

**Evaluación de aplicación de biocarbón y biofermento en la fase de vivero del cultivo de
palma de aceite**

Shirley Andrea Carvajal Montenegro

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Programa Agronomía

2023

**Evaluación de aplicación de biocarbón y biofermento en la fase de vivero del cultivo de
palma de aceite**

Shirley Andrea Carvajal Montenegro

Director:

I. A, MSc. Oscar Mauricio Moya Murillo

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Programa Agronomía

2023

Nota De Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Acacias, febrero de 2024

Agradecimientos

Primeramente, a Dios, por permitirme emprender mi carrera de Agronomía, la capacidad y la sabiduría para entender los diferentes ciclos en interrupciones de la vida, me ha acompañado a culminar uno de mis más anhelados sueños, a enfrentar retos y superar barreras, y ser mejor de lo que era ayer, que con sacrificio, voluntad y amor a Dios podemos llegar a la meta. A mi mamá: Odilia Montenegro, quien siempre me apoyo de la manera incondicional sacrificando todo para verme logrando mis sueños, por los consejos, por el gran amor y devoción que me tiene como hija, por preferirme como ejemplo para toda mi familia. me formó como una persona de bien. A mi pequeño Juan Diego Ríos Carvajal, porque sin saberlo él fue el motor quien me inspiro para lograr una vida profesional los amo profundamente y los llevo en mi corazón por siempre. No está de más agradecer a mis hermanos por todo su amor, cariño y comprensión, en los momentos que los necesite y apoyarme en los momentos difíciles, siempre les voy a estar agradecida. En este espacio quiero agradecer a la empresa GUAICARAMO S.A.S quien me abrió sus puertas para iniciar mi vida profesional, a mis Formadores Ing. Gustavo Rosero e Ing. Libardo Santacruz, quienes siempre me alentaron a iniciar este ciclo por la confianza y tenacidad que veían en mí, ese apoyo incondicional. Por la línea de formación que me enseñaron y que hoy en día me permitirán ser una excelente profesional, profundamente a gradecida, como olvidar a mis auxiliares de campo, ya que sin ellos este proyectó no sería posible. Y a la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) y sus formadores: Gracias por orientar y brindar sus conocimientos y hacer realidad mi sueño como profesional. Ing. Oscar Moya quien siempre me insistió para continuar.

Resumen

El desarrollo de la palma de aceite en vivero es primordial para la siembra en sitio definitivo de plantas bien desarrolladas y sanas, y la fertilización es fundamental en este desarrollo. La biomasa, como subproducto de la planta extractora del aceite de palma, es una alternativa de fertilización en vivero. Esta investigación, evaluó en fase de vivero el número de hojas, la altura de la palma, el diámetro de bulbo y el peso seco, con la aplicación de concentraciones variables de dos biofertilizantes, biocarbón de tusa y biofermento. Se manejaron trece tratamientos, tres concentraciones de biocarbón de tusa, al 5, 15 y 25%, dos concentraciones de biofermento, al 5 y 10% y las posibles combinaciones entre estas concentraciones, se manejaron dos testigos, uno convencional y uno absoluto. Se maneja un diseño completamente al azar desbalanceado dado la pérdida de unidades experimentales, con un mínimo de 25 repeticiones por tratamiento para las variables vegetativas, en total 609 unidades experimentales, y 10 repeticiones por tratamiento para la variable de pesos seco. Los resultados evidencian que las concentraciones bajas de los biofertilizantes presentaron palmas significativamente más altas y con mayor contenido de materia seca (Tukey $P \leq 0,05$). El número de hojas por palma es una variable asociada a la fisiología de la palma, por lo tanto, no presentó diferencias significativas en ninguno de los tratamientos, (ANOVA $>0,05$). Estos resultados sugieren que la utilización del biocarbón de tusa y el biofermento, en dosis de 5%, es una alternativa viable para la fertilización de palmas en fase de vivero.

Palabras claves: Biofertilizantes, Tuza, Bocashi, Biomasa, Pirolisis.

Abstract

The development of oil palm in the nursery is essential for the planting of well-developed and healthy plants in the definitive site, and fertilization is essential in this development.

Biomass, as a byproduct of the palm oil extraction plant, is an alternative for nursery fertilization. This research evaluated the number of leaves, palm height, bulb diameter and dry weight in the nursery phase, with the application of variable concentrations of two biofertilizers, tusa biochar and bioferment. Thirteen treatments were handled, three concentrations of tusa biochar, at 5, 15 and 25%, two concentrations of bioferment, at 5 and 10% and the possible combinations between these concentrations, two controls were handled, one conventional and one absolute. A completely randomized unbalanced design was used given the loss of experimental units, with a minimum of 25 repetitions per treatment for the vegetative variables, in total 609 experimental units, and 10 repetitions per treatment for the dry weight variable. The results show that low concentrations of biofertilizers presented significantly taller palms with higher dry matter content (Tukey $P \leq 0.05$). The number of leaves per palm is a variable associated with the physiology of the palm, therefore, it did not present significant differences in any of the treatments (ANOVA > 0.05). These results suggest that the use of tusa biochar and bioferment, at a dose of 5%, is a viable alternative for the fertilization of palms in the nursery phase.

Keywords: Biofertilizers, Tusa, Bocashi, Biomass, Pyrolysis.

Contenido

Introducción	13
Justificación	15
Objetivos	17
Objetivo general	17
Objetivos específicos.....	17
Marco Conceptual y Teórico	18
La palma de aceite en Colombia	18
Áreas y zonas Palmeras.....	18
Palma de aceite y medio ambiente en Colombia.....	19
Biocarbón	20
Bocashi	21
Biofermentos	22
Manejo de la biomasa en palma de aceite	22
Descripción del Problema	24
Metodología	26
Localización del Estudio	26
Material de siembra.....	27
Descripción de los biofertilizantes	27
Descripción de los Tratamientos	29

VARIABLES EVALUADAS.....	29
DISEÑO EXPERIMENTAL.....	30
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
CONCLUSIONES.....	52
RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Descripción de la composición de los tratamientos, contenidos en gramos o centímetros cúbicos aplicados por bolsa de vivero.....</i>	28
Tabla 2 <i>Peso seco en gramos de los bulbos, hojas y raíces de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	35
Tabla 3 <i>Peso seco en gramos de los bulbos, hojas y raíces de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	45
Tabla 4 <i>Peso seco en gramos de los bulbos, hojas y raíces de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	50

Lista de figuras

Figura 1 <i>Ubicación del vivero playa rica en la plantación Guaicaramo SAS, municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta, Colombia.....</i>	26
Figura 2 <i>A. Prototipo de horno para pirolisis de biomasa, utilizado en la obtención del biocarbón de tusa. B. Aplicación del biocarbón de tusa al sustrato para el llenado de bolsas en el vivero de palma de aceite.....</i>	27
Figura 3 <i>Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	31
Figura 4 <i>Diámetro en centímetros del bulbo de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	32
Figura 5 <i>Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	33
Figura 6 <i>Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	34
Figura 7 <i>Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....</i>	37

Figura 8 *Diámetro en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....38*

Figura 9 *Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....39*

Figura 10 *Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....40*

Figura 11 *Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....41*

Figura 12 *Diámetro en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....42*

Figura 13 *Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....43*

Figura 14 *Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....44*

Figura 15 *Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....46*

Figura 16 *Diámetro en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....47*

Figura 17 *Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....48*

Figura 18 *Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.....49*

Introducción

El aceite de palma es uno de los aceites más consumidos en el mundo, ya que, por sus propiedades químicas y físicas, sirve como base para el desarrollo industrial de alimentos, cosméticos, suplementos, combustibles, entre otros (Rincón y Martínez, 2009).

Malasia e Indonesia, con el 84% de la producción mundial, son los principales productores de aceite de palma, fruto de la explotación de un poco más de 13 millones de hectáreas (Kumar, 2016). Colombia, con aproximadamente 500.000 hectáreas, es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo, con una participación inferior al 3% (Mora, 2022).

En Colombia, el cultivo de palma de aceite se encuentra establecido principalmente en zonas marginales, donde la producción de otro tipo de productos agrícolas y agroindustriales es limitada, y donde los cultivos ilícitos suelen ser alternativas de producción, por lo que la palma de aceite es una de las agroindustrias que se reconoce como de gran impacto social y rural (Fernández, et al., 2022).

Otra de las características del cultivo de palma de aceite en Colombia, es que los suelos donde se establece, suelen ser suelos de bajos contenidos nutricionales, lo que demanda la utilización de enmiendas y fertilizantes para garantizar la competitividad del cultivo. (Jaramillo, 2015),

La demanda mundial de fertilizantes ha venido en aumento y algunos de estos fertilizantes por ser producto de la explotación de minas y canteras, tienen la característica de no ser renovables, los que paulatinamente, a falta de alternativas de nutrición renovables de gran escala, pueden generar un aumento paulatino de los costos de la producción agrícola mundial (Granados y González, 2022).

Por lo que la implementación de alternativas complementarias a la fertilización química con la utilización de biomasa producto de las mismas explotaciones agrícolas, se ha convertido en un frente de investigación para las instituciones relacionadas (González y González, 2015).

La palma de aceite no es la excepción, con una producción en Colombia de 2 millones de toneladas de racimos de fruta fresca, con un potencial de producción de biomasa en planta de 600 kg por tonelada de fruta fresca procesada y más de 200 toneladas de biomasa por hectárea renovada, la utilización y cuantificación de los aportes nutricionales de estos subproductos de la agroindustria se hace inherente a los planes de fertilización (Van Dam, 2016).

En la plantación Guaicaramo SAS, producto de la extracción del aceite de palma, se tienen como resultado grandes cantidades de biomasa, la cual es tratada para la incorporación dentro de sus procesos agronómicos, y puede ser una alternativa como base nutricional en el desarrollo de las plantas en vivero.

En esta investigación se evaluaron alternativas al manejo de la fertilización de las palmas en fase de vivero, con la utilización de biocarbón producto de la pirolisis de estípites de palma, y vióles producto de la fermentación de bio preparados.

Justificación

En Colombia entre el 2017 y el 2022, la fertilización dentro de los costos de establecimiento y producción de la palma de aceite, han tenido un incremento considerable pasando de representar un 35% de los costos totales en 2017, a más del 50% en 2022 (Montoya, et al., 2022).

Los costos en los fertilizantes para la agricultura en Colombia, dada la dependencia de las importaciones de estos, hacen difícil implementar políticas de control de precios, por lo que los agricultores están sujetos a las dinámicas globales de mercado, por consiguiente, factores como los conflictos armados en Europa, el precio del dólar, el precio del petróleo, el incremento de los fletes marítimos, efecto de la pandemia, por mencionar algunos, impactan considerablemente la producción local (Granados y González, 2022).

Los elevados costos de los fertilizantes, han obligado a las plantaciones, a formular planes de contingencia, con estrategias como, la asociatividad para la compra de fertilizantes en bloque, lo que reduce los costos individuales, mejorar la eficiencia de los fertilizantes, con el fraccionamiento de las aplicaciones, y con metodologías de distribución homogénea y dirigida a los puntos de concentración de raíces, el uso de fertilizantes con tecnologías de recubrimiento para reducir las pérdidas, y la aplicación y conservación de microorganismos en el suelo, resaltando la importancia de estos, en el uso eficiente de los fertilizantes (Granados y González, 2022).

La biomasa producto de los procesos agroindustriales de la palma de aceite, que en su momento representaban un problema, pues como subproductos, su disposición y manejo representaba un costo adicional, a partir de investigaciones, donde se cuantificaron sus valores

nutricionales y aportes a la fertilidad del suelo, se han convertido en un material valioso, ya que con los altos precios de los fertilizantes, el manejo de la biomasa como complemento de los planes de fertilización de las plantaciones de palma de aceite es una alternativa que mejora las condiciones de materia orgánica del suelo, con aportes de elementos nutricionales esenciales como el nitrógeno y el potasio, y con un impacto positivo en el incremento de la biodiversidad de macro y microorganismos en el suelo, que aunados a un manejo consiente de la importancia de estos en el suelo, es una práctica que impacta positivamente la sostenibilidad y productividad del sector (Castillo, 2022).

En este trabajo de investigación, se evaluaron alternativas orgánicas con la aplicación de biofermento y carbón orgánico, como alternativa al manejo químico de la fertilización en la fase de vivero de la palma de aceite.

Objetivos

Objetivo general

Determinar el efecto de la aplicación de biocarbón y biofermento sobre las características de desarrollo agronómico de palmas de aceite en fase vivero en la plantación Guaicaramo SAS.

Objetivos específicos

Analizar los parámetros diámetro de bulbo, número de hojas y altura de las palmas en fase vivero con la aplicación de biocarbón y biofermento.

Establecer el efecto de diferentes porcentajes de biocarbón y biofermento en el sustrato de vivero, sobre el peso seco de los tejidos de la palma.

Marco Conceptual y Teórico

La palma de aceite en Colombia

El cultivo de palma de aceite en Colombia representa uno de los sectores agroindustriales que mayor impacto tiene en la zona rural, ya que, por sus características agronómicas, se puede establecer desde el nivel del mar hasta los 700 msnm, lo que abarca más de cuatro millones de hectáreas habilitadas para el establecimiento de este cultivo (Jaramillo, 2015).

La palma de aceite es un cultivo que no es exigente en condiciones de suelo, lo que permite su establecimiento en áreas que serían limitantes para otro tipo de explotación agrícola (Jaramillo, 2015).

Para 2022, el cultivo de palma de aceite se encuentra establecido en 21 departamentos y 162 municipios de Colombia, generando 197.000 empleos entre directos e indirectos, aportando al desarrollo de miles de familias (FEDEPALMA, 2022), principalmente en zonas marginales, donde este cultivo es una alternativa contra la lucha en contra de los cultivos ilícitos. (Fernández, et al., 2022).

Áreas y zonas Palmeras

Para 2022, el área establecida en palma de aceite en Colombia asciende a las 595.722 hectáreas, equivalente al 0.52% del territorio nacional, distribuidas en cuatro zonas palmeras en Colombia, la zona norte con 99.637 hectáreas, la zona central con 191.905 hectáreas, la zona occidental donde con 19.975 hectáreas, todas establecidas en el municipio de Tumaco Nariño, y la zona oriental, con la mayor extensión de palma de aceite en el país, con 265.283 hectáreas comprende los departamentos de los llanos orientales Meta, Casanare y Vichada principalmente

(FEDEPALMA, 2022).

Palma de aceite y medio ambiente en Colombia

Internacionalmente el cultivo de la palma ha sido estigmatizado por su impacto ambiental, relacionado con procesos de deforestación y afectación a especies nativas, por procesos de expansión principalmente en el medio oriente (Méndez y Angulo, 2018).

La mayoría de los cultivos establecidos en Colombia se encuentran en Zonas que anteriormente ya venían de procesos de explotación agropecuaria, como la ganadería, o cultivos semestrales como arroz o soya, incluso en zonas tan reconocidas como la zona bananera en el Urabá antioqueño (Lain y Ocampo, 2019).

Muchas de las plantaciones productoras de aceite de palma, de la mano de la federación colombiana de cultivadores de palma de aceite, FEDEPALMA, han desarrollado procesos de certificación internacional como el de la Mesa Redonda de Aceite de Palma Sostenible (RSPO, por su sigla en inglés), y el protocolo International Sustainability Carbón Certification (ISCC, de sus siglas en inglés), con el fin de garantizar la comercialización internacional del aceite de palma colombiano (Gan y Cap, 2016).

Dentro de los procesos de certificación internacional, la reducción de las emisiones de gases efecto invernadero y la captura de dióxido de carbono, son factores relevantes, y dentro de estos, los procesos de fertilización juegan un papel importante, teniendo en cuenta las fuentes de los diferentes nutrientes que necesita la palma para su desarrollo y producción, principalmente las fuentes de nitrógeno y potasio (Gan y Cap, 2016).

La utilización de la biomasa producto de la explotación propia del cultivo de palma de

aceite, como complemento de la fertilización convencional, es una alternativa dentro las estrategias de reducción de fertilizantes químicos, ya que estos subproductos presentan contenidos aprovechables de nutrientes para la palma, no solo las tusas, sino también las hojas y los estípites (Castillo, 2022).

Biocarbón

La descomposición térmica de la materia orgánica con déficit de oxigenación da origen a lo que conocemos como biocarbón, el cual presenta características diferentes a los carbones utilizados como combustibles o el carbón activado, y generalmente estos materiales son utilizados como acondicionadores de suelo en la agricultura (Escalante, et al., 2016).

El biocarbón, obtenido por pirolisis controlada, presenta una mayor relación oxígeno/carbono (O/C) en comparación con carbones minerales constituidos por procesos geológicos, (Escalante, et al., 2016).

La descomposición de los componentes estructurales de la biomasa, como la celulosa y la lignina, por pirolisis controlada en laboratorio, no es constante, dada la variación térmica del proceso, ya que con variaciones de entre los 250 y 350 °C, se generan compuestos volátiles confiriendo al carbón una apariencia amorfa y rígida, a partir de los 330 °C, este carbono amorfo comienzan a colapsar, promoviendo una remoción de los elementos diferentes al carbono como Ca, Mg, K, que se consolidan en la materia orgánica y adicionalmente se aumenta la proporción relativa de carbono, con una mayor capacidad oxidativa en el suelo, mejorando las condiciones de este (Romero, et al., 2016).

Las características físicas del biocarbón, estas correlacionadas con las condiciones de pirolisis y varían según el tiempo y la temperatura del proceso, sin embargo, dentro de las

generalidades están su color negro, solido amorfo carbonoso, con superficie desordenada e intrincada, baja densidad aparente de entre 0.30 y 0.43 g/cm³, con poros de todos los tamaños, lo que aumenta el área de carga reactiva y facilitan su interacción con los microorganismos (López, et al., 2020).

Dentro de las ventajas de la aplicación de biocarbono como acondicionadores del suelo, está el aumento de la capacidad de intercambio catiónico, al aumentar el área de carga del suelo, mejorando la fertilidad y la retención de carbono, y de nutrientes que son retenidos en el suelo y liberados de forma paulatina (Aponte y Soledad, 2021), mejora las interacciones biológicas en el suelo al brindar condiciones favorables al desarrollo de microorganismos benéficos, que tienen afecto sobre la disponibilidad del fosforo en el suelo, y la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, aceleran la incorporación de la materia orgánica a la solución del suelo, facilitando su disponibilidad para el desarrollo de las plantas (Aponte y Soledad, 2021),

Bocashi

En el argot popular chino, Bocashi hace referencia a la fermentación de un abono orgánico, que facilita la incorporación de elementos nutricionales al suelo, mejorando las condiciones físico-químicas del sustrato (Ramos y Terry, 2014), estos abonos fermentados, presentan una carga elevada de microorganismos que estimulan la diversidad microbiana del suelo mejorando significativamente la nutrición de las plantas, el Bocashi no es un producto estándar, por el contrario, este varía según las materias primas con que se elabora, tiempo de preparación y microorganismos involucrados (Ramos y Terry, 2014).

Los efectos positivos en el suelo y en el desarrollo de las plantas con la implementación de abonos orgánicos tipo Bocashi, han sido evaluados en cultivos transitorios como banano,

pimentón, tomate, y en cultivos perennes como palma de aceite, (Galecio, et al. 2020; Triviño y Valencia, 2023; Ramírez, et al. 2020) sin embargo, este abono es ampliamente utilizado en sistemas de producción en pequeñas extensiones de economía campesina y familiar, que ven en este tipo de insumos, la posibilidad de incrementar la cantidad y calidad de sus productos (Parra y Herrera, 2009).

Biofermentos

La fermentación de la materia orgánica, por acción de los microorganismos producen lixiviados ricos en nutrientes y microorganismos útiles para la agricultura, estos son denominados biofermentos (Orellana, et al., 2013). Estos lixiviados son un sustituto eficiente de la fertilización química, con una alta solubilidad y disponibilidad para las plantas, en el suelo (Vásquez y Maravi, 2017), su producción de manera artesanal, con materias primas producto de la misma explotación agrícola, los hacen asequibles a los pequeños productores (Orellana, et al., 2013), los biofermentos, también llamados bioles, son una fuente sencilla de energía, nutrimentos y una forma rápida de aumentar la biodiversidad de microorganismos en el suelo (Vásquez y Maravi, 2017).

Manejo de la biomasa en palma de aceite

La explotación del cultivo de palma de aceite genera una gran cantidad de biomasa, en forma de tusa, hojas, estípites, lodos y lixiviados, entre otros, que pueden ser utilizados en procesos de obtención de biocompuestos e implementados dentro de los planes de fertilización (Van Dam, 2016). Con la implementación de los requisitos para las certificaciones internacionales de calidad, la mayoría de las plantas extractoras, han estandarizado el uso de los subproductos, en procesos de obtención de materia orgánica que pueda ser reciclada dentro del

proceso productivo (Gan y Cap, 2016), con la implementación de plantas de compostaje, donde manejan las tusas, con la adición de lodos, lixiviados y microorganismos eficientes y procesos de fermentación y temperatura, para tener como resultado un material compostado con valores nutricionales considerables para hacer una disposición final en los lotes de palma de aceite (Zambrano, et al., 2020).

El manejo de plantaciones orgánicas de palma de aceite, en las cuales la implementación de estrategias de nutrición químicas está restringida, el uso de la biomasa se convierte en una alternativa importante para la viabilidad técnica de estos cultivos, los cuales, desde la etapa de vivero, deben ser manejados sin la aplicación de fertilizantes químicos (Manzano, et al., 2021), en este trabajo de investigación nos centramos en la evaluación de alternativas de fertilización orgánica en la fase de vivero de la palma de aceite.

Descripción del Problema

Uno de los cultivos más relevantes para la economía colombiana, es la Palma aceite, ya que al ser este, un cultivo perenne, permite desarrollar programas de productividad a mediano y largo plazo, lo que genera estabilidad laboral en el sector (Fernández, et al., 2022), Colombia es el primer productor de palma de aceite en Latinoamérica, con aproximadamente 600.000 hectáreas establecidas y una producción de 7.882.225 toneladas de racimos de fruta fresca para 2022 (FEDEPALMA 2022). Estos volúmenes de producción traen consigo una gran cantidad de subproductos de carácter orgánico que se estiman más de 6 millones de toneladas de materia orgánica como subproductos de la industrialización (FEDEPALMA 2022).

El manejo de estos volúmenes de materia orgánica se había convertido en un problema para el sector, sin embargo, al establecer los contenidos nutricionales de estos, e identificar un 3% de potasio, 1% de fosforo, 0,3% de magnesio, 0,3% de calcio y una 43% de carbono orgánico, entre otros valores relevantes de boro, cobre, zinc, hierro y manganeso, estos subproductos se tornaron importantes como completo de los planes nutricionales y como fuente de carbono orgánico para mejorar las condiciones físico químicas del suelo (Ramírez, et al., 2011).

El uso de estos subproductos de la palma de aceite, adquieren mayor relevancia, tras los aumentos globales de los fertilizantes químicos, lo que hace necesario la evaluación de la eficiencia y utilización de estos en las diferentes fases de desarrollo del ciclo productivo de la palma, con el fin de reducir los costos y a su vez dar un manejo más agroecológico en concordancia con las dinámicas de la agricultura global (Granados y Gonzales, 2022). En este trabajo de investigación, se evaluó la implementación de biocarbón y biofermentos, producto del

manejo de los subproductos de la palma de aceite, como sustitutos de la fertilización química en el desarrollo de las palmas en la fase de vivero.

Metodología

El presente trabajo es el resultado de un proyecto de Investigación de tipo cuantitativo, para establecer la eficiencia de la aplicación de biofertilizantes obtenidos del manejo de los subproductos orgánicos de la producción de palma de aceite, en el desarrollo y peso seco de las plantas en fase de vivero.

Figura 1.

Ubicación del vivero playa rica en la plantación Guaicaramo SAS, municipio de Barranca de Upía, departamento del Meta, Colombia.



Fuente: El autor.

Localización del Estudio

Esta investigación se desarrolló en la plantación Guaicaramo S.A.S, en el vivero denominado Playa Rica, ubicada a 7 kilómetros del Municipio de Barranca de Upía, Norte del

Meta, a 190 m de altitud, latitud Norte 4° 29" y longitud Oeste 72° 57"; (Fig. 1), precipitación promedio anual 2600 mm/año, humedad relativa de 85% y temperatura media de 27° C.

Material de siembra

El material evaluado correspondió a palma de aceite *Elaeis guineensis*, cuyo cultivar proviene del cruce Deli x La Mé en fase de vivero, que provinieron de un previvero durante un periodo de dos meses.

Figura 2

A. Prototipo de horno para pirolisis de biomasa, utilizado en la obtención del biocarbón de tusa.

B. Aplicación del biocarbón de tusa al sustrato para el llenado de bolsas en el vivero de palma de aceite.



Fuente: El autor.

Descripción de los biofertilizantes

Para el desarrollo de esta investigación, se elaboraron dos biofertilizantes con la utilización de subproductos de la extracción del aceite de palma, el primero es un biocarbón, elaborado con

la tusa de los racimos, esta biomasa fue manejada y procesada por el equipo de la bio-fábrica de la plantación en un prototipo de horno de pirólisis (Fig. 2A), donde se sometió a temperaturas de 260 °C a 400 °C de 3 a 4 horas con la finalidad de no carbonizar la materia prima y conservar los contenidos nutricionales, el resultado es un material negro de textura carbonosa, que fue facilitado por bio-fabrica para el desarrollo de esta investigación (Fig. 2B).

Tabla 1

Descripción de la composición de los tratamientos, contenidos en gramos o centímetros cúbicos aplicados por bolsa de vivero

Tratamiento	Biocarbón de Tusa (g)	Biofermento (cc)	Fertilizante Químico (g)	Sustrato (g)*	Rotulo
1	210	0	0	10790	Tusa 5%
2	630	0	0	10370	Tusa 15%
3	1050	0	0	9950	Tusa 25%
4	0	10	0	11000	Biol 5%
5	0	20	0	11000	Biol 10%
6	210	10	0	10790	Tusa 5%-Biol 5%
7	630	10	0	10370	Tusa 15%-Biol 5%
8	1050	10	0	9950	Tusa 25%-Biol 5%
9	210	20	0	10790	Tusa 5%-Biol 10%
10	630	20	0	10370	Tusa 15%-Biol 10%
11	1050	20	0	9950	Tusa 25%-Biol 10%
12	0	0	476	11000	T. Comercial
13	0	0	0	11000	T. Absoluto

* El sustrato es el suelo que se utilizo en el llenado de las bosas del vivero para completar los 11000 g por planta.

Fuente: El autor.

El segundo es un abono tipo biofermento Bocashi, elaborado con una solución de agua, melaza, pasto, caña y arroz, en donde se adicionaron microorganismos de montaña, y se colocaron en fermentación abiótica por treinta días, posteriormente con este bio preparado, se realizan las diluciones para establecer las concentraciones a evaluar.

Descripción de los Tratamientos

Los tratamientos a evaluar, fueron establecidos por el comité agronómico de la plantación Guaicaramo, y consta de diferentes composiciones de los sustratos de siembra de las palmas en la fase de vivero, donde se evaluaron por separado, tres concentraciones de biocarbón de tusa y dos concentraciones de del biofermento tipo Bocashi (5 tratamientos), también se evaluaron las posibles combinaciones entre las concentraciones de biocarbón de tusa y biofermento (6 tratamientos) y por último se evaluaron dos tratamientos testigo, un testigo comercial con la aplicación de fertilizantes químicos según el manejo de la plantación, y un testigo absoluto, al cual no se le aplico ninguna fuente de nutrición externa (2 tratamientos), para un total de 13 tratamientos (Tabla 1).

Variables evaluadas

Todas las variables analizadas en esta investigación fueron registradas en un único momento, al noveno mes de establecido el vivero, antes de trasplantar las palmas en sitio definitivo. Las variables registradas fueron: la altura de la planta, medida desde el nivel del suelo hasta la punta de la hoja bandera, el diámetro del bulbo y el número de hojas. Para los datos de peso seco, se realizaron muestreos destructivos de 10 palmas por tratamiento se separaron los tejidos de las hojas, el bulbo y las raíces, se pesaron en fresco y secaron al horno por 8 días, para registrar su peso seco.

Diseño Experimental

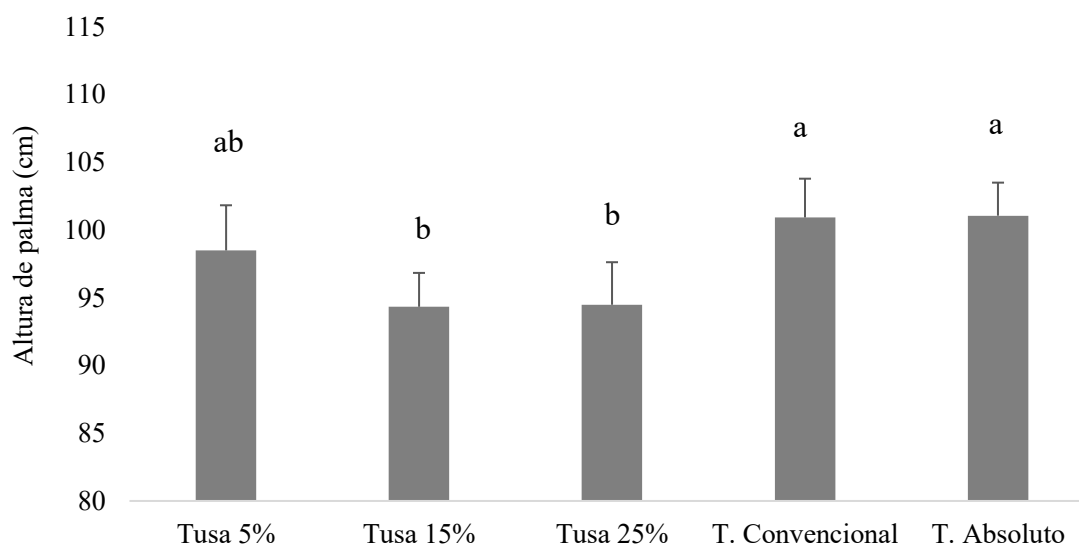
Dada la homogeneidad de las condiciones del vivero y el área que abarcaba la investigación, se estableció un diseño completamente al azar, con trece tratamientos y 50 repeticiones, un total de 650 palmas, la unidad experimental fue la palma, se establecieron tres grupos de análisis, con respecto a los tratamientos testigo, los biofertilizantes por separado, en combinación con el biofermento al 5% y en combinación con el biofermento al 10%, los datos fueron sometida a un análisis de varianza, previa validación de los supuestos de normalidad y homogeneidad, (Shapiro-Wilks y Levene respectivamente), ajustando las variables, con la transformación (Log+1) y para establecer las diferencias entre los tratamientos, se utilizó el test de Tukey ($P < 0.05$).

Resultados y discusión

Tratamientos con biocarbón de tusa. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($F = 4,929$; $gl = 4$; $P < 0,05$), para la variable altura de las palmas, los tratamientos testigo convencional y absoluto, presentaron una mayor altura, con diferencias estadísticas (Tukey $P < 0,05$), en relación con la altura de los tratamientos con concentraciones más altas de biocarbón (Fig. 3). El tratamiento 5% de biocarbón no presentó diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$), con los demás tratamientos (Fig. 3).

Figura 3

Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



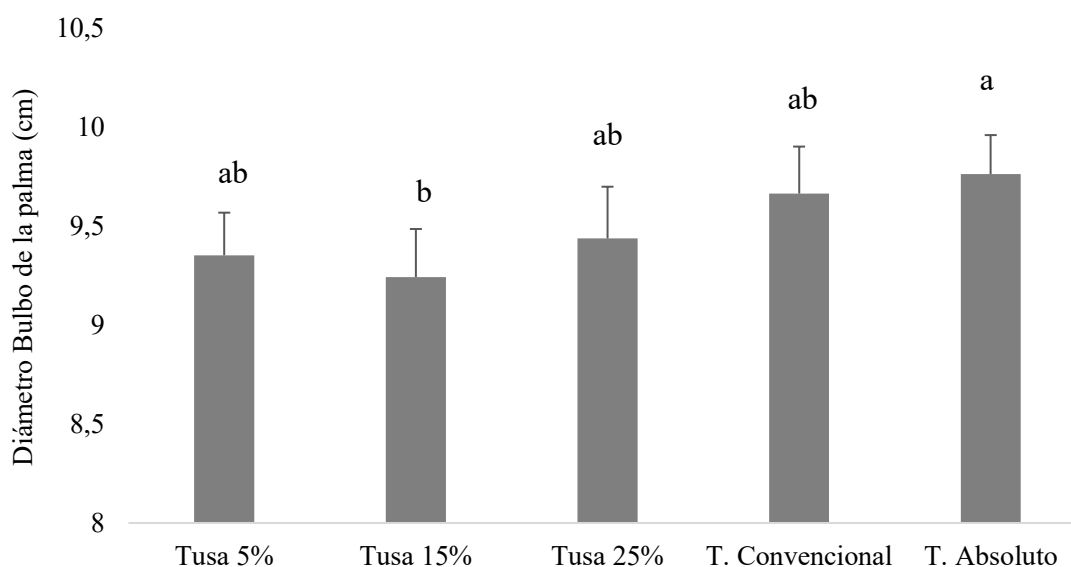
Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

La variable diámetro de bulbo, presenta diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 3,537$; $gl = 4$; $P < 0,05$), los resultados sugieren que, en el testigo absoluto, el diámetro del bulbo es mayor y significativamente diferente respecto al tratamiento con concentración de 5% de biocarbón (Tukey $P < 0,05$). Entre el testigo y los demás tratamientos, no se evidencian diferencias significativas (Fig. 4).

Figura 4

Diámetro en centímetros del bulbo de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



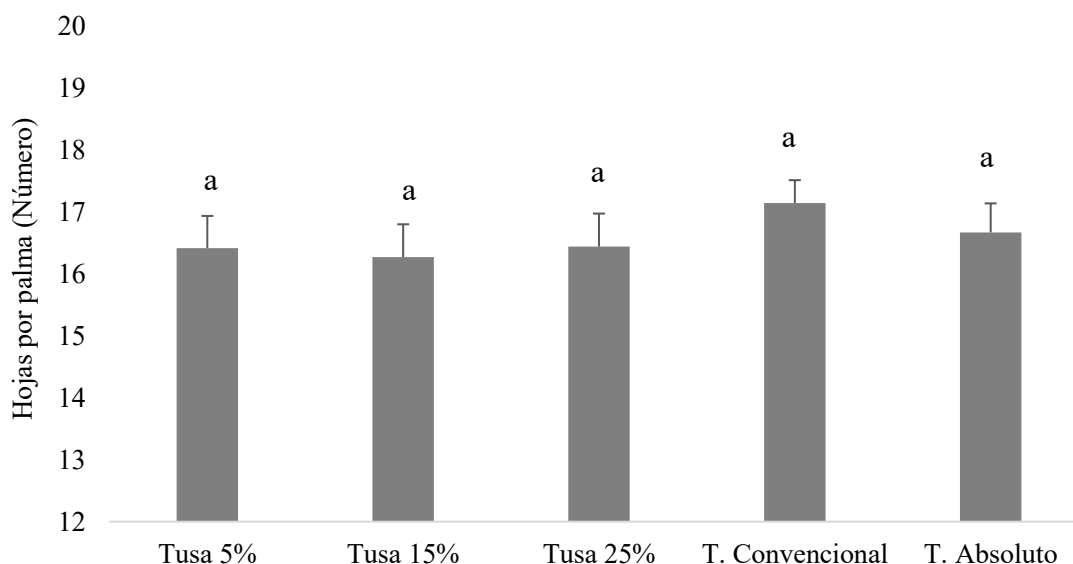
Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

El número de hojas por palma, no registro diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 2,100$; $gl = 4$; $P > 0,05$) (Fig. 5).

Figura 5

Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



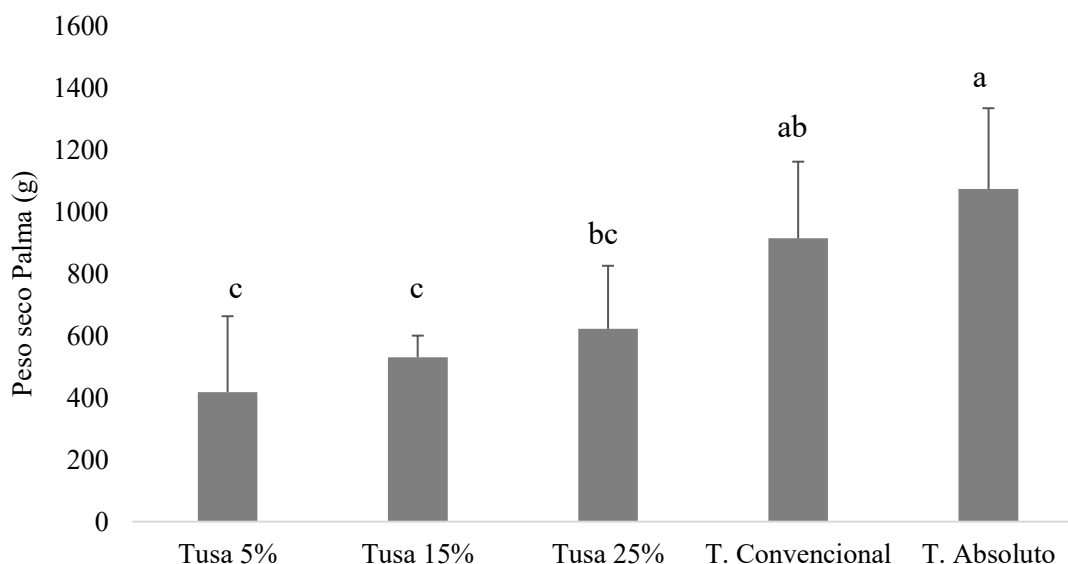
Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

Fuente: El autor.

El peso seco de las palmas, registro diferencias significativas entre los tratamientos, según el análisis de varianza ($F = 6,107$; $gl = 4$; $P < 0,05$), registrando un mayor peso seco en el testigo absoluto, con diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$), respecto de los tratamientos con aplicaciones de biocarbón de tusa, el testigo convencional, no registro diferencias respecto del testigo absoluto, pero si con respecto a las dosis de 5 y 10% de biocarbón respectivamente (Tukey $P < 0,05$) (Fig. 6).

Figura 6

Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

En el análisis de los detalles de la distribución del peso seco de las palmas en los tejidos de los bulbos, las hojas y las raíces, se puede identificar que los bulbos, son los que representan la mayor concentración de la masa de las palmas, con diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey $P < 0,05$), y alineado con el reporte del peso seco total (Fig. 6), en menor medida sobre los tejidos de las hojas y por último el tejido de las raíces, donde no se registran diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$) (Tabla 2).

Tabla 2

Peso seco en gramos de los bulbos, hojas y raíces de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.

Tratamiento	Peso seco Bulbo	Peso seco hojas	Peso seco raíces
Tusa 5%	237,2 c	131,0 b	50,4 a
Tusa 15%	319,8 bc	149,2 b	62,3 a
Tusa 25%	363,4 bc	194,0 ab	65,4 a
T. Comercial	566,4 ab	267,8 ab	81,3 a
T. Absoluto	688,8 a	311,0 a	75,1 a

Nota: Números seguidos con letras distintas en la misma columna, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

Los resultados sugieren que para la interacción entre los tratamientos con contenidos de biocarbón de tusa dentro de los planes nutricionales de las palmas en vivero, el testigo absoluto, sin aplicación de fertilizantes, es el que mejor desarrollo presenta en cuanto a altura de la palma, diámetro de bulbo y contenidos de materia seca, con datos que no son diferentes estadísticamente, si los comparamos con el testigo convencional, los tratamientos con la aplicación de diferentes concentraciones de biocarbón de tusa, registraron menor cantidad de pesos seco, por lo tanto menor capacidad de acumulación de nutrientes en sus tejidos, si tenemos en cuenta la relación entre la materia seca y las reservas nutricionales las plantas (Delgado, et al., 2012). Trabajos realizados en viveros de palma de aceite, reportan que el valor nutricional inicial del sustrato, puede ser considerado para el desarrollo completo de la fase de vivero (Mora, et al.,

2007), en el desarrollo del vivero, en el que en paralelo se desarrolló este trabajo de investigación, presentaba procesos de mejoramiento que no se consideraron al momento de la implementación, como es la adición de lixiviados y lodos obtenidos de las piscinas de oxidación de la planta extractora, y un tiempo de maduración de aproximadamente dos años, que permite la estabilización de los procesos de consolidación del sustrato, similar a los procesos reportados por Cortes, et al., en el 2003. Esta se considera dentro de las causas de la manifestación de estos resultados donde el testigo sin fertilización refleja mejores resultados.

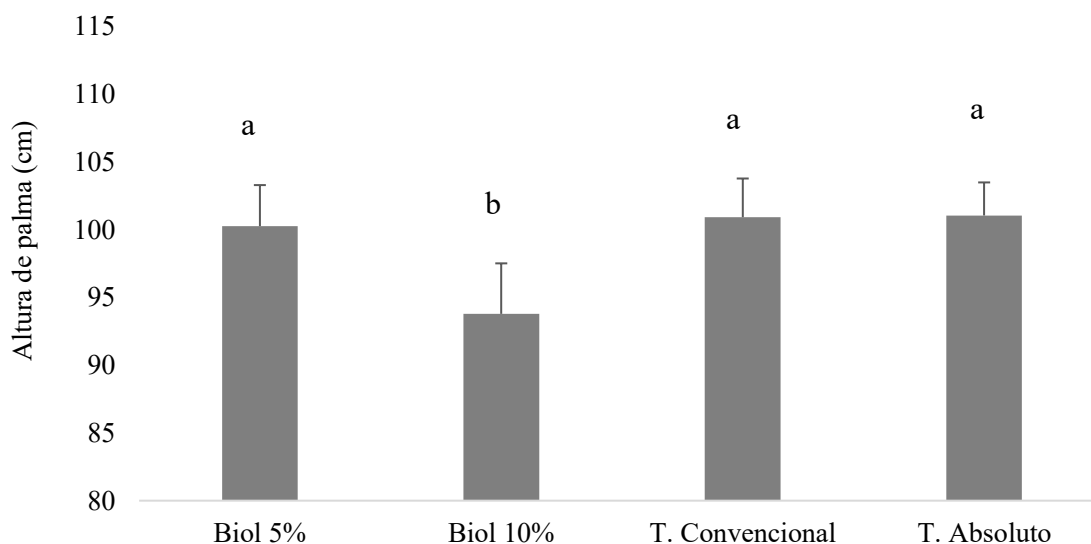
La adición de biocarbón de tusa, pudo saturar el suelo con mayores contenidos de biomasa, en un sustrato que ya tenía un proceso de mejoramiento, lo que pudo significar un ahogamiento de raíces, reduciendo su capacidad de procesamiento de nutrientes, lo que se evidencia en un menor crecimiento y diámetro de bulbo (Cortes, et al., 2003),

Tratamientos con biofermento. El análisis estadístico demostró que hay diferencias significativas entre la altura de las palmas tratadas con biofermentos ($F = 3,650$; $gl = 3$; $P < 0,05$), el tratamiento con la concentración más alta de biofermento, registro la menor altura, con diferencias significativas respecto de los demás tratamientos (Tukey $P < 0,05$), los cuales no presentan diferencias entre sí (Fig. 7).

Con respecto al diámetro del bulbo, el análisis de varianza registro diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 3,267$; $gl = 3$; $P < 0,05$), el testigo absoluto presento un diámetro estadísticamente mayor en relación con el tratamiento con mayor concentración de biofermento (Tukey $P < 0,05$). No hubo diferencias significativas respecto al diámetro entre los demás tratamientos (Fig. 8).

Figura 7

Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



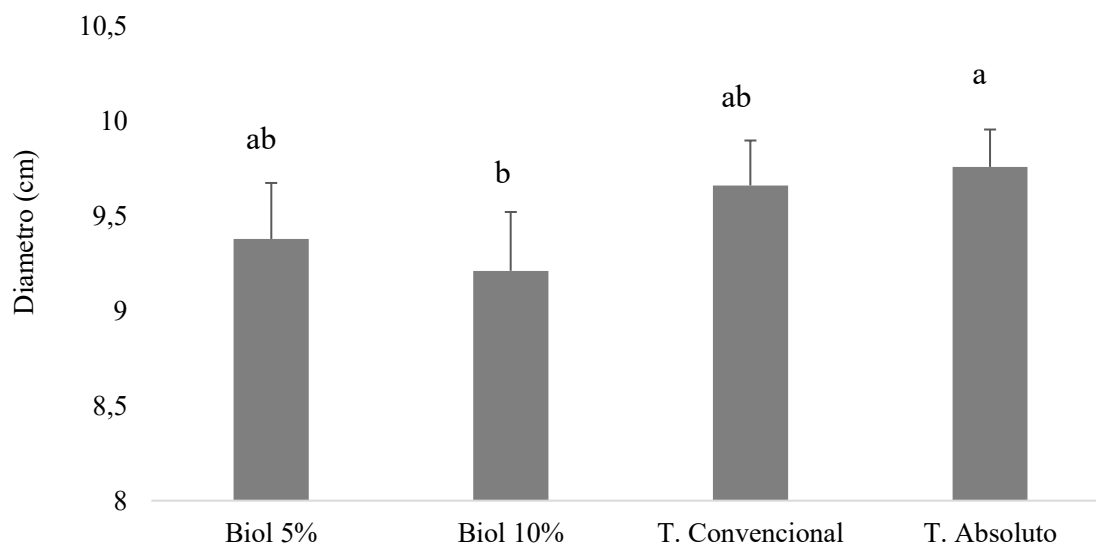
Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

El número de hojas por palma, no registro diferencias significativas entre los tratamientos ($F = 1,539$; $gl = 3$; $P > 0,05$) (Fig. 9), el número de hojas por palma, es una variable que se relaciona en mayor medida a procesos fisiológicos específicos de las palmas, es decir, que variables como, deficiencias nutricionales, condiciones de anegamiento o excesos de agua, no impactan la emisión foliar, sin embargo si tiene relación con su tamaño, apertura y capacidad fotosintética (Ayala y Gómez, 2000).

Figura 8

Diámetro en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

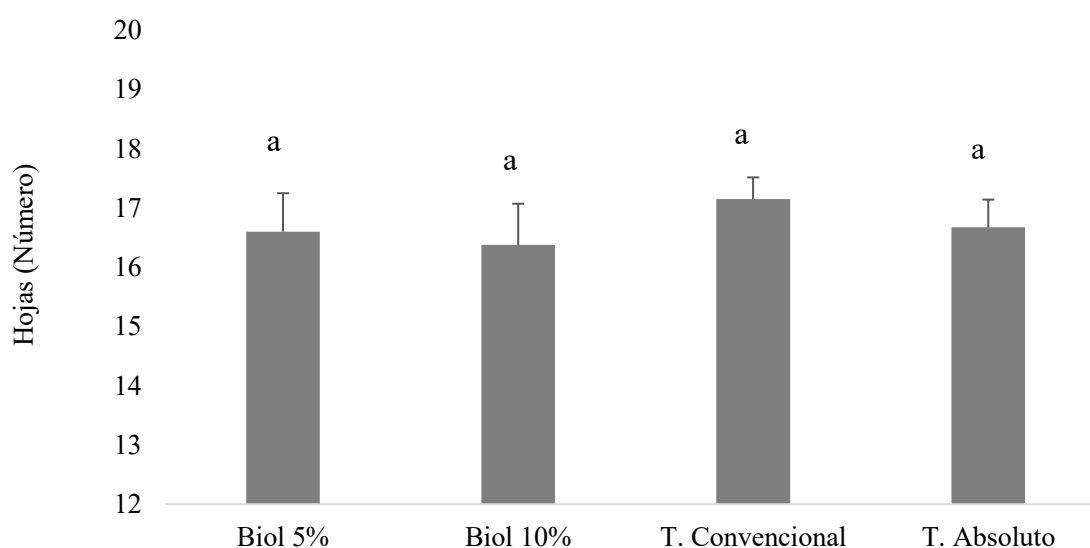
El peso seco de las palmas tratadas con biofermentos en concentración de 5 y 10% respectivamente, no presentaron diferencias significativas con respecto a los tratamiento convencional y absoluto ($F = 0,467$; $gl = 3$; $P > 0,05$) (Fig. 10).

La concentración más alta del 10% de biofermento en el sustrato de las palmas de vivero, genero un desarrollo de las palmas con menor altura (Fig. 7) y menor diámetro de bulbo (Fig. 8), ratificando una vez más que se deben evaluar las dosificaciones, ya que una cantidad elevada de nutrimentos libres en el suelo, por encima de la capacidad de absorción por la planta, puede

generar ahogamiento de las raíces, lo que repercute en su eficiencia y por ende en el desarrollo de las palmas (Ayala y Gómez, 2000).

Figura 9

Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

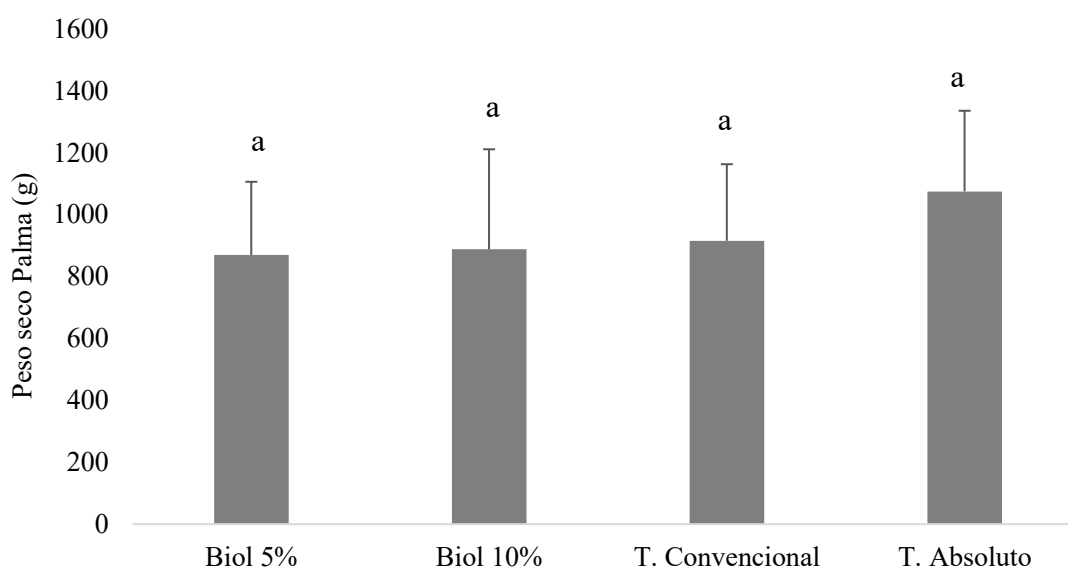
Fuente: El autor.

La concentración de 5% de biofermento, presenta un comportamiento aceptable, sin mostrar diferencias significativas con respecto a los testigos, en cuanto a altura de la palma (Fig. 7), diámetro de bulbo (Fig. 8) y peso seco (Fig. 10), esto nos da un indicio de que la dosis adecuada del biofermento puede estar alrededor de este valor de 5%, una concentración donde la

fisiología de la palma es capaz de absorber y metabolizar los nutrientes del suelo (Cortes, et al., 2003).

Figura 10

Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con dos concentraciones de biofermento, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

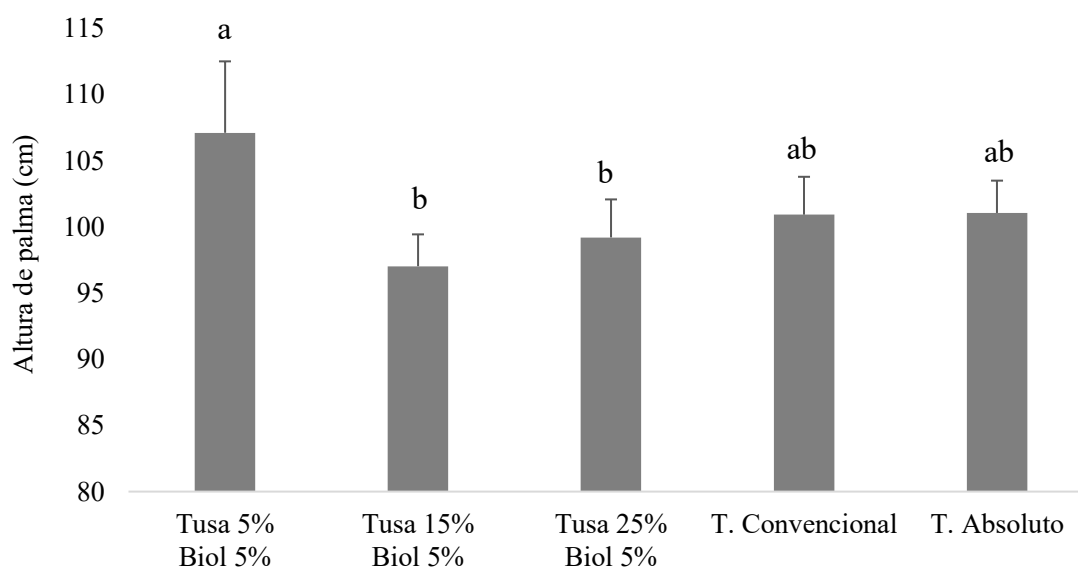
Fuente: El autor.

Tratamientos con biocarbón de tusa y biofermento al 5%. Los tratamientos con aplicación conjunta de biocarbón de tusa y biofermento al 5%, presentaron diferencias significativas en cuanto a la altura de las palmas ($F = 4,725$; $gl = 4$; $P < 0,05$), el tratamiento con biocarbón de tusa al 5% más biofermento al 5%, fue el que presentó una mayor altura, con diferencias significativas con respecto a los tratamientos con un mayor porcentaje de biocarbón

de tusa (Tukey $P < 0,05$), y sin diferencias significativas con respecto a los testigos tanto absoluto como convencional (Fig. 11).

Figura 11

Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

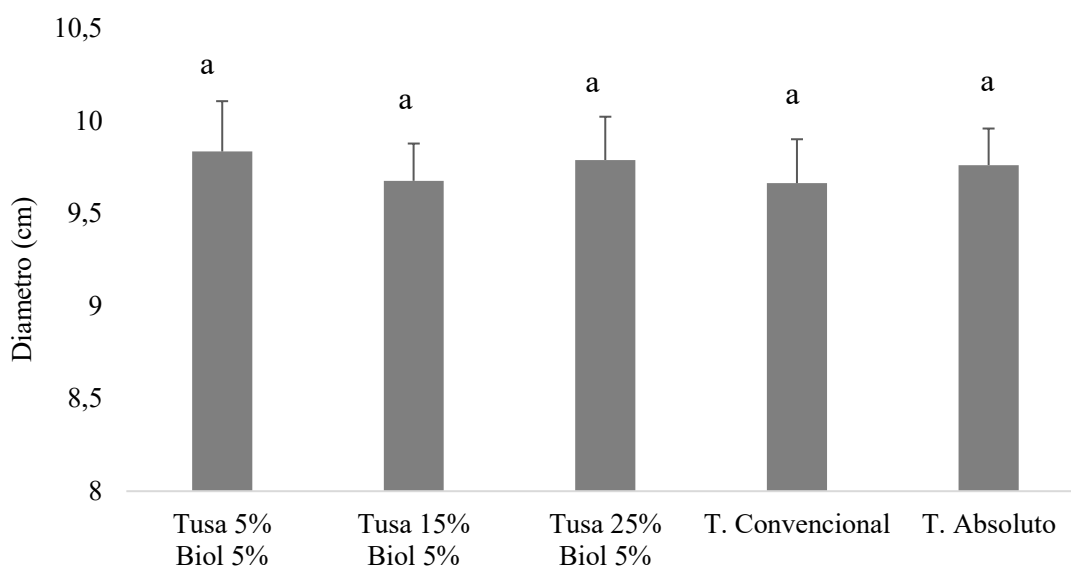
Fuente: El autor.

La variable diámetro de bulbo, no presento diferencias significativas según el análisis de varianza ($F = 0,395$; $gl = 4$; $P > 0,05$), para los tratamientos en conjunto de biocarbón de tusa con biofermento al 5% (Fig. 12).

El análisis de varianza para el numero de hojas por palma, no presento diferencias significativas ($F = 0,763$; $gl = 4$; $P > 0,05$), para los tratamientos en conjunto de biocarbón de tusa con biofermento al 5% (Fig. 13).

Figura 12

Diámetro en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

Fuente: El autor.

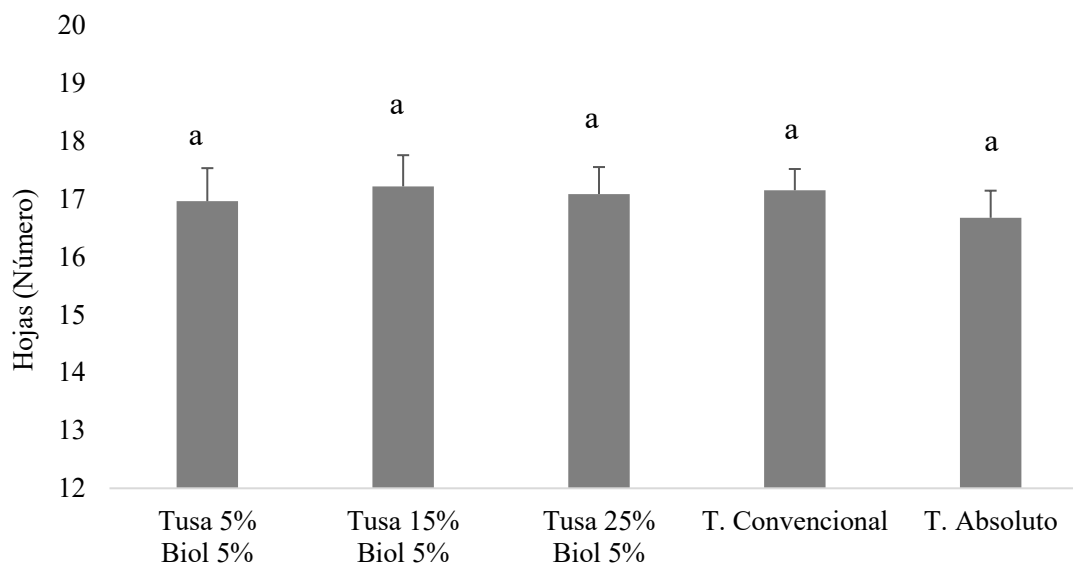
Para el análisis de la variable peso seco, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis de varianza ($F = 7,501$; $gl = 4$; $P < 0,05$), donde el testigo absoluto, registro el mayor dato de peso seco, con diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$), con respecto

a los tratamientos que donde se combinaron porcentajes de biocarbón de tusa y biofermento (Fig. 15).

Estos resultados sugieren que, así las medidas de crecimiento vegetativo registren una mayor altura, y un mayor volumen asociado al diámetro del bulbo, no necesariamente estas se relacionan con los valores de pesos seco y a su vez estos asociados a contenidos nutricionales, en pocas palabras el buen tamaño no necesariamente refleja unos buenos contenidos nutricionales en las palmas (Arciniegas, et al., 2011; Cortes, et al., 2003).

Figura 13

Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



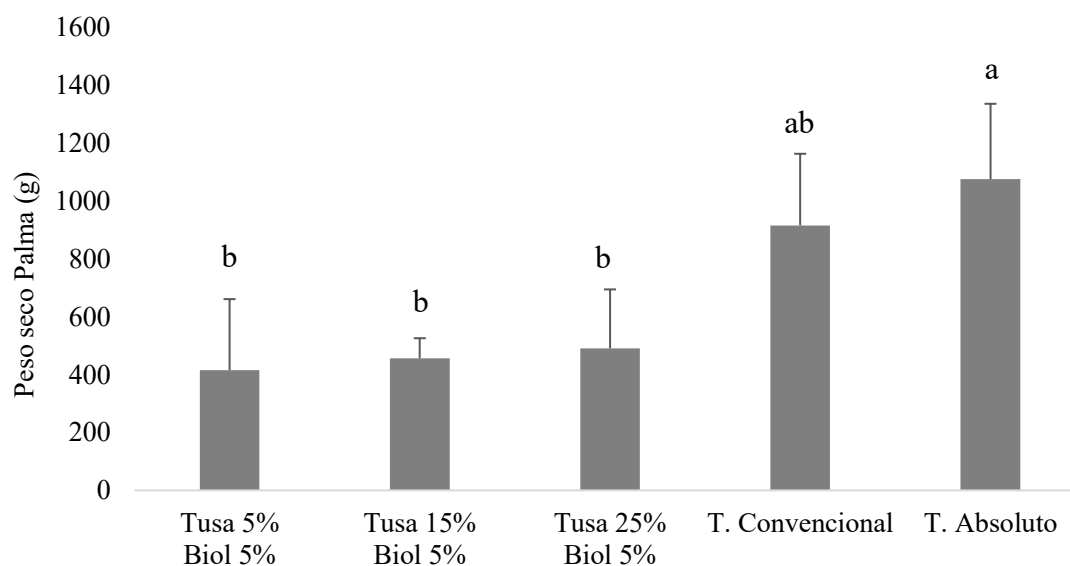
Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

Fuente: El autor.

La distribución del peso seco total, en el peso de las hojas, el bulbo y las raíces, evidencia que hay diferencias significativas (Tukey $P < 0,05$), para el peso seco entre los tratamientos con aplicación de biocarbón de tusa y biofermento, en todos los tejidos evaluados, con respecto al testigo absoluto, es decir se presentó una reducción del peso de las hojas, el bulbo y las raíces (Tabla 3).

Figura 14

Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

Esta reducción generalizada del peso seco en los diferentes tejidos de la palma, evidencian que el tema de los biofertilizantes, requiere una mayor atención, y que no todo los abonos obtenidos de la biomasa, son indiscutiblemente buenos, si bien en la agricultura de pequeña escala el uso de este tipo de abonos es una alternativa a sus sistemas productivos, para el tema de cultivos industrializados de establecimiento masivo, se debe tener en cuenta la capacidad de las plantas de tomar, asimilar y metabolizar los nutrientes en estos abonos, trabajos desarrollados evaluando concentraciones de biofertilizantes, en el desarrollo de diferentes cultivos, evidencian que concentraciones elevadas de estos, son contraproducentes al desarrollo de las plantas (Arciniegas, et al., 2011; Cortes, et al., 2003; Catarí, et al., 2022).

Tabla 3

Peso seco en gramos de los bulbos, hojas y raíces de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 5%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.

Tratamiento	Peso seco bulbos	Peso seco hojas	Peso seco raíces
Tusa 5% - Biol 5%	217 b	147,4 b	51,286 b
Tusa 15% - Biol 5%	285,4 b	116,4 b	54,172 b
Tusa 25% - Biol 5%	312,2 b	128,2 b	50,11 b
T. Convencional	566,4 ab	267,8 a	81,254 ab
T. Absoluto	688,8 a	311 a	75,084 a

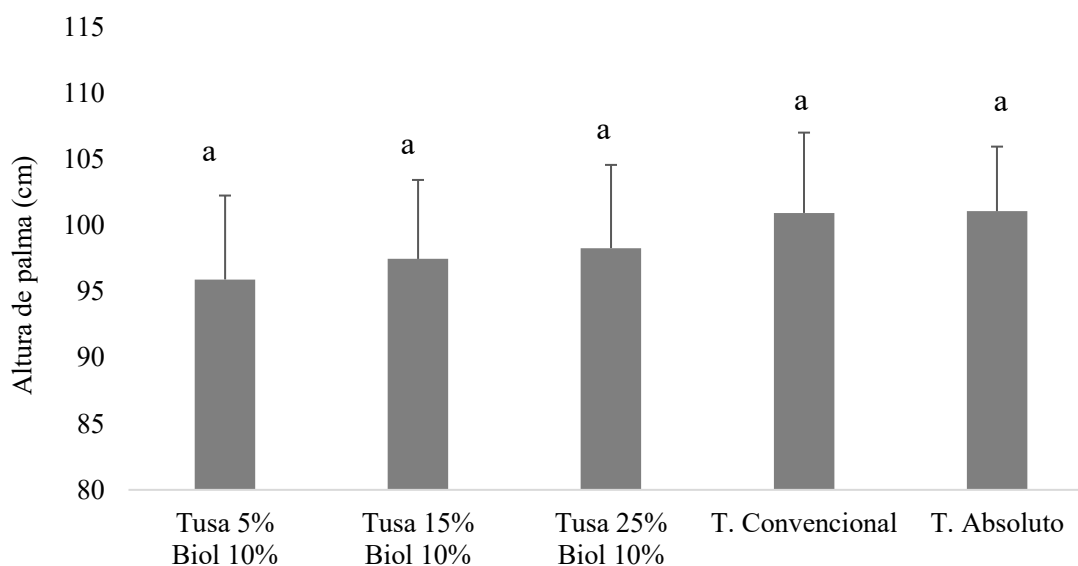
Nota: Números seguidos con letras distintas en la misma columna, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

en el caso de esta investigación debemos considerar que el sustrato inicial y general para todos los tratamientos, tenía un proceso de mejoramiento previo que no fue considerado al momento de la estructuración de este trabajo.

Figura 15

Altura en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

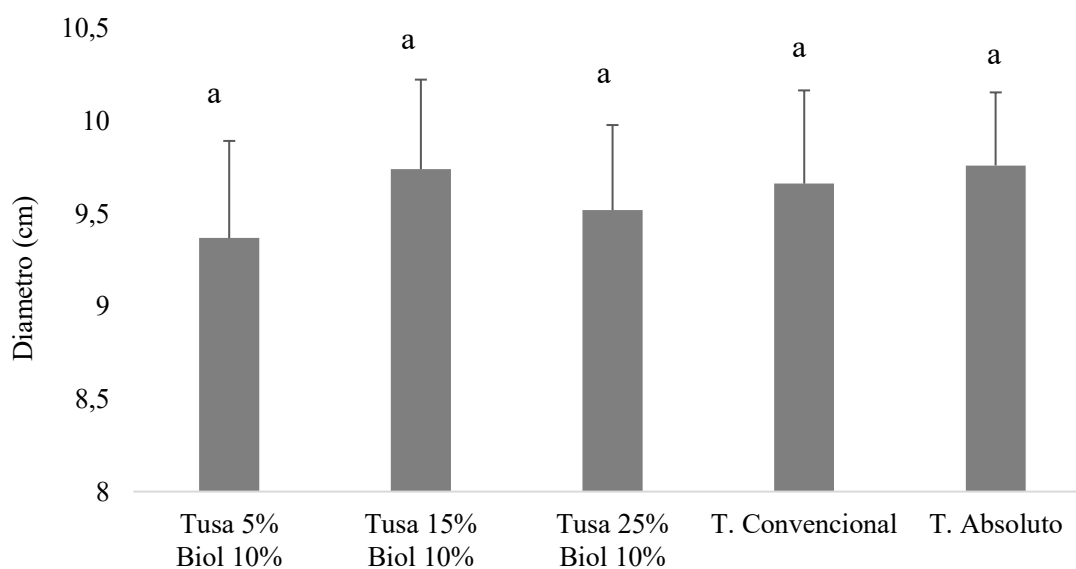
Fuente: El autor.

Tratamientos con biocarbón de tusa y biofermento al 10%. Los tratamientos donde se manejaron dosis de 10% de biofermento, no presentaron diferencias significativas entre las variables altura de las palmas ($F = 2,788$; $gl = 4$; $P > 0,05$) (Fig. 15), diámetro de bulbo ($F =$

2,398; $gl = 4$; $P > 0,05$) (Fig. 14), y número de hojas por palma ($F = 0,751$; $gl = 4$; $P > 0,05$) (Fig. 17), entre estos y con respecto a los testigos tanto convencional como absoluto.

Figura 16

Diámetro en centímetros de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

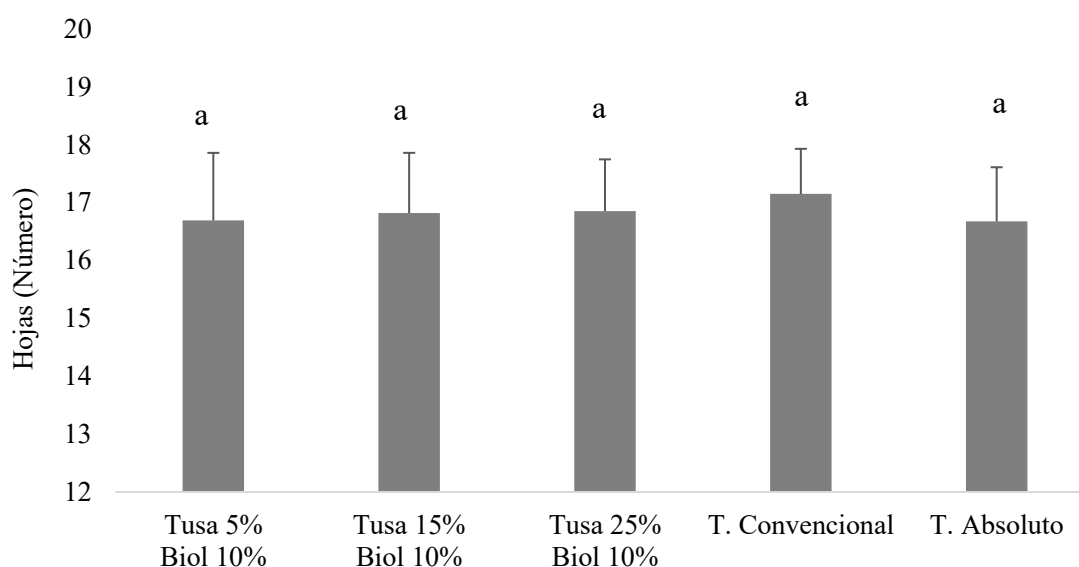
Fuente: El autor.

Para el análisis de la variable peso seco, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos según el análisis de varianza ($F = 15,484$; $gl = 4$; $P < 0,05$), donde los testigos tanto absoluto como convencional, registraron mayores datos de peso seco, con diferencias

significativas (Tukey $P < 0,05$), con respecto a los tratamientos que donde se combinaron porcentajes de biocarbón de tusa y biofermento al 10% (Fig. 18).

Figura 17

Número de hojas de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



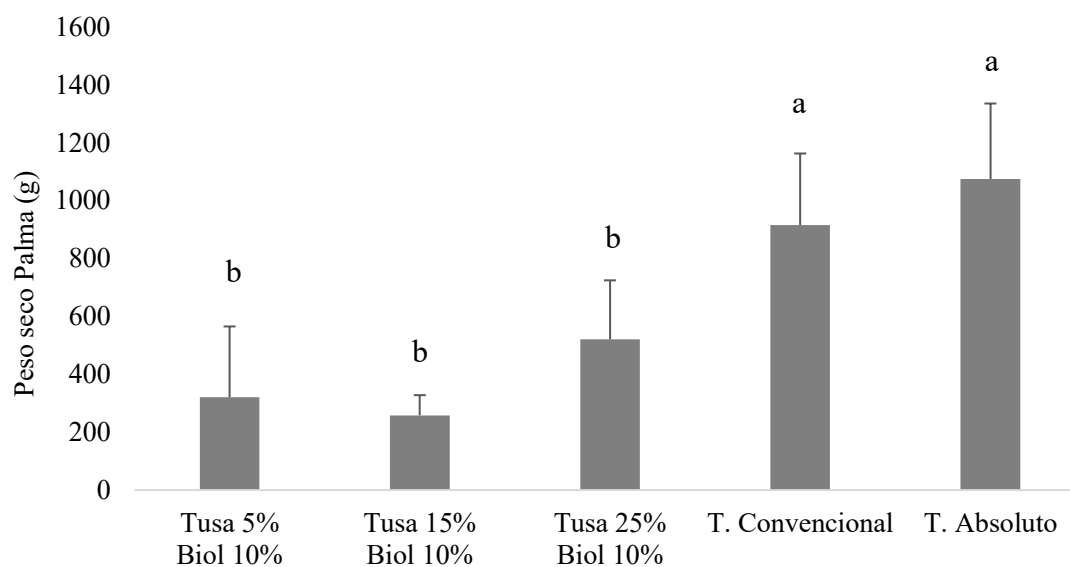
Nota: Barras con letras iguales, no presentan diferencias significativas, de acuerdo con el ANOVA ($P > 0,05$).

Fuente: El autor.

Los resultados de los pesos secos, nos reafirmar sobre la importancia de establecer dosis de los biofertilizantes, ya que el tamaño de las plantas puede enmascarar deficiencias nutricionales, que a futuro pueden verse reflejadas en palmas que no se desarrollen satisfactoriamente en sitio definitivo (Munévar, 2001).

Figura 18

Peso seco en gramos de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.



Nota: Barras con letras distintas, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

La fertilización en palma de aceite es un tema complejo, si tenemos en cuenta la naturaleza fisiológica de estas plantas, en donde la formación de hojas y frutos, desde la división celular en el meristemo, esta influenciado por las condiciones de suelo, humedad y la disponibilidad de nutrimentos en el mismo (Cayón, 1999), por lo tanto la buena fertilización desde la fase de vivero, repercute en la pronta entrada de las palmas a la etapa productiva, con estabilización de producción al 5 año de establecimiento (Munévar, 2001). La implementación

de alternativas a la fertilización química, con la utilización de biofertilizantes obtenidos de los procesos de pirolisis o fermentación de subproductos del proceso de extracción, debe cumplir rigurosos estándares de eficiencia, ya que de lo contrario, palmas que se ven bien desde la óptica del crecimiento y la conformación, pueden estar siendo subnutridas y a futuro, la reducción de costos en fertilización del vivero, de vera comprometida con el desarrollo de las palmas en sitio definitivo.

Tabla 4

Peso seco en gramos de los bulbos, hojas y raíces de las palmas al finalizar la fase de vivero, manejadas nutricionalmente con tres concentraciones de biocarbón de tusa en conjunto con una concentración de biofermento al 10%, un manejo convencional con nutrición química y un testigo absoluto sin fertilización.

Tratamiento	Peso seco bulbo	Peso seco hojas	Peso seco raíces
Tusa 5%-Biol 10%	204,8 c	81,4 b	34,1 d
Tusa 15%-Biol 10%	136 c	83,8 b	38,4 cd
Tusa 25%-Biol 10%	338,4 bc	125,8 b	56,6 bc
T. Convencional	566,4 ab	267,8 a	81,2 ab
T. Absoluto	688,8 a	311 a	75,1 a

Nota: Números seguidos con letras distintas en la misma columna, son estadísticamente diferentes, de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Fuente: El autor.

En la tabla 4, podemos observar que la reducción del peso seco, de los tratamientos con aplicación de biocarbón de tusa y biofermento, con respecto a los tratamientos testigo, es significativamente estadísticas en todos los tejidos de la palma, tanto en bulbos y hojas como en

raíces (Tukey $P < 0,05$). Estos resultados de peso seco son relevantes, ya que los contenidos nutricionales identificados en análisis foliares hacen referencias a muestras sobre peso seco, por lo tanto, así se tengan buenos contenidos de elementos como nitrógeno, fosforo, potasio, calcio entre otros, estos se tornan significativos, en relación con la cantidad de biomasa seca que contenga la planta (Rojas. et al., 2015).

Los resultados de este trabajo de investigación evidencian, que la implementación dentro de los planes de fertilización de la utilización de biocarbón y biofermentos, es totalmente viable, ya que los registros muestran que en varias de las combinaciones evaluadas los resultados no diferían significativamente del testigo convencional.

Conclusiones

La incorporación de biocarbón de tusa, en concentraciones del 5% junto con una concentración del 5% de biofermento, mostro resultados positivos en cuanto al desarrollo vegetativo de las palmas sin afectar significativamente el peso seco.

Altas concentraciones de biofermento aunado a altas concentraciones de biocarbón de tusa, afectan significativamente el desarrollo vegetativo de las palmas y reduce el peso seco.

El buen contenido nutricional del sustrato base para toda la investigación, producto de un manejo de adiciones de lixiviados y lodos de las piscinas de oxidación, no permite hacer consideraciones más acertadas.

La fertilización con biocarbón de tusa y biofermento tipo Bocashi, es viable en el manejo y desarrollo de las palmas de aceite en la fase de vivero.

Recomendaciones

En el desarrollo de esta investigación, nos encontramos con un sustrato base con muy buenas condiciones nutricionales, que pudieron enmascarar mejores resultados en la implementación de los biofertilizantes, establecer los contenidos nutricionales del sustrato base, antes del desarrollo de trabajos similares, permitirá una mejor expresión del desarrollo de las plantas asociados a la interacción de los tratamientos.

La evaluación de una mezcla de biofertilizantes, en concentraciones bajas, con un complemento nutricional de manera convencional, puede ser también una alternativa viable de reducir costos en fertilización y tener un buen desarrollo y reservas nutricionales en tejido en palmas de vivero.

La estimación de las reservas nutricionales de las palmas por medio de unos análisis de laboratorio igualmente robustos, pueden ser pertinentes para cuantificar a nivel de cada elemento, según el manejo nutricional que se le dio en vivero, al momento de establecer las palmas en sitio definitivo.

Referencias Bibliográficas

- Aponte, G. M., & Soledad-Rodríguez, B. (2021). Tendencias en el uso del biocarbón como acondicionador de suelos. *Revista de Química*, 35(2), 44-51.
- Arciniegas, L. S., Estupiñan, G. R., & Rodríguez, Á. C. (2011). Contraste de los contenidos y reservas foliares de la palma comercial (DxP) y del híbrido (OXG) alto oléico. *Palmas*, 32(4), 62-68.
- Ayala, I. M., & Gómez, P. L. (2000). Identificación de variables morfológicas y fisiológicas asociadas con el rendimiento en materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Palmas*, 21(especial), 10-21.
- Castillo, Ó. A. (2022). Incremento en el contenido de materia orgánica del suelo con el uso de biomasa del cultivo, como estrategia para mantener altas productividades. *Palmas*, 43(1), 97-101.
- Catari-Yujra, G., Guzmán-Moreno, M. A., Hands, M., & Reyes-Osornio, M. (2022). Rendimiento de maíz en sistema de callejones de *Inga* spp. con diferentes dosis de fertilizantes naturales. *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 8(15), 1886-1897.
- Cayón, D. G. (1999). Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Palmas*, 20(3), 43-54.
- Cortés, C. A., Cayón, D. G., Aguirre, V. H., & Chaves, B. (2006). Respuestas de palmas de vivero a la aplicación de residuos de la planta extractora: I. Desarrollo vegetativo y distribución de materia seca. *Palmas*, 27(3), 23-32.

- Delgado-Ospina, J., Menjivar-Flores, J. C., Sánchez, M. S., & Bonilla-Correa, C. R. (2012). Efecto de la fertilización en la producción de materia seca y extracción de nutrientes en tres accesiones de *Lippia origanoides* HBK. *Acta Agronómica*, 61(4), 331-338.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- Fernandes, J. A. F., Cediell, L. C., Pinilla, H. R., & Silva, L. D. N. A. (2022). Contexto socioambiental del cultivo extensivo de palma en Colombia. *Mercator (Fortaleza)*, 21.
- FEDEPALMA. (2022). La palma de aceite en Colombia, infografía actualizada, Fuente: Fedepalma, Sispa, SIFF, DANE, DIAN, tomado de: https://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Infografia_Colombia_2022_en_Espannol.pdf
- Galecio-Julca, M., León-Huamán, K. L., & Aguilar-Ancota, R. (2020). Efecto de fuentes orgánicas y microorganismos eficientes en el rendimiento del cultivo de banano orgánico (*Musa spp. L.*). *Manglar*, 17(4), 301-306.
- Gan, L. T., & Cap, H. (2016). RSPO PalmGHG, ISCC and ISPO GHG calculator-a comparative analysis. *Planter*, 92(1083), 379-399.
- González, J. R. Q., & González, L. E. Q. (2015). Biomasa: métodos de producción, potencial energético y medio ambiente. *I3+*, 2(2), 28-44.

- Granados, L. C., & González, J. (2022). Situación actual y perspectivas del mercado de fertilizantes en el mundo. *Boletín El Palmicultor*, 605(julio), 8-9.
- Jaramillo, D. F. J. (2015). Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de suelos palmeros de Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 45(2), 55-64.
- Kumar, K. S. (2016). El aceite de palma en el mercado global y sus oportunidades en Estados Unidos. *Palmas*, 37, 319-321.
- Lain, E., & Ocampo-Peñuela, N. (2019). Contexto actual del impacto ambiental de la palma de aceite en Colombia. *Palmas*, 40(3), 79-88.
- López, M. I., Soledad, B., Echezuría, H., & Delgado, J. (2020). Evaluación de las características físicas del biocarbón obtenido por el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la UCAB. *Tekhné*, 23(2).
- Manzano López, D. J., Botello Sánchez, E. A., & Zambrano Miranda, M. D. J. (2021). Desarrollo sostenible y cultivo agroindustrial de la palma de aceite en Norte de Santander, Colombia. *Apuntes del CENES*, 40(72), 233-270.
- Méndez, Y. D. R., & Angulo, H. M. R. (2018). Los mitos ambientales de la palma de aceite. *Palmas*, 39(4), 58-68.
- Montoya, M. M., Álvarez, E. R., Martínez, D. E. M., Villamil, M. C. E., Guerrero, Á., & Cala, S. (2022). Estudio de costos de producción 2021 para empresas benchmark del sector de la palma de aceite de Colombia: 2021 Production costs for benchmark plantations in Colombian oil palm sector. *Palmas*, 43(4), 26-39.
- Mora, A. S. (2022). Costos de producción en la agroindustria de palma de aceite. *Palmas*, 43(3).

- Mora, S., Chinchilla, C., Sánchez, A., & Escobar, R. (2007). Innovación en los procesos para mejorar la calidad de las semillas germinadas y de las plántulas de palma aceitera. *Revista Palmas*, 28(especial,), 265-272.
- Munévar, F. (2001). Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos. *Revista Palmas*, 22(4), 9-17.
- Orellana, T., Manzano, P., Chávez, E., Ruiz, O., León, R., Manzano, A. O., & Peralta, E. (2013). Estándares de fermentación y maduración artesanal de Bioles. *Yachana Revista Científica*, 2(1).
- Parra Penagos, C. O., & Herrera Rodríguez, J. M. (2009). Situación actual de la comercialización del abono orgánico bocashi en el Sugamuxi. *Cuadernos de Administración (Universidad del Valle)*, (42), 143-156.
- Ramírez Contreras, N. E., Silva Ramírez, Á. S., Garzón González, E. M., & Yáñez Angarita, E. E. (2020). Caracterización y manejo de subproductos del beneficio del fruto de palma de aceite.
- Ramírez Marrache, K., Florida Rofner, N., & Escobar Mamani, F. (2019). Indicadores químicos y microbiológicos del suelo bajo aplicación de microorganismos eficientes en plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 21-28.
- Rincón, S. M., & Martínez, D. M. (2009). Análisis de las propiedades del aceite de palma en el desarrollo de su industria. *Palmas*, 30(2), 11-24.

- Rojas, J. A. S., Salinas, D. G. C., & Bazurto, J. T. (2015). Efecto de la deficiencia de potasio sobre parámetros foliares de palma de aceite. *Palmas*, 36(4), 31-37.
- Romero Millán, L. M., Cruz Domínguez, M. A., & Sierra Vargas, F. E. (2016). Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cuesco de palma. *Tecnura*, 20(48), 89-99.
- Triviño Mideros, M. K., & Valencia Angulo, J. C. (2023). Eficiencia de abonos orgánicos (humus y bocashi) en cultivo de *Solanum lycopersicum* (tomate) y *Capsicum annum* (pimenton), como alternativa de seguridad alimentaria en huertas urbana (Doctoral dissertation, Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria).
- Van Dam, J. (2016). Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas*, 37, 149-156.
- Vásquez, H. V., & Maraví, C. (2017). Efecto de fertilización orgánica (biol y compost) en el establecimiento de morera (*Morus alba* L.). *Revista de Investigación en Ciencia y Biotecnología Animal*, 1(1).
- Zambrano, R. C., Mejía, F. X. L., Tinoco, A. D. C. C., & Veas, M. S. (2020). Análisis de los residuos orgánicos producidos en las extractoras de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) para su posible gestión por técnicas de compostaje. *Suplemento CICA Multidisciplinario* ISSN: 2631-2832, 4(9), 64-89.