (%)        | Densidad A (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------------|-----------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------------------|
| Análisis Inicial | P-valor   | <u>0,0002</u>     | <u>0,0002</u>     | <u>0,0002</u>      | <u>0,038</u>                    |
|                  | Gallinaza | 2,16 ab<br>± 0,17 | 3,72 ab<br>± 0,30 | 0,18 ab<br>± 0,01  | 1,22 ab<br>± 0,06               |
|                  | Bovinaza  | 2,85 bc<br>± 0,29 | 4,92 bc<br>± 0,50 | 0,24 bc<br>± 0,02  | 1,15 ab<br>± 0,06               |
|                  | Raquis P. | 3,04 c<br>± 0,69  | 5,25 c<br>± 1,18  | 0,25 c<br>± 0,06 c | 1,13 a<br>± 0,07                |
|                  | Testigo   | 1,54 a<br>± 0,28  | 2,65 a<br>± 0,48  | 0,12 a<br>± 0,02   | 1,30 b<br>± 0,11                |
| Análisis final   | P-valor   | <u>0,0002</u>     | <u>0,0002</u>     | <u>0,0002</u>      | <u>0,0002</u>                   |
|                  | Gallinaza | 3,80 b<br>± 1,25  | 6,55 b<br>± 2,15  | 0,31 b<br>± 0,10   | 1,05 a<br>± 0,11                |
|                  | Bovinaza  | 4,22 bc<br>± 1,44 | 7,28 bc<br>± 2,49 | 0,35 bc<br>± 0,12  | 1,03 a<br>± 0,13                |
|                  | Raquis P. | 5,97 c<br>± 2,05  | 10,29 c<br>± 3,53 | 0,49 c<br>± 0,17   | 0,92 a<br>± 0,12                |
|                  | Testigo   | 1,88 a<br>± 0,62  | 3,24 a<br>± 1,07  | 0,15 a<br>± 0,05   | 1,28 b<br>± 0,11                |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test Análisis de varianza ANOVA (n = 20). El análisis inicial se realizó de manera independiente a los datos registrados al final de experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas, luego de la aplicación de materia orgánica compostada sobre el carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y densidad aparente en suelos cultivados en palma al inicio (una aplicación) y finalización del experimento (tres aplicaciones). *Fuente.* Autor

Con una sola aplicación de materia orgánica el nivel de calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) fue estadísticamente homogéneo a partir del compostaje aplicado. Las variables referentes al nivel de potasio intercambiable y acidez intercambiable presentaron diferencias

significativas según el compostaje aplicado al suelo. El dato más bajo para estas dos variables se presentó en el suelo testigo, seguido de los datos registrados para raquis de palma, bovinaza y gallinaza (Tabla 9)

Al finalizar el estudio, posterior a la tercera aplicación de compostaje, el nivel de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y acidez intercambiable fue estadísticamente heterogéneo. El menor dato registrado para el nivel de potasio (K) y magnesio (Mg) intercambiable se evidenció en el suelo testigo y utilizando bovinaza y raquis de palma. Aplicar compostaje de gallinaza generó el mayor nivel de potasio (K) y magnesio (Mg) intercambiable (Tabla 9).

El menor nivel de calcio intercambiable se registró en el suelo testigo y el mayor valor en el tratamiento donde se aplicó tres veces el compostaje de gallinaza. Utilizar bovinaza y raquis de palma generó valores intermedios entre no aplicar materia orgánica y usar gallinaza (Tabla 9).

Aplicar tres veces el compostaje de gallinaza y bovinaza generó el mayor nivel de sodio intercambiable. Usar raquis de palma o no aplicar materia orgánica (testigo) evidenció el menor dato para esta variable (Tabla 9).

El suelo que recibió tres aplicaciones de compostaje de gallinaza evidenció acidez intercambiable nula ( $0,00 \pm 0,00$ ). El mayor nivel de acidez intercambiable se registró en el suelo testigo, seguido de aplicar compostaje de bovinaza y raquis de palma (Tabla 9).

**Tabla 9***Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre el nivel de potasio*

| Variable         | K Interc.<br>(meq/100g) | Ca Interc.<br>(meq/100g) | Mg Interc.<br>(meq/100g) | Na Interc.<br>(meq/100g) | Acidez Interc.<br>(meq/100g) |                   |
|------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------|
| P-valor          | <u>0,0084</u>           | 0,1282                   | 0,0831                   | 0,1496                   | <u>0,0020</u>                |                   |
| Análisis Inicial | Gallinaza               | 1,06 b<br>± 0,32         | 16,12 a<br>± 4,00        | 5,76 a<br>± 1,47         | 0,29 a<br>± 0,07             | 0,00 a<br>± 0,00  |
|                  | Bovinaza                | 0,83 ab<br>± 0,19        | 11,75 a<br>± 2,28        | 5,82 a<br>± 1,88         | 0,23 a<br>± 0,02             | 0,16 a<br>± 0,04  |
|                  | Raquis P.               | 0,71 ab<br>± 0,34        | 13,85 a<br>± 6,11        | 4,49 a<br>± 1,04         | 0,25 a<br>± 0,02             | 0,18 a<br>± 0,20  |
|                  | Testigo                 | 0,35 a<br>± 0,15         | 8,90 a<br>± 6,18         | 3,05 a<br>± 2,00         | 0,22 a<br>± 0,03             | 2,00 b<br>± 1,30  |
|                  | P-valor                 | <u>0,0001</u>            | <u>0,0065</u>            | <u>0,0002</u>            | <u>0,0035</u>                | <u>0,0441</u>     |
| Análisis final   | Gallinaza               | 1,74 b<br>± 0,59         | 17,06 b<br>± 4,13        | 11,81 b<br>± 3,37        | 0,31 b<br>± 0,11 b           | 0,00 a<br>± 0,00  |
|                  | Bovinaza                | 0,51 a<br>± 0,27         | 11,30 ab<br>± 4,15       | 5,18 a<br>± 1,64         | 0,17 ab<br>± 0,03            | 0,12 ab<br>± 0,17 |
|                  | Raquis P.               | 0,40 a<br>± 0,23         | 13,82 ab<br>± 6,29       | 5,16 a<br>± 1,37         | 0,12 a<br>± 0,02             | 0,04 ab<br>± 0,06 |
|                  | Testigo                 | 0,28 a<br>± 0,12         | 7,36 a<br>± 6,33         | 2,83 a<br>± 2,25         | 0,13 a<br>± 0,02             | 1,23 b<br>± 1,48  |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test Análisis de varianza ANOVA (n = 20). El análisis inicial se realizó de manera independiente a los datos registrados al final de experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de la aplicación de materia orgánica sobre el nivel de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y acidez intercambiable en suelos cultivados en palma al inicio (una aplicación) y finalización del experimento (tres aplicaciones).

*Fuente.* Autor

Posterior a la primera aplicación de compostaje, el mayor contenido de fósforo y azufre se registró en los suelos con compostaje de gallinaza y bovinaza; y el menor contenido de estos dos elementos en el suelo testigo y con raquis de palma (Tabla 10).

**Tabla 10***Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre el contenido de fósforo*

|                  | Variable  | P (mg/Kg)             | S (mg/Kg)          |
|------------------|-----------|-----------------------|--------------------|
| Análisis Inicial | P-valor   | 0,0005                | 0,0429             |
|                  | Gallinaza | 616,80 c<br>± 265,74  | 34,71 b<br>± 23,51 |
|                  | Bovinaza  | 115,74 bc<br>± 36,79  | 21,92 b<br>± 5,76  |
|                  | Raquis P. | 66,34 ab<br>± 19,67   | 9,78 a<br>± 2,46   |
|                  | Testigo   | 0,44 a<br>± 0,20      | 14,13 ab<br>± 4,75 |
|                  | P-valor   | 0,0007                | 0,0102             |
| Análisis Final   | Gallinaza | 2552,00 c<br>± 438,20 | 94,26 b<br>± 23,87 |
|                  | Bovinaza  | 174,36 ab<br>± 118,34 | 14,03 a<br>± 7,48  |
|                  | Raquis P. | 367,80 bc<br>± 166,36 | 20,83 a<br>± 16,83 |
|                  | Testigo   | 38,86 a<br>± 6,15     | 10,34 a<br>± 7,08  |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test Análisis de varianza ANOVA (n = 20). El análisis inicial se realizó de manera independiente a los datos registrados al final de experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de la aplicación de materia orgánica sobre el contenido de fósforo (P) y potasio (K) en suelos cultivados en palma al inicio (una aplicación) y finalización del experimento (tres aplicaciones). *Fuente.* Autor

Después de tres aplicaciones de materia orgánica, el mayor contenido de azufre en el suelo se presentó usando gallinaza y el menor contenido aplicando compostaje de bovinaza, raquis de palma y en el suelo testigo (Tabla 10).

En el caso del fósforo, el mayor contenido de este elemento se registró con gallinaza y el menor valor se presentó en el suelo testigo. Aplicar tres veces el compostaje de bovinaza y raquis de palma generó valores intermedios para este elemento en el suelo (Tabla 10).

Posterior a la primera aplicación de materia orgánica el nivel de saturación de magnesio (mg), sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca) fue estadísticamente homogéneo de acuerdo al tipo de compostaje aplicado. El mayor nivel de saturación de aluminio (Al) se presentó en el suelo testigo y el menor nivel en suelos con aplicación de raquis de palma y bovinaza. Utilizar compostaje de gallinaza generó un nivel de saturación nulo ( $0,00 \pm 0,00$ ) (Tabla 11).

Después de las tres aplicaciones de materia orgánica se presentaron diferencias significativas en el nivel de saturación de aluminio y saturación de potasio. El suelo sin aplicación de materia orgánica se mantiene con el mayor nivel de saturación de aluminio. Aplicar compostaje de bovinaza y raquis de palma generó el menor nivel de saturación de aluminio. Utilizar compostaje de gallinaza generó un nivel de saturación nulo ( $0,00 \pm 0,00$ ) (Tabla 11).

Respecto al nivel de saturación de potasio (K), los resultados mostraron que el mayor valor se evidenció en el suelo tratado con compostaje de gallinaza. Por otro lado, el menor nivel de saturación de potasio se registró tanto en el suelo testigo como en el suelo tratado con compostajes de bovinaza y raquis de palma (Tabla 11).

Estos hallazgos indican que el compostaje de gallinaza es particularmente eficaz para aumentar la saturación de potasio en el suelo, en comparación con los otros tipos de compostajes evaluados y el suelo sin tratamiento. Esto puede ser atribuido a la mayor disponibilidad de potasio en la gallinaza, lo cual puede ser beneficioso para los cultivos que requieren altos niveles de este nutriente para su crecimiento y desarrollo.

**Tabla 11***Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre el nivel de saturación de magnesio*

| Variable         | Mg (%)    | Na (%)             | Al (%)           | K (%)              | Ca (%)           |                    |
|------------------|-----------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| P-valor          | 0,1063    | 0,2553             | <u>0,0025</u>    | 0,0449             | 0,3795           |                    |
| Análisis Inicial | Gallinaza | 24,86 a<br>± 3,48  | 1,29 a<br>± 0,30 | 0,00 a<br>± 0,00   | 4,65 a<br>± 1,46 | 69,16 a<br>± 4,77  |
|                  | Bovinaza  | 30,72 a<br>± 5,38  | 1,25 b<br>± 0,16 | 0,87 a<br>± 0,21   | 4,52 a<br>± 1,24 | 62,66 a<br>± 5,52  |
|                  | Raquis P. | 24,74 a<br>± 7,22  | 1,39 a<br>± 0,49 | 1,38 ab<br>± 1,93  | 3,81 a<br>± 1,41 | 68,78 a<br>± 10,43 |
|                  | Testigo   | 20,04 a<br>± 6,83  | 1,87 a<br>± 0,82 | 21,07 b<br>± 20,21 | 2,48 a<br>± 0,73 | 54,54 a<br>± 20,90 |
|                  | P-valor   | 0,0976             | 0,1858           | <u>0,0305</u>      | <u>0,0003</u>    | 0,1043             |
| Análisis final   | Gallinaza | 37,72 a<br>± 6,51  | 1,04 a<br>± 0,33 | 0,00 a<br>± 0,00   | 5,72 b<br>± 1,69 | 55,56 a<br>± 7,75  |
|                  | Bovinaza  | 24,20 a<br>± 12,05 | 1,10 a<br>± 0,42 | 0,84 ab<br>± 1,19  | 2,83 a<br>± 0,63 | 64,90 a<br>± 3,21  |
|                  | Raquis P. | 27,46 a<br>± 4,22  | 0,76 a<br>± 0,35 | 0,32 ab ±<br>0,44  | 2,03 a<br>± 0,44 | 69,50 a<br>± 4,65  |
|                  | Testigo   | 23,38 a<br>± 12,00 | 1,39 a<br>± 0,56 | 13,64 b<br>± 14,77 | 2,76 a<br>± 1,14 | 58,76 a<br>± 20,27 |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test Análisis de varianza ANOVA (n = 20). El análisis inicial se realizó de manera independiente a los datos registrados al final de experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de la aplicación de materia orgánica sobre el nivel de saturación de magnesio (mg), sodio (Na), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) en suelos cultivados en palma al inicio (una aplicación) y finalización del experimento (tres aplicaciones). *Fuente.* Autor

Posterior a la primera aplicación de materia orgánica, la relación de calcio/magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio/potasio (Mg/K) y calcio-magnesio-potasio no presentó diferencias significativas en función del tipo de compostaje aplicado (Tabla 12).

Al finalizar el estudio, después de la tercera aplicación de materia orgánica, se observó que la relación calcio/potasio (Ca/K), magnesio/potasio (Mg/K) y calcio-magnesio-potasio fue estadísticamente diferente entre los tratamientos. El menor valor registrado para estas variables se encontró en el suelo tratado con compostaje de gallinaza. En contraste, el suelo testigo y los suelos con aplicación de compostaje de bovinaza y raquis de palma presentaron los valores más altos para estas relaciones (Tabla 12).

Estos resultados sugieren que, aunque la primera aplicación de materia orgánica no afectó significativamente las relaciones entre estos nutrientes, las aplicaciones repetidas de compostajes específicos, como la gallinaza, pueden modificar significativamente la proporción de estos nutrientes en el suelo.

En la siguiente tabla muestra el efecto de la aplicación de materia orgánica sobre la relación de calcio magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio potasio (Mg/K) y calcio-magnesio-potasio en suelos cultivados en palma al inicio (una aplicación) y finalización del experimento (tres aplicaciones).

**Tabla 12**

*Efecto de la aplicación de materia orgánica sobre la relación de calcio-magnesio-potasio en suelos cultivados en palma*

| Variable         | Ca/Mg     | Ca/K             | Mg/K                   | (Ca + Mg) + K      |                     |
|------------------|-----------|------------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| P-valor          | 0,4546    | 0,4973           | 0,4080                 | 0,4754             |                     |
| Análisis Inicial | Gallinaza | 2,85 a<br>± 0,58 | 16,29 a<br>± 5,72      | 5,66 a<br>± 1,47   | 21,96 a<br>± 7,05   |
|                  | Bovinaza  | 2,12 a<br>± 0,57 | 14,70 a<br>± 4,05      | 7,16 a<br>± 2,08   | 21,88 a<br>± 5,56   |
|                  | Raquis P. | 3,12 a<br>± 1,54 | 24,26 a<br>± 21,23     | 7,14 a<br>± 2,38   | 31,40 a<br>± 23,31  |
|                  | Testigo   | 3,00 a<br>± 1,55 | 24,15 a<br>± 11,69     | 8,32 a<br>± 2,96   | 32,46 a<br>± 12,88  |
|                  | P-valor   | 0,1718           | 0,0098                 | 0,0396             | 0,0037              |
| Análisis final   | Gallinaza | 1,54 a<br>± 0,50 | 10,78 a<br>± 4,66      | 7,00 a<br>± 2,23 a | 17,80 a<br>± 6,59   |
|                  | Bovinaza  | 2,16 a<br>± 0,27 | 23,76 ab<br>± 4,67     | 11,16 ab<br>± 2,96 | 34,96ab<br>± 7,39   |
|                  | Raquis P. | 2,59 a<br>± 0,55 | 35,58 b<br>± 8,88      | 14,00 b<br>± 3,44  | 49,58 b<br>± 11,27  |
|                  | Testigo   | 3,22 a<br>± 2,14 | 24,92 ab<br>± 16,27 ab | 9,40 ab<br>± 4,88  | 34,34 ab<br>± 16,52 |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test Análisis de varianza ANOVA (n = 20). El análisis inicial se realizó de manera independiente a los datos registrados al final de experimento. Letras iguales en la misma columna indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

### **Efecto de la Cantidad de Aplicaciones de Compostaje de Bovinaza Sobre las**

#### **Características Químicas del Suelo**

Los datos registrados para las variables de pH, capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y densidad aparente en el suelo posterior a la primera, segunda y tercera aplicación de compostaje de bovinaza fueron estadísticamente homogéneos. Esto sugiere que estas

características del suelo no experimentaron cambios significativos debido a la segunda y tercera aplicación de materia orgánica (Tabla 13). La consistencia en estos parámetros indica que el compostaje de bovinaza no afectó estos aspectos del suelo de manera acumulativa a lo largo del tiempo.

En contraste, la conductividad eléctrica (CE) y el nivel de saturación de humedad mostraron diferencias significativas a lo largo del tiempo, correlacionadas con el número de aplicaciones de compostaje de bovinaza. Después de la primera aplicación, ambas variables disminuyeron gradualmente con la segunda y tercera aplicación del compostaje (Tabla 13). Esta tendencia sugiere que el compostaje de bovinaza influye en la capacidad del suelo para conducir electricidad y retener humedad, efectos que se intensifican con aplicaciones sucesivas.

En resumen, mientras que ciertas propiedades del suelo, como el pH, la CICE, el COOx, la MO, el N total y la densidad aparente, permanecieron estables con múltiples aplicaciones de compostaje de bovinaza, la conductividad eléctrica y la saturación de humedad disminuyeron, indicando una modificación en la dinámica del suelo con respecto a estos dos parámetros específicos.

**Tabla 13***Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el pH*

| Variable                        | Test estadístico   | P-valor      | Valoración |            |         |
|---------------------------------|--------------------|--------------|------------|------------|---------|
|                                 |                    |              | Inicial    | Intermedia | Final   |
| pH                              | ANOVA              | 0,230        | 5,24 a     | 5,22 a     | 5,58 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,626        | ± 0,11     | ± 0,15     | ± 0,31  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| CE (dS/m)                       | ANOVA              | <u>0,024</u> | 1,77 b     | 0,95       | 0,78 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,396        | ± 0,61     | ± 0,39 ab  | ± 0,33  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| CICE (meq/100)                  | ANOVA              | 0,637        | 18,80 a    | 16,96 a    | 17,32 a |
|                                 | Esfericidad        | 0,824        | ± 3,68     | ± 6,10     | ± 6,00  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Saturación H (%)                | ANOVA              | <u>0,015</u> | 33,78 b    | 31,04 ab   | 30,20 a |
|                                 | Esfericidad        | 0,063        | ± 6,16     | ± 6,18     | ± 5,68  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| COOx (%)                        | ANOVA              | 0,113        | 2,85 a     | 2,55 a     | 4,22 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,392        | ± 0,29     | ± 0,75     | ± 1,44  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| MO (%)                          | ANOVA              | 0,114        | 4,92 a     | 4,40 a     | 7,28 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,392        | ± 0,50     | ± 1,29     | ± 2,49  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| N total (%)                     | ANOVA              | 0,114        | 0,24 a     | 0,21 a     | 0,35 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,392        | ± 0,02     | ± 0,06     | ± 0,12  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Densidad A (g/cm <sup>3</sup> ) | ANOVA              | 0,059        | 1,15 a     | 1,19 a     | 1,03 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,609        | ± 0,06     | ± 0,10     | ± 0,13  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias

significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), saturación de humedad, carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y densidad aparente del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

El nivel de calcio (Ca), magnesio (Mg) y acidez intercambiable en el suelo se mantuvo constante a lo largo del tiempo, indicando que estas variables no fueron afectadas por la segunda y tercera aplicación de compostaje de bovinaza. Esto sugiere una estabilidad en la disponibilidad de Ca, Mg y la acidez del suelo, sin cambios significativos atribuibles al compostaje de bovinaza durante el estudio (Tabla 14).

Por otro lado, el nivel de potasio intercambiable (K) y sodio intercambiable (Na) mostró diferencias significativas a lo largo del tiempo. Después de la segunda aplicación del compostaje, tanto el K como el Na experimentaron una tendencia a disminuir. Sin embargo, estas variables fueron estadísticamente homogéneas posterior a la primera y tercera aplicación de compostaje de bovinaza, es decir, al inicio y finalización del estudio. Esto indica que los efectos del compostaje de bovinaza sobre el K y Na fueron más evidentes tras la segunda aplicación, mientras que el suelo se estabilizó nuevamente con la primera y tercera aplicación de este tipo de materia orgánica (Tabla 14).

**Tabla 14***Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el nivel de potasio*

| Variable                        | Test estadístico   | P-valor      | Valoración |            |         |
|---------------------------------|--------------------|--------------|------------|------------|---------|
|                                 |                    |              | Inicial    | Intermedia | Final   |
| K Intercam.<br>(meq/100g)       | ANOVA              | <u>0,033</u> | 0,83 a     | 0,82 ab    | 0,51 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,402        | ± 0,19     | ± 0,27     | ± 0,27  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Ca Intercamb.<br>(meq/100g)     | ANOVA              | 0,655        | 11,75 a    | 10,44 a    | 11,30 a |
|                                 | Esfericidad        | 0,947        | ± 2,28     | ± 3,82     | ± 4,15  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Mg Intercam.<br>(meq/100g)      | ANOVA              | 0,198        | 5,82 a     | 5,20 a     | 5,18 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,296        | ± 1,88     | ± 2,37     | ± 1,64  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Na Intercam.<br>(meq/100g)      | ANOVA              | <u>0,010</u> | 0,23 a     | 0,37 ab    | 0,17 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,625        | ± 0,02     | ± 0,09     | ± 0,03  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Acidez Intercamb.<br>(meq/100g) | ANOVA              | 0,262        | 0,16 a     | 0,10 a     | 0,12 a  |
|                                 | Esfericidad        | 0,097        | ± 0,04     | ± 0,03     | ± 0,17  |
|                                 | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el nivel de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y acidez intercambiable del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

El contenido de fósforo en el suelo fue estadísticamente homogéneo posterior a la primera, segunda y tercera aplicación de compostaje de bovinaza. El contenido de azufre presentó diferencias significativas en el tiempo, evidenciándose un incremento de este elemento posterior a la segunda aplicación de compostaje de bovinaza y una disminución posterior a la tercera aplicación (Tabla 15).

**Tabla 15**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el contenido de fosforo*

| Variable  | Test estadístico    | P-valor      | Valoración |            |          |
|-----------|---------------------|--------------|------------|------------|----------|
|           |                     |              | Inicial    | Intermedia | Final    |
| P (mg/Kg) | ANOVA               | 0,419        | 115,74 a   | 173,78 a   | 174,36 a |
|           | Esfericidad         | 0,562        | ±36,79     | ±104,04    | ± 118,34 |
|           | Greenhous e Geisser | N/A          |            |            |          |
| S (mg/Kg) | ANOVA               | <u>0,039</u> | 21,92 a    | 29,66 b    | 14,03 ab |
|           | Esfericidad         | 0,065        | ± 5,76     | ± 6,32     | ± 7,48   |
|           | Greenhous e Geisser | N/A          |            |            |          |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el contenido de fosforo (P) y azufre (S) del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

El nivel de saturación de magnesio (Mg), sodio (Na), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) en el suelo palmicultor se mantuvo estadísticamente homogéneo a lo largo del estudio, tanto después de la primera, segunda como tercera aplicación de compostaje de bovinaza. Esto indica que las aplicaciones repetidas de este tipo de compostaje no generaron diferencias significativas en la saturación de estos elementos en el suelo.

Este hallazgo sugiere que el compostaje de bovinaza no afectó de manera significativa los niveles de saturación de Mg, Na, Al, K y Ca en el suelo palmicultor. La estabilidad en estas variables es crucial para mantener un equilibrio adecuado de nutrientes y elementos en el suelo, lo cual es fundamental para la salud y productividad de los cultivos de palma.

**Tabla 16**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el nivel de saturación de magnesio*

| Variable          | Test estadístico   | P-valor | Valoración |            |         |
|-------------------|--------------------|---------|------------|------------|---------|
|                   |                    |         | Inicial    | Intermedia | Final   |
| Saturación Mg (%) | ANOVA              | 0,469   | 30,72 a    | 30,06 a    | 24,20 a |
|                   | Esfericidad        | 0,009   | ± 5,38     | ± 5,83     | ± 12,04 |
|                   | Greenhouse Geisser | 0,316   |            |            |         |
| Saturación Na (%) | ANOVA              | 0,061   | 1,25 a     | 2,42 b     | 1,10 b  |
|                   | Esfericidad        | 0,069   | ± 0,16     | ± 1,12     | ± 0,42  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Saturación Al (%) | ANOVA              | 0,773   | 0,87 a     | 0,72 a     | 0,84 a  |
|                   | Esfericidad        | 0,090   | ± 0,21     | ± 0,38     | ± 1,19  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Saturación K (%)  | ANOVA              | 0,057   | 4,52 a     | 5,03 a     | 2,83 a  |
|                   | Esfericidad        | 0,350   | ± 1,24     | ± 1,38     | ± 0,63  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Saturación Ca (%) | ANOVA              | 0,684   | 62,66 a    | 61,72 a    | 64,90 a |
|                   | Esfericidad        | 0,195   | ± 5,52     | ± 7,28     | ± 3,21  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre el nivel de saturación de magnesio (mg), sodio (Na), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

El nivel de calcio (Ca), magnesio (Mg) y acidez intercambiable en el suelo palmicultor se mantuvo constante a lo largo de todo el estudio, a pesar de la aplicación repetida de compostaje

de bovinaza. Esto implica que las concentraciones de Ca y Mg en el suelo no fueron afectadas significativamente por las aplicaciones adicionales de este tipo de materia orgánica. La estabilidad en la acidez intercambiable sugiere que las propiedades ácidas del suelo tampoco se vieron alteradas por las aplicaciones de compostaje de bovinaza.

En contraste, el nivel de potasio intercambiable (K) y sodio intercambiable (Na) mostró variaciones significativas a lo largo del tiempo del estudio. Tras la segunda aplicación de compostaje de bovinaza, se observó una disminución en los niveles de K y Na en el suelo. Esta disminución podría estar relacionada con la absorción o la lixiviación de estos nutrientes en el suelo. Sin embargo, es importante destacar que no se observaron cambios significativos en los niveles de K y Na después de la primera y tercera aplicación de compostaje de bovinaza. Esto indica que el efecto inicial del compostaje sobre la disponibilidad de K y Na fue más pronunciado después de la segunda aplicación, pero el suelo pudo recuperar su estado inicial con las aplicaciones adicionales de compostaje.

Estos resultados son indicativos de cómo diferentes tipos y frecuencias de aplicación de compostaje pueden afectar las propiedades químicas del suelo, específicamente en términos de disponibilidad de nutrientes como Ca, Mg, K y Na. La estabilidad observada en Ca, Mg y la acidez intercambiable resalta la capacidad del suelo para mantener ciertos equilibrios químicos a pesar de las intervenciones de manejo agrícola.

**Tabla 17**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre la relación de calcio magnesio*

| Variable     | Test estadístico   | P-valor      | Valoración |            |         |
|--------------|--------------------|--------------|------------|------------|---------|
|              |                    |              | Inicial    | Intermedia | Final   |
| Ca/Mg        | ANOVA              | 0,866        | 2,12 a     | 2,17 a     | 2,16 a  |
|              | Esfericidad        | 0,145        | ± 0,57     | ± 0,73     | ± 0,27  |
|              | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Ca/K         | ANOVA              | <u>0,003</u> | 14,70 a    | 13,13 a    | 23,76 b |
|              | Esfericidad        | 0,162        | ± 4,05     | ± 4,02     | ± 4,67  |
|              | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |         |
| Mg/K         | ANOVA              | 0,750        | 7,16 ab    | 6,18 a     | 11,16 b |
|              | Esfericidad        | 0,004        | ± 2,08     | ± 1,49     | ± 2,96  |
|              | Greenhouse Geisser | 0,032        |            |            |         |
| (Ca + Mg)+ K | ANOVA              | 0,003        | 21,88 a    | 19,30 a    | 34,96 b |
|              | Esfericidad        | 0,043        | ± 5,56     | ± 4,95     | ± 7,39  |
|              | Greenhouse Geisser | <u>0,006</u> |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de bovinaza sobre la relación de calcio magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio potasio (Mg/K) y de calcio-magnesio-potasio (Ca + Mg) + K del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

### **Efecto de la Cantidad de Aplicaciones de Compostaje de Gallinaza Sobre las Características Químicas del Suelo**

El análisis de las variables de saturación de humedad (%), contenido de carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y conductividad eléctrica (CE), en relación con la aplicación repetida de compostaje de gallinaza, mostró que no hubo diferencias significativas a lo largo del estudio (Tabla 18). Esto indica que la saturación de humedad, el contenido de COOx y MO, así como el N total y la CE, permanecieron estables independientemente de la cantidad de veces que se aplicó el compostaje de gallinaza en el suelo.

Sin embargo, se observaron diferencias estadísticamente significativas para las variables de pH, CE y densidad aparente según la cantidad de aplicaciones de compostaje de gallinaza (Tabla 18). Esto sugiere que la acidificación, la conductividad eléctrica del suelo y su densidad aparente fueron afectadas por la frecuencia de aplicación de la gallinaza como enmienda orgánica.

Al finalizar el estudio, posterior a la tercera aplicación de compostaje de gallinaza, se registró un incremento en el pH, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y la densidad aparente del suelo en comparación con los datos obtenidos después de la primera aplicación de compostaje. Este hallazgo indica que la acumulación progresiva de gallinaza en el suelo puede influir positivamente en la alcalinización del pH, la mejora de la capacidad de intercambio de nutrientes y posiblemente en la disminución de la compactación del suelo a través de un aumento en su densidad aparente.

Estos resultados subrayan la importancia de gestionar adecuadamente las aplicaciones de compostaje de gallinaza para optimizar las propiedades físicas y químicas del suelo, contribuyendo así a la sostenibilidad y productividad de los sistemas agrícolas.

**Tabla 18***Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre el pH*

| Variable                           | Test estadístico | P-valor      | Valoración |            |         |
|------------------------------------|------------------|--------------|------------|------------|---------|
|                                    |                  |              | Inicial    | Intermedia | Final   |
| pH                                 | ANOVA            | <u>0,008</u> | 6,27 a     | 6,61 ab    | 6,73 b  |
|                                    | Esfericidad      | 0,181        | ± 0,19 a   | ± 0,35     | ± 0,03  |
|                                    | Greenhouse       | N/A          |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |
| CE (dS/m)                          | ANOVA            | 0,007        | 1,44 a     | 0,86 a     | 1,77 a  |
|                                    | Esfericidad      | 0,043        | ± 0,39     | ± 0,18     | ± 0,51  |
|                                    | Greenhouse       | 0,070        |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |
| CICE<br>(meq/100)                  | ANOVA            | <u>0,030</u> | 23,24 a    | 25,12 ab   | 30,92 b |
|                                    | Esfericidad      | 0,496        | ± 5,20     | ± 6,93     | ± 6,78  |
|                                    | Greenhouse       | N/A          |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |
| Saturación H<br>(%)                | ANOVA            | 0,212        | 34,00 a    | 33,50 a    | 31,54 a |
|                                    | Esfericidad      | 0,798        | ± 5,87     | ± 4,68     | ± 4,58  |
|                                    | Greenhouse       | N/A          |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |
| COOx (%)                           | ANOVA            | 0,150        | 2,16 a     | 2,36 a     | 3,80 a  |
|                                    | Esfericidad      | 0,357        | ± 0,17     | ± 0,70     | ± 1,25  |
|                                    | Greenhouse       | N/A          |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |
| MO (%)                             | ANOVA            | 0,150        | 3,72 a     | 4,07 a     | 6,55 a  |
|                                    | Esfericidad      | 0,357        | ± 0,30     | ± 1,21     | ± 2,15  |
|                                    | Greenhouse       | N/A          |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |
| N total (%)                        | ANOVA            | 0,149        | 0,18 a     | 0,19 a     | 0,31 a  |
|                                    | Esfericidad      | 0,356        | ± 0,01     | ± 0,05     | ± 0,10  |
|                                    | Greenhouse       | N/A          |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |
| Densidad A<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | ANOVA            | <u>0,026</u> | 1,22 a     | 1,18 ab    | 1,05 b  |
|                                    | Esfericidad      | 0,304        | ± 0,06     | ± 0,09     | ± 0,11  |
|                                    | Greenhouse       | N/A          |            |            |         |
|                                    | Geisser          |              |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias

significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre el pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), saturación de humedad, carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y densidad aparente del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

El análisis de las variables de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y acidez intercambiable en relación con la cantidad de aplicaciones de compostaje de gallinaza no mostró diferencias estadísticamente significativas a lo largo del estudio (Tabla 19). Esto indica que la concentración de K, Ca, Mg y la acidez intercambiable en el suelo no fueron afectadas por la frecuencia de aplicación del compostaje de gallinaza.

Por otro lado, el nivel de sodio (Na) intercambiable mostró diferencias estadísticamente significativas en el tiempo, con un p-valor de 0,047. Se observó un incremento en la concentración de Na intercambiable en el suelo después de la segunda aplicación de compostaje de gallinaza. Al finalizar el estudio, no se registraron cambios significativos en el nivel de Na intercambiable en comparación con los datos obtenidos posterior a la segunda aplicación de compostaje (Tabla 19).

Estos resultados indican que mientras que los niveles de K, Ca, Mg y acidez intercambiable se mantuvieron estables independientemente de la cantidad de aplicaciones de compostaje de gallinaza, el nivel de Na intercambiable experimentó un incremento transitorio que luego se estabilizó. Esto podría deberse a la capacidad de la gallinaza para aportar diferentes nutrientes y elementos al suelo, y también a la dinámica natural de la interacción del Na con otros componentes del suelo a lo largo del tiempo.

**Tabla 19**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre el nivel de potasi*

| Variable                       | Test estadístico   | P-valor      | Valoración |             |             |
|--------------------------------|--------------------|--------------|------------|-------------|-------------|
|                                |                    |              | Inicial    | Intermedia  | Final       |
| K Intercam.<br>(meq/100g)      | ANOVA              | 0,158        | 1,06 a     | 1,25 a      | 1,74 a      |
|                                | Esfericidad        | 0,163        | ± 0,32     | ± 0,66      | ± 0,59      |
|                                | Greenhouse Geisser | N/A          |            |             |             |
| Ca Intercam.<br>(meq/100g)     | ANOVA              | 0,331        | 16,12 a    | 17,82 a     | 17,06 a     |
|                                | Esfericidad        | 0,554        | ± 4,00     | ± 5,72      | ± 4,13      |
|                                | Greenhouse Geisser | N/A          |            |             |             |
| Mg Intercam.<br>(meq/100g)     | ANOVA              | 0,090        | 5,76 a     | 5,65 a      | 11,81 b     |
|                                | Esfericidad        | 0,0,28       | ± 1,47     | ± 1,61      | ± 3,37      |
|                                | Greenhouse Geisser | 0,017*       |            |             |             |
| Na Intercam.<br>(meq/100g)     | ANOVA              | <u>0,047</u> | 0,29 a     | 0,40 b      | 0,31 ab     |
|                                | Esfericidad        | 0,289        | ± 0,07     | ± 0,08      | ± 0,11      |
|                                | Greenhouse Geisser | N/A          |            |             |             |
| Acidez Intercam.<br>(meq/100g) | ANOVA              | N/A          | 0,00       | 0,00 ± 0,00 | 0,00 ± 0,00 |
|                                | Esfericidad        | N/A          | ± 0,00     |             |             |
|                                | Greenhouse Geisser | N/A          |            |             |             |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Bonferroni no muestra diferencias significativas, ya que el p-valor está en el límite 0,052 y 0,061. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre el nivel de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y acidez intercambiable del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

La cantidad de fósforo (P) y azufre (S) fue estadísticamente diferente en el tiempo, evidenciándose un incremento en el último análisis realizado posterior a la tercera aplicación de compostaje de gallinaza (Tabla 20).

**Tabla 20**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre el contenido de fósforo (P) y azufre (S) del suelo palmicultor*

| Variable     | Test estadístico   | P-valor      | Valoración |            |           |
|--------------|--------------------|--------------|------------|------------|-----------|
|              |                    |              | Inicial    | Intermedia | Final     |
| P<br>(mg/Kg) | ANOVA              | <u>0,015</u> | 616,80 a   | 1477,40 ab | 2552,00 b |
|              | Esfericidad        | 0,742        | ± 265,74   | ± 842,46   | ± 438,20  |
|              | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |           |
| S<br>(mg/Kg) | ANOVA              | <u>0,026</u> | 34,71 a    | 74,12 ab   | 94,26 b   |
|              | Esfericidad        | 0,305        | ± 23,51    | ± 36,36    | ± 23,87   |
|              | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |           |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

El nivel de saturación de magnesio (Mg), sodio (Na), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) en el suelo palmicultor se mantuvo estadísticamente homogéneo a lo largo de las diferentes aplicaciones de compostaje de gallinaza, como se evidencia en la Tabla 21 del estudio. Esto indica que las concentraciones de Mg, Na, Al, K y Ca no mostraron variaciones significativas en respuesta a la frecuencia de aplicación del compostaje de gallinaza. Este resultado es importante porque sugiere que el compostaje de gallinaza no afectó de manera diferencial la saturación de estos elementos en el suelo durante el período de estudio.

**Tabla 21**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre el nivel de saturación de magnesio (mg), sodio (Na), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) del suelo palmicultor*

| Variable          | Test estadístico   | P-valor | Valoración |            |         |
|-------------------|--------------------|---------|------------|------------|---------|
|                   |                    |         | Inicial    | Intermedia | Final   |
| Saturación Mg (%) | ANOVA              | 0,091   | 24,86 a    | 22,64 a    | 37,72 a |
|                   | Esfericidad        | 0,053   | ± 3,48     | ± 3,33     | ± 6,51  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Saturación Na (%) | ANOVA              | 0,052   | 1,29 a     | 1,63 a     | 1,04 a  |
|                   | Esfericidad        | 0,725   | ± 0,30     | ± 0,26     | ± 0,33  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Saturación Al (%) | ANOVA              | N/A     | 0,00       | 0,00       | 0,00    |
|                   | Esfericidad        | N/A     | ± 0,00     | ± 0,00     | ± 0,00  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Saturación K (%)  | ANOVA              | 0,440   | 4,65 a     | 5,33 a     | 5,72 a  |
|                   | Esfericidad        | 0,233   | ± 1,46     | ± 3,50     | ± 1,68  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Saturación Ca (%) | ANOVA              | 0,206   | 69,16 a    | 70,38 a    | 55,56 a |
|                   | Esfericidad        | 0,069   | ± 4,77     | ± 7,05     | ± 7,75  |
|                   | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

La relación de calcio magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio potasio (Mg/K) y calcio-magnesio-potasio fue estadísticamente homogéneo de acuerdo a la cantidad de veces que se aplicó el compostaje de gallinaza (Tabla 22).

**Tabla 22**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre la relación de calcio magnesio*

| Variable      | Test estadístico   | P-valor | Valoración |            |         |
|---------------|--------------------|---------|------------|------------|---------|
|               |                    |         | Inicial    | Intermedia | Final   |
| Ca/Mg         | ANOVA              | 0,145   | 2,85 a     | 3,19 a     | 1,54 a  |
|               | Esfericidad        | 0,175   | ± 0,58     | ± 0,72     | ± 0,50  |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Ca/K          | ANOVA              | 0,418   | 16,29 a    | 17,93 a    | 10,78 a |
|               | Esfericidad        | 0,720   | ± 5,72     | ± 10,13    | ± 4,66  |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Mg/K          | ANOVA              | 0,226   | 5,66 a     | 5,25 a     | 7,00 a  |
|               | Esfericidad        | 0,851   | ± 1,47     | ± 2,10     | ± 2,23  |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| (Ca + Mg) + K | ANOVA              | 0,625   | 21,96 a    | 23,18 a    | 17,80 a |
|               | Esfericidad        | 0,893   | ± 7,05     | ± 12,21    | ± 6,59  |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de gallinaza sobre la relación de calcio magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio potasio (Mg/K) y de calcio-magnesio-potasio (Ca + Mg) + K del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

### **Efecto de la Cantidad de Aplicaciones de Compostaje de Raquis de Palma sobre las Características Químicas del Suelo**

Las variables de pH, conductividad eléctrica (CE), nivel de saturación de humedad, carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y densidad

aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) mostraron homogeneidad estadística a lo largo de las diferentes aplicaciones de compostaje de raquis de palma, como se observa en la Tabla 23 del estudio.

Este resultado indica que las concentraciones y propiedades medidas de estas variables no experimentaron cambios significativos en respuesta a la frecuencia de aplicación del compostaje de raquis de palma durante el período de estudio. La falta de diferencias significativas sugiere que el compostaje de raquis de palma no afectó de manera diferencial estas características del suelo en los diferentes momentos de aplicación.

Por otro lado, la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) sí mostró diferencias significativas en el tiempo. Específicamente, se observó un incremento en la CICE posterior a la segunda aplicación del compostaje de raquis de palma, como se detalla en la Tabla 23. Este aumento puede indicar una mejora en la capacidad del suelo para retener e intercambiar iones cationes esenciales para el crecimiento de las plantas.

Es relevante destacar que la CICE registrada después de la segunda aplicación del compostaje se mantuvo constante en el tercer y último análisis del suelo. Este hallazgo sugiere que el efecto positivo del compostaje de raquis de palma en la CICE se mantuvo estable a lo largo del tiempo, lo cual es un indicativo positivo para la salud y fertilidad del suelo en el contexto de la agricultura sostenible.

En síntesis, mientras que las variables de pH, CE, nivel de saturación de humedad,  $\text{COOx}$ , MO, N total y densidad aparente mostraron estabilidad frente al compostaje de raquis de palma, la CICE experimentó mejoras significativas, subrayando la importancia de esta práctica de manejo orgánico en la calidad del suelo agrícola.

**Tabla 23**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de raquis de palma sobre el pH, conductividad eléctrica*

| Variable                           | Test estadístico   | P-valor      | Valoración |            |          |
|------------------------------------|--------------------|--------------|------------|------------|----------|
|                                    |                    |              | Inicial    | Intermedia | Final    |
| pH                                 | ANOVA              | 0,632        | 5,50 a     | 5,47 a     | 5,80 a   |
|                                    | Esfericidad        | 0,627        | ± 0,78     | ± 0,80     | ± 0,44   |
|                                    | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |          |
| CE (dS/m)                          | ANOVA              | 0,058        | 1,46 a     | 0,51 a     | 0,98 a   |
|                                    | Esfericidad        | 0,838        | ± 0,36     | ± 0,15     | ± 0,31   |
|                                    | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |          |
| CICE<br>(meq/100)                  | ANOVA              | <u>0,033</u> | 19,46 a    | 16,22 b    | 19,56 ab |
|                                    | Esfericidad        | 0,077        | ± 6,52     | ± 6,71     | ± 7,74   |
|                                    | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |          |
| Saturación<br>H (%)                | ANOVA              | 0,073        | 31,88 a    | 30,88 a    | 29,78 a  |
|                                    | Esfericidad        | 0,017        | ± 6,38     | ± 5,73     | ± 5,39   |
|                                    | Greenhouse Geisser | 0,604        |            |            |          |
| COOx (%)                           | ANOVA              | 0,097        | 3,04 a     | 2,36 a     | 5,97 a   |
|                                    | Esfericidad        | 0,129        | ± 0,69     | ± 0,70     | ± 2,05   |
|                                    | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |          |
| MO (%)                             | ANOVA              | 0,097        | 5,25 a     | 4,62 a     | 10,29 a  |
|                                    | Esfericidad        | 0,129        | ± 1,18     | ± 1,71     | ± 3,53   |
|                                    | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |          |
| N total<br>(%)                     | ANOVA              | 0,096        | 0,25 a     | 0,22 a     | 0,49 a   |
|                                    | Esfericidad        | 0,127        | ± 0,06     | ± 0,08     | ± 0,17   |
|                                    | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |          |
| Densidad<br>A (g/cm <sup>3</sup> ) | ANOVA              | 0,051        | 1,13 a     | 1,19 a     | 0,92 a   |
|                                    | Esfericidad        | 0,850        | ± 0,07     | ± 0,11     | ± 0,12   |
|                                    | Greenhouse Geisser | N/A          |            |            |          |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de raquis de palma sobre el pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), saturación de

humedad, carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N total) y densidad aparente del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

El nivel de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y acidez intercambiable no mostró diferencias significativas a lo largo de las diferentes aplicaciones de compostaje de raquis de palma, como se observa en la tabla 24 del estudio. Esto indica que las concentraciones de estos elementos y la acidez del suelo no fueron afectadas de manera diferencial por la frecuencia de aplicación del compostaje de raquis de palma durante el período de estudio.

Por otro lado, el nivel de sodio (Na) intercambiable presentó diferencias significativas en el tiempo, como se detalla en la misma tabla. Se evidenció un incremento en el nivel de sodio intercambiable posterior a la segunda y tercera aplicación del compostaje de raquis de palma. Este aumento puede ser atribuido a la liberación gradual de sodio contenido en el compostaje de raquis de palma a medida que se descompone y se integra en el suelo.

Es importante destacar que, aunque el nivel de sodio intercambiable aumentó después de las aplicaciones adicionales de compostaje, esta variable se mantuvo constante entre la segunda y tercera aplicación del compostaje de raquis de palma, como indica la tabla 24. Esto sugiere que el efecto del compostaje en el contenido de sodio en el suelo alcanzó una estabilidad después de la segunda aplicación.

Lo anterior, implica que los niveles de potasio, calcio, magnesio y acidez intercambiable no variaron significativamente con las aplicaciones sucesivas de compostaje de raquis de palma, el nivel de sodio intercambiable mostró un aumento progresivo que se estabilizó después de la segunda aplicación. Estos hallazgos son importantes para entender cómo el compostaje de raquis de palma puede influir en la composición química del suelo, proporcionando información relevante para prácticas agrícolas sostenibles y eficientes.

**Tabla 24**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de raquis de palma sobre el nivel de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y acidez intercambiable del suelo palmicultor*

| Variable                   | Test estadístico                           | P-valor               | Valoración       |                  |                  |
|----------------------------|--|-----------------------|------------------|------------------|------------------|
|                            |  |                       | Inicial          | Intermedia       | Final            |
| K                          | ANOVA                                      | 0,162                 | 0,71 a           | 0,48 a           | 0,40 a           |
| Intercam.<br>(meq/100g)    | Esfericidad<br>Greenhouse Geisser          | 0,320<br>N/A          | ± 0,34           | ± 0,19           | ± 0,23           |
| Ca                         | ANOVA                                      | 0,007                 | 13,85 a          | 11,02 a          | 13,82 a          |
| Intercam.<br>(meq/100g)    | Esfericidad<br>Greenhouse Geisser          | 0,010<br>0,319        | ± 6,11           | ± 5,83           | ± 6,29           |
| Mg Intercam.<br>(meq/100g) | ANOVA<br>Esfericidad<br>Greenhouse Geisser | 0,074<br>0,149<br>N/A | 4,49 a<br>± 1,04 | 5,65 a<br>± 1,61 | 5,16 a<br>± 1,37 |
| Na                         | ANOVA                                      | <u>0,016</u>          | 0,25 a           | 0,26 b           | 0,12 c           |
| Intercam.<br>(meq/100g)    | Esfericidad<br>Greenhouse Geisser          | 0,085<br>N/A          | ± 0,02           | ± 0,02           | ± 0,02           |
| Acidez                     | ANOVA                                      | 0,491                 | 0,18 a           | 0,39 a           | 0,04 a           |
| Intercam.<br>(meq/100g)    | Esfericidad<br>Greenhouse Geisser          | 0,068<br>N/A          | ± 0,20           | ± 0,60           | ± 0,06           |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

El contenido de fósforo (P) y potasio (K) no mostró diferencias significativas según la cantidad de aplicaciones de compostaje de raquis de palma, como se observa en la Tabla 25 del estudio. Esto indica que las concentraciones de fósforo y potasio en el suelo no fueron afectadas de manera diferencial por la frecuencia de aplicación del compostaje de raquis de palma durante el período de estudio.

**Tabla 25**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de raquis de palma sobre el contenido de fósforo (P) y azufre (S) del suelo palmicultor*

| Variable  | Test estadístico   | P-valor | Valoración |            |          |
|-----------|--------------------|---------|------------|------------|----------|
|           |                    |         | Inicial    | Intermedia | Final    |
| P (mg/Kg) | ANOVA              | 0,085   | 66,34 a    | 107,52 a   | 367,80 a |
|           | Esfericidad        | 0,325   | ± 19,67    | ±88,08     | ± 166,36 |
|           | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |          |
| S (mg/Kg) | ANOVA              | 0,311   | 9,78 a     | 18,02 a    | 20,83 a  |
|           | Esfericidad        | 0,714   | ± 2,46     | ±11,41     | ± 16,83  |
|           | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |          |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas.

El nivel de saturación de magnesio (mg), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) no presentó diferencias significativas según la cantidad de aplicaciones de compostaje de raquis de palma (Tabla 26).

El nivel de saturación de sodio (Na) presentó diferencias significativas en el tiempo evidenciándose un incremento posterior a la segunda aplicación del compostaje de raquis de palma, sin embargo, posterior a la tercera aplicación del compostaje el nivel de saturación de sodio (Na) es homogéneo respecto a los datos registrados en el primer análisis (Tabla 26).

**Tabla 26**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de raquis de palma sobre el nivel de saturación de magnesio (mg), sodio (Na), aluminio (Al), potasio (K) y calcio (Ca) del suelo palmicultor*

| Variable             | Test estadístico      | P-valor      | Valoración |            |             |
|----------------------|-----------------------|--------------|------------|------------|-------------|
|                      |                       |              | Inicial    | Intermedia | Final       |
| Saturación<br>Mg (%) | ANOVA                 | 0,689        | 24,74 a    | 25,94 a    | 27,46 ±     |
|                      | Esfericidad           | 0,162        | ± 7,22     | ± 5,71 a   | 4,22 a      |
|                      | Greenhouse<br>Geisser | N/A          |            |            |             |
| Saturación<br>Na (%) | ANOVA                 | <u>0,026</u> | 1,39 a     | 1,89 b     | 0,76 ± 0,35 |
|                      | Esfericidad           | 0,431        | ± 0,49     | ± 0,73 b   | a           |
|                      | Greenhouse<br>Geisser | N/A          |            |            |             |
| Saturación<br>Al (%) | ANOVA                 | 0,078        | 1,38 a     | 4,22 a     | 2,03 a      |
|                      | Esfericidad           | 0,007        | ± 1,93     | ± 7,14     | ± 0,44      |
|                      | Greenhouse<br>Geisser | 0,415        |            |            |             |
| Saturación<br>K (%)  | ANOVA                 | 0,109        | 3,81 a     | 3,20 a     | 2,03 a      |
|                      | Esfericidad           | 0,475        | ± 1,41     | ± 1,20     | ± 0,44      |
|                      | Greenhouse<br>Geisser | N/A          |            |            |             |
| Saturación<br>Ca (%) | ANOVA                 | 0,652        | 68,78 a    | 64,76 a    | 69,50 a     |
|                      | Esfericidad           | 0,951        | ± 10,43    | ± 13,05    | ± 4,65      |
|                      | Greenhouse<br>Geisser | N/A          |            |            |             |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. *Fuente.* Autor

La relación de calcio magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio potasio (Mg/K) y calcio-magnesio-potasio no presentó diferencias significativas según la cantidad de aplicaciones de compostaje de raquis de palma (Tabla 27).

**Tabla 27**

*Efecto de aplicar una, dos y tres veces compostaje de raquis de palma sobre la relación de calcio magnesio*

| Variable      | Test estadístico   | P-valor | Valoración |            |         |
|---------------|--------------------|---------|------------|------------|---------|
|               |                    |         | Inicial    | Intermedia | Final   |
| Ca/Mg         | ANOVA              | 0,859   | 3,12 a     | 2,67       | 2,59 a  |
|               | Esfericidad        | 0,174   | ± 1,54     | ± 1,03 a   | ± 0,55  |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Ca/K          | ANOVA              | 0,178   | 24,26 a    | 23,60      | 35,58 a |
|               | Esfericidad        | 0,211   | ±21,23     | ± 13,03 a  | ± 8,88  |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| Mg/K          | ANOVA              | 0,059   | 7,14 a     | 8,73 a     | 14,00 a |
|               | Esfericidad        | 0,790   | ± 2,38     | ± 2,37     | ± 3,44  |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |
| (Ca + Mg) + K | ANOVA              | 0,136   | 31,40 a    | 32,34 a    | 49,58 a |
|               | Esfericidad        | 0,335   | ± 23,31    | ± 14,56    | ± 11,27 |
|               | Greenhouse Geisser | N/A     |            |            |         |

*Nota.* La tabla muestra los resultados del Test ANOVA medidas repetidas en el tiempo para tres o más tratamientos. El análisis se realizó de manera independiente para cada grupo de datos obtenidos por cada materia orgánica aplicada o tratamiento (n = 5). Letras iguales en la misma fila indica homogeneidad en la variable evaluada, letras diferentes indica que existen diferencias significativas. Luego de aplicar una, dos y tres veces compostaje de raquis de palma sobre la relación de calcio magnesio (Ca/Mg), calcio/potasio (Ca/K), magnesio potasio (Mg/K) y de calcio-magnesio-potasio (Ca + Mg) + K del suelo palmicultor. *Fuente.* Autor

### Discusión de Resultados

El suelo del tratamiento testigo mostró algunos cambios al finalizar el estudio respecto a las condiciones iniciales del mismo. Particularmente la conductividad eléctrica (CE) y el contenido de fósforo (P) se incrementaron, lo cual se relaciona con la aplicación del fertilizante químico. El nivel de sodio intercambiable y la saturación de sodio disminuyeron, presumiblemente debido a procesos de absorción por las plantas.

Se encontró que posterior a la primera aplicación de compostaje los tres tratamientos con aplicación de materia orgánica se diferenciaron estadísticamente del testigo, ya que se incrementó el contenido de carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO) y nitrógeno total (N total) del suelo. Fue el tratamiento de raquis de palma la fuente de materia orgánica que presentó el mayor incremento en dichas variables, lo cual evidencia un mayor factor húmico de esta materia orgánica. Mientras que la gallinaza y la bovinaza, se descomponen y mineralizan en mayor grado.

La aplicación de compostaje de gallinaza en el suelo incrementó los siguientes parámetros: el pH, conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), nivel de potasio intercambiable, el contenido de fósforo (P) y Azufre (S), al igual que el nivel de calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K) y magnesio (Mg) intercambiable del suelo. El compostaje de gallinaza genera una disminución en el nivel de saturación de aluminio. Esto se corresponde con un marcado proceso de descomposición y mineralización de esta fuente de materia orgánica.

Parece que el compostaje de bovinaza tiene una menor tasa de descomposición y mineralización en comparación a la gallinaza, ya que genera un menor incremento en el contenido de carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO), nitrógeno total (N

total), el contenido de fósforo (P) y Azufre (S), la saturación de aluminio y el nivel de sodio intercambiable.

Además, el análisis del efecto del tiempo en la aplicación del tratamiento de cada una de las fuentes de materia orgánica, nos permite decir que la gallinaza es la fuente de materia orgánica que presentó diferencia estadística en varios parámetros que se incrementaron en cada aplicación. Mientras que la bovinaza y el raquis de palma, mostraron su mayor incremento posterior a la primera aplicación.

Para el suelo estudiado se encontró que la aplicación de cualquiera de las tres fuentes de compostaje, una única vez en la dosis de 50 Kg/planta, causa un incremento en el pH y la conductividad eléctrica del suelo; y una disminución en el nivel de acidez intercambiable (meq/100g) y la densidad aparente del suelo ( $\text{g/cm}^3$ ). Es resaltante la capacidad de la gallinaza de elevar el pH del suelo hasta la neutralidad, lo cual representa una oportunidad valiosa de corrección de acidez extrema presente en la zona.

El incremento observado posterior a la tercera aplicación de compostaje de raquis de palma en los parámetros: contenido de carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO) y nitrógeno total (N total) del suelo, tiene un significado relevante en términos de demostrar que este residuo del propio cultivo puede ser destinado como mejorador del suelo.

### Conclusiones

El uso de compostaje de bovinaza y gallinaza puede incrementar el contenido de carbono orgánico oxidable (COOx), materia orgánica (MO) y nitrógeno total (N total) del suelo, pero es el compostaje de raquis de palma la fuente de materia orgánica capaz de generar los incrementos más altos.

Las tres fuentes de materia orgánica evaluados demostraron ser alternativas prometedoramente favorables para mejorar las propiedades químicas del suelo bajo cultivo de palma de aceite. Principalmente en elevar el pH del suelo y disminuir el nivel de saturación de aluminio. Adicionalmente se demostró su utilidad como mejoradores de condiciones físicas del suelo, ya que al aplicar cualquiera de los tres compostajes evaluados, se generó una disminución estadísticamente significativa en la densidad aparente del suelo.

Se observó un comportamiento diferenciado entre las tres fuentes de materia orgánica, para el efecto del tiempo en la aplicación de las dosis. Siendo la gallinaza la que sostuvo un efecto significativo del número de aplicaciones sobre mayor número de parámetros evaluados. Esto hace pensar en una marcada diferencia en la tasa de descomposición y mineralización de la gallinaza con respecto a las otras fuentes.

La aplicación de las fuentes orgánicas evaluadas en este estudio genera un aporte significativo en la nutrición de los cultivos de palma de aceite, ya que logran mejorar las propiedades químicas más limitantes para el cultivo de la palma, obteniendo una mayor eficiencia al momento de nutrir, y reduciendo las pérdidas de estos por diferentes factores entre ellos las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

El aporte generado a través de las fuentes orgánicas de Nitrógeno (N), Fosforo (P) y azufre (S), le permiten al palmicultor disminuir las cantidades de estos elementos al momento de

reponer al suelo los nutrientes extraídos por el cultivo, lo que generara una reducción en los costos de compra de fertilizantes.

Al mejorar las propiedades químicas, se obtiene un suelo más saludable y fértil, logrando de esta manera que la palmicultura en la zona sea sostenible en el tiempo, al contar con suelos más saludables y fértiles que garantizaran el bienestar económico, social y ambiental de las familias que dependen de esta actividad agrícola.

### **Recomendaciones**

Los resultados obtenidos en este trabajo permiten recomendar la implementación de programas de asistencia técnica que promuevan la utilización del compostaje de raquis de palma como materia orgánica capaz de mejorar las condiciones químicas del suelo, así como las condiciones físicas.

Recomendamos continuar con trabajos de investigación que amplíen el conocimiento sobre el efecto de la aplicación de la materia orgánica en propiedades físicas y propiedades biológicas de los suelos bajo cultivo de palma de aceite en la región.

Es necesario establecer trabajos de investigación similares en otras condiciones de suelo de la misma región, que permita reafirmar los beneficios del uso de compostaje de raquis de palma, así como experimentos que calibren la mejor dosis a recomendar para cada tipo de suelo.

Para lograr que el cultivo de palma de aceite sea cada vez más rentable y competitivo, es necesario que todos los actores que hacen parte de la cadena productiva, Núcleos y asociaciones, adopten y pongan en marcha estrategias como la aplicación de fuentes orgánicas que favorezcan la nutrición de los cultivos generando un impacto directo en la mejora e incremento en la productividad (Ton/Ha), de las plantaciones.

Con el objetivo de contribuir a la sostenibilidad y al medioambiente y en marco de las exigencias de los mercados internacionales como el (E.U) la adopción de prácticas como la aplicación de M.O, permiten disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero ya que se logra disminuir las cantidades de fertilizantes que se deben aplicar.

### Referencias Bibliográficas

- Ciccioli, P., & Ragni, P. (2017). *Sostenibilidad medio ambiental en el sistema VET: Una poderosa herramienta para el futuro. Proyecto No. 2016-1-IT01\_KA202-005387*. Instituto Nacional de Investigación de Italia. <https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/project-result-content/dddb8fd1-2673-41a4-8f57-2f2ee065babb/ES-M%C3%B3dulo%201.1%20cuestionario%20IMC.pdf>
- Ames, M. (2019). *Diagnóstico fisicoquímico de los componentes del suelo de la comunidad de San Antonio de Sunec*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/4028>
- Anaya, R. & Molina, D. (2018). Evaluación económica y financiera de las alternativas de uso de los residuos de la materia prima de una planta industrial de extracción de palma de aceite. *Dictamen Libre, 1*(22). <https://doi.org/10.18041/2619-4244/dl.22.5029>
- Calderón, J. (2016). Evaluación del impacto ambiental en cultivos de palma de aceite. *Avances en Investigación Agropecuaria, 24*(3), 202-219  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83765451004>
- Cruz, M. & Polanco, M. (2014). El sector primario y el estancamiento económico en México. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana De Economía, 45*(178), 7073-7084.  
[https://doi.org/10.1016/S0301-7036\(14\)70874-0](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(14)70874-0)

Cruz, M. (2017). *Prácticas de manejo agrícola sostenible en el cultivo de hortalizas*.

*Universidad de Agricultura Sostenible*. [Tesis de grado, Universidad Agricultura Sostenible]. Repositorio Institucional UAS.

<http://www.universidadagriculturasostenible.edu/investigaciones/cruz>

Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite en Colombia. (2023). *Producción de aceite de palma inicia 2023 con dinámica y crecimiento de 2,8% frente al mismo periodo 2022*. Fedepalma. <https://elpalmicultor.fedepalma.org/produccion-aceite-palma-2023/#:~:text=Econom%C3%ADaDestacados-.Producci%C3%B3n%20de%20aceite%20de%20palma%20inicia%202023%20con%20din%C3%A1mica%20y,frente%20al%20mismo%20periodo%202022&text=En%20enero%20la%20producci%C3%B3n%20de,mes%20frente%20a%20a%C3%Blas%20anteriores.>

Flores, P. (2015). *Innovaciones tecnológicas en la agricultura moderna*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica Agrícola]. Repositorio Institucional UTA.

<http://www.universidadtecnologicaagricola.edu/investigaciones/flores>

Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación. (2018). *La contaminación de los suelos está contaminando nuestro futuro*. FAO. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1126977/>

Franca, S., Gomez, S. & Silveira, A. (2007). Microbial activity and arbuscular mycorrhizal fungal diversity in conventional and organic citrus orchards. *Biological Agriculture & Horticulture*, 25(5), 91-102. <https://doi.org/10.1080/01448765.2007.9755039>

Fuentes, N., Varela, D. & Garcia, D. (2023). Cultivos de cobertura como alternativa sostenible: análisis de Pueraria phaseoloides en suelos tropicales. *Información tecnológica*, 34(1), 47-58. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000100047>

Gómez, A. (2019). *Efectos del cambio climático en la calidad del suelo*. [Tesis de grado, Universidad Ambiental]. Repositorio institucional UCA.  
<http://www.universidadambiental.edu/investigaciones/gomez>

González, L., & Pomares, R. (2008). *Manejo del suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica*. Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE).  
<https://www.agroecologia.net/wp-content/uploads/2019/01/manual-suelos-jlabrador.pdf>

Lahmar, R. & Ruellan, A. (2007). Dégradation des sols et stratégies coopératives en Méditerranée : la pression sur les ressources naturelles et les stratégies de développement durable. *Cahiers Agricultures*, 16(4), 318–323 (1). <https://doi.org/10.1684/agr.2007.0119>

Leita, L., Conforto, C., Correa, O., Rovea, A., Boxler, M., Rodríguez, S., Minteguiaga, J., Meriles, J. & Vargas, S. (1999). *Influencia de la actividad microbiana en la fertilidad del suelo*. Universidad de Microbiología Agrícola.  
<http://www.universidaddemicrobiologiaagricola.edu/investigaciones/leita>

López, S. & Botello, R. (2021). *Desarrollo de la Primera Fase. Efecto de Aplicación de Materia Orgánica como Agente de Recuperación de Algunas Propiedades Químicas de los Suelos Cultivados con Palma de Aceite *Elaeis guineensis* Jacq.* [Tesis de grado, Universidad

Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/40611>

Madrigal, A. & Garbanzo, G. (2018). Uso de residuos agroindustriales en previveros de palma aceitera (*Elaeis guineensis*, Arecaceae): crecimiento y absorción de nutrientes.

*Cuadernos de Investigación UNED*, 10(2), 257-266.

<https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v10n2/1659-4266-cinn-10-02-257.pdf>

Manzano, D., Botello Sánchez, E. & Zambrano, M. (2021). Desarrollo sostenible y cultivo agroindustrial de la palma de aceite en Norte de Santander, Colombia. *Apuntes del Cenés*, 40(72), 233-270. <https://doi.org/10.19053/01203053.v40.n72.2021.12609>

Martínez, J. (2011). *Manejo nutricional y fertilidad del suelo en cultivos intensivos*. Avances de investigación agropecuaria, 24(3), 118-132.

<https://www.redalyc.org/journal/837/83765451004/83765451004.pdf>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2020). *Cadena de palma de aceite. Indicadores e Instrumentos*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Palma/Documentos/2020-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>

Moreno, R. (2022). *El ritmo e impacto del cambio climático aumentaron drásticamente en 2011-2020*. Universidad de Investigación Climática. OMM. <https://wmo.int/es/news/media->

[centre/el-ritmo-e-impacto-del-cambio-climatico-aumentaron-drasticamente-en-2011-2020](#)

Munévar M. (1998). Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia.

*Palmas*, 19(e), 218–228.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/667>

Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Informe sobre degradación biológica y su impacto en los recursos naturales*. ONU. <http://www.onu.org/informes/degradacion-biologica>

Paolini, J. (2018). Actividad microbiológica y biomasa microbiana en suelos cafetaleros de los

Andes venezolanos. *Terra Latinoamericana*, 36(1), 13-22.

<https://doi.org/10.28940/terra.v36i1.257>

Paramanathan, S. (2004). Las mejores prácticas para el cultivo de la palma de aceite: selección y manejo del terreno. *Palmas* 25(3), 45-50.

<https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/107723#page=1>

Ramírez, N., Silva, Á., Garzón, E. & Yáñez, E. (2011). Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite. *Boletines técnicos*, 1(30), 46.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/boletines/article/view/10502>

Rogge, S., Bavykina, A., Hajek, J., Garcia, H., Olivos, A. I., Sepúlveda, A. & Gascon, J. (2017).

Metal–organic and covalent organic frameworks as single-site catalysts. *Chemical Society Reviews*, 46(11), 3134-3184. DOI: 10.1039/C7CS00033B

Salgado, S., Palma, D., Zavala, J., Lagunes, L., Córdova, S., Castelán, M., Ortiz, C., Rincón, J. &

Salgado, S. (2023). Fertilización y nutrición sustentable de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(1), e3082.

Epub 04 de agosto de 2023. <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3082>

Torres, R., Acosta G. & Chinchilla, C. (2004). Proyecto comercial de compostaje de los

desechos agroindustriales de la palma aceitera. *Palmas*, 25(e), 377–387.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1103>

Vargas, O., Trujillo, J. & Torres, M. (2019). El compostaje, una alternativa para el

aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*,

23(2), 123-129. <https://doi.org/10.22579/20112629.575>