



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**BIOCARBON OBTENIDO DE RESTOS DE PLANTAS COSECHADAS
COMO ENMIENDA EDÁFICA VEGETAL EN EL CULTIVO DE BANANO
(MUSA X PARADISIACA L.).**

**BELDUMA BELDUMA BRYAN FRANCISCO
INGENIERO AGRÓNOMO**

**MACHALA
2021**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

BIOCARBON OBTENIDO DE RESTOS DE PLANTAS
COSECHADAS COMO ENMIENDA EDÁFICA VEGETAL EN EL
CULTIVO DE BANANO (*MUSA X PARADISIACA* L.).

BELDUMA BELDUMA BRYAN FRANCISCO
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

BIOCARBON OBTENIDO DE RESTOS DE PLANTAS COSECHADAS COMO
ENMIENDA EDÁFICA VEGETAL EN EL CULTIVO DE BANANO (*MUSA X
PARADISIACA L.*).

BELDUMA BELDUMA BRYAN FRANCISCO
INGENIERO AGRÓNOMO

QUEVEDO GUERRERO JOSE NICASIO

MACHALA, 24 DE SEPTIEMBRE DE 2021

MACHALA
2021

Tesis final

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

3%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.utmachala.edu.ec

Fuente de Internet

3%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 2%

Excluir bibliografía

Apagado

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, BELDUMA BELDUMA BRYAN FRANCISCO, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado BIOCARBÓN OBTENIDO DE RESTOS DE PLANTAS COSECHADAS COMO ENMIENDA EDÁFICA VEGETAL EN EL CULTIVO DE BANANO (*Musa x paradisiaca* L), otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

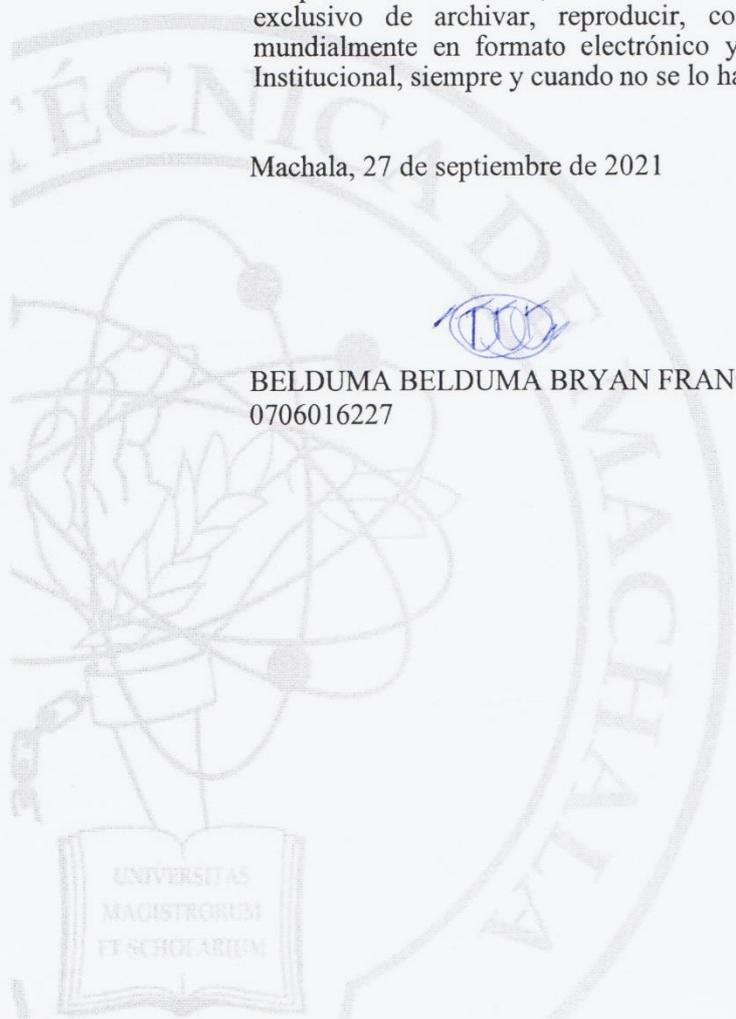
El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 27 de septiembre de 2021



BELDUMA BELDUMA BRYAN FRANCISCO
0706016227



AGRADECIMIENTO

Estoy agradecido con Dios y la vida, por haberme dado la oportunidad de dar mis primeros pasos en la vida junto con personas maravillosas y trabajadoras como lo son mi madre, hermano, mis abuelos, mis tíos(as) y primos(as), que han sido mi ejemplo a seguir.

A la Universidad Técnica de Machala por haberme brindado los espacios necesarios para potencializar mis conocimientos en las ciencias agropecuarias en especial en la agronomía y a las personas productivas que se encuentran en cada uno de los departamentos de la noble institución.

De manera muy especial a mis tutores de tesis; Ing. José Quevedo Guerrero, Ing. Julio Chabla Carrillo PhD, Ing. Salomón Barrezueta PhD y demás docentes de la FCA, por haberme brindado su buena disposición en las aulas de clases, así como también por su calidad de docencia al momento de impartir los conocimientos prácticos en campo para realizar mi trabajo de investigación.

A los líderes de mi país y demás países, que directa o indirectamente han influenciado en mí, permitiéndome reconocer el poder de la palabra, que el éxito comienza por la mente y que todos somos iguales en la capacidad de prosperar en todo aquello que nos propongamos con trabajo y disciplina.

“No eres líder por aquellos que te rodeas, si no, por los cambios positivos que generas en donde estas”

Por: Autor

DEDICATORIA

A mi madre Delfa Belduma, por darme el ejemplo, amor, comprensión y apoyo incondicional en todos mis años de formación académica.

El presente trabajo lo dedico en memoria de mi abuelo Ramón Isaías Belduma, por ser quien en mi infancia me enseñó a trabajar en el campo, darme la oportunidad de ver la importancia de la agronomía en la localidad, el país y en el mundo.

A las personas de mi país que por ciertas limitaciones no han podido tener la oportunidad de asistir a la universidad.

“La sabiduría del ser humano, no se refleja por acumularla en sí mismo, más, esta se manifiesta en la capacidad de ser transferida a los demás”

Por: Autor

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	13
1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2	JUSTIFICACIÓN	14
1.3	OBJETIVO GENERAL	14
1.4	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2	MARCO REFERENCIAL	15
2.1	BANANO	15
2.1.1	BANANO ECUATORIANO	15
2.1.1.1	Distribución geográfica	15
2.1.2	TAXONOMÍA DEL BANANO	15
2.1.3	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	16
2.1.3.1	Sistema radicular	16
2.1.3.2	Rizoma.....	16
2.1.3.3	Pseudotallo	16
2.1.3.4	Hojas.....	16
2.1.3.5	Florescencia.....	16
2.1.3.6	Fruto	17
2.1.4	REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS	17
2.1.4.1	Altitud.....	17
2.1.4.2	Precipitaciones y requerimientos de agua.....	17
2.1.4.3	Temperatura.....	17
2.1.4.4	Humedad relativa.....	17
2.1.4.5	Luminosidad	17
2.1.4.6	Suelo.....	17
2.1.5	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL BANANO	17
2.1.5.1	Fertilización.....	17
2.1.5.2	Enmiendas edáficas usadas en el banano.....	18
2.1.5.3	Riego	18
2.1.6	FENOLOGÍA DEL CULTIVO	18
2.1.6.1	Fase vegetativa	18
2.1.6.1.1	Fase infantil	19
2.1.6.1.2	Fase juvenil.....	19
2.1.6.2	Fase reproductiva.....	19
2.1.7	EMISIÓN FOLIAR	19
2.1.8	BIOMASA VEGETAL Y SU COMPOSICIÓN	19
2.1.8.1	Composición del pseudotallo.....	19

2.1.8.2	Composición de las hojas	19
2.1.8.2.1	Propiedades físicas y químicas	19
2.1.8.3	Composición del raquis de banano	20
2.1.8.3.1	Propiedades físicas químicas	20
2.1.8.4	Composición de los dedos de banano	20
2.2	MANEJO AGRONÓMICO PARA BANANO ORGÁNICO	20
2.2.1	LABORES CULTURALES	20
2.2.1.1	Preparación del suelo	20
2.2.1.2	Densidad poblacional y siembra	20
2.2.1.3	Manejo de arvenses	20
2.2.1.4	Deshije	20
2.2.1.5	Deshoja	21
2.2.1.5.1	Cirugía	21
2.2.1.6	Deschante	21
2.2.1.7	Enfunde	21
2.2.1.8	Desflore	21
2.2.1.9	Cirugía de laterales	21
2.2.1.10	Deschive	21
2.2.1.11	Protección de manos	21
2.2.1.12	Destore	22
2.2.1.13	Pre-calibración	22
2.2.1.14	Cosecha	22
2.2.1.15	Poscosecha	22
2.2.2	SIGATOKA NEGRA	22
2.3	BIOCARBÓN	23
2.3.1	ORIGEN	23
2.3.2	OBTENCIÓN DEL BIOCARBÓN	23
2.3.2.1	El pirólisis y las propiedades física químicas del biocarbón	23
2.3.3	CLASIFICACIÓN	23
2.3.3.1	Valor del fertilizante	24
2.3.4	ESTRUCTURA QUÍMICA	24
2.3.5	BIOCARBÓN COMO ENMIENDA DE SUELOS	24
2.3.6	CAPACIDADES HÍDRICAS	25
2.3.7	BIOCARBÓN DE BANANO	25
2.3.7.1	pH	25
3	DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR	26
3.1	LOCALIZACIÓN DE ÁREA EXPERIMENTAL	26
3.1.1	Ubicación geográfica	26

3.1.2	Clima de la zona	27
3.2	MATERIALES.....	28
3.2.1	MANTENIMIENTO DEL CULTIVO	28
3.2.2	ELABORACIÓN DEL BIOCARBÓN.....	28
3.2.3	APLICACIÓN DEL BIOCARBÓN	28
3.2.4	MATERIALES PARA LA TOMA DE DATOS EN CAMPO	28
3.2.5	MATERIAL GENÉTICO	28
3.2.5.1	Variables evaluadas.....	28
3.3	TRATAMIENTOS.....	29
3.4	METODOLOGÍA.....	29
3.4.1	PREPARACIÓN DEL TERRENO	29
3.4.2	SISTEMA DE PLANTACIÓN.....	29
3.4.3	ACONDICIONAMIENTO DEL HORNO.....	30
3.5	CONVERSIÓN DE BIOMASA	31
3.5.1	APLICACIÓN DE BIOCARBÓN.....	31
3.5.2	LABORES CULTURALES	32
3.5.2.1	Manejo de arvenses	32
3.5.2.2	Deshije.....	32
3.5.2.3	Deshoja.....	32
3.5.2.4	Deschante	32
3.5.2.5	Enfunde	32
3.5.2.6	Desflore	32
3.5.2.7	Ddeschive	32
3.5.2.8	Destore.....	32
3.5.2.9	Cosecha	32
3.5.2.10	Poscosecha.....	33
3.5.3	VARIABLES DE ESTUDIO	33
3.5.3.1	porcentaje de raíces	33
3.5.3.2	Altura de la planta reproductiva y retorno.....	33
3.5.3.3	Número total de hojas a la aparición.....	33
3.5.3.4	Emisión foliar	33
3.5.3.5	Área foliar.....	34
3.5.3.6	Peso del racimo.....	34
3.5.3.7	Peso del raquis.....	34
3.5.3.8	Número de manos.....	34
3.5.3.9	Calibración	34
3.5.3.10	Largo de dedos de la mano inferior y de la mano de sol	34
3.5.3.11	Peso de la mano de sol y mano inferior	34

3.5.3.12	Número de dedos de la mano de sol y mano inferior	34
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
4.1	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICULAR.....	40
4.1.1	PESO TOTAL DE RAÍCES.....	40
4.1.2	RAÍCES SANAS.....	41
4.1.3	RAÍCES DAÑADAS	42
4.1.4	RAÍCES SECAS.....	42
4.1.5	RAÍCES CON PRESENCIA DE NEMÁTODOS	43
4.1	CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA.....	43
4.1.1	ALTURA FINAL	43
4.1.2	ALTURA DEL HIJO (RETORNO)	44
4.2	SISTEMA FOLIAR	44
4.2.1	NÚMERO DE HOJAS.....	44
4.2.2	NÚMERO DE HOJAS AL CORTE	45
4.2.3	ÁREA FOLIAR.....	45
4.3	CARACTERÍSTICAS DEL RACIMO SEGÚN TRATAMIENTO.....	46
4.3.1	GRADO DE MANO INFERIOR.....	46
4.3.2	MEDIA DE PESO TOTAL DEL RACIMO	46
4.3.3	PESO DEL RAQUIS (TALLO DEL RACIMO).....	47
4.3.4	NÚMERO DE MANOS POR RACIMO	48
4.3.5	GRADO DE MANO SOL.....	48
4.3.6	PESO DE LA MANO SOL.....	49
4.3.7	NÚMERO DE DEDOS DE LA MANO SOL.....	49
4.3.8	LONGITUD DE DEDOS DE LA MANO DE SOL	50
4.3.9	MEDIA DEL PESO DE LA MANO INFERIOR	51
4.3.10	NÚMERO DE DEDOS DE LA MANO INFERIOR.....	51
4.3.11	LONGITUD DE DEDOS DE LA MANO INFERIOR	52
5	CONCLUSIONES	53
6	RECOMENDACIONES	53
7	BIBLIOGRAFÍA	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Nutrientes y su función en las plantas	18
Tabla 2: Clase de fertilizante	24
Tabla 3. Detalles de los tratamientos de estudio.	29
Tabla 4. Resultados de conversión de biomasa ...	31
Tabla 5. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 1	35
Tabla 6. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 2.	35
Tabla 7. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 3.	36
Tabla 8. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 4.	36
Tabla 9. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 5.	36
Tabla 10. Crecimiento mensual en metros de las plantas con tratamiento 1.	36
Tabla 11. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 2	37
Tabla 12. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 3	38
Tabla 13. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 4	38
Tabla 14. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 5	39
Tabla 15. ANOVA de un factor	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Levantamiento planímetro del predio	26
Figura 02. Vista satelital del predio.	27
Figura 03. Distribución espacial de los tratamientos de biochar en el predio.	27
Figura 04. Dimensiones del sistema de plantación	29
Figura 05 Resumen fotográfico de los pasos para la obtención de biocarbón.	30
Figura 06. Aplicación de biochar	31
Figura 07. Dimensiones para la toma de muestra de raíz.	33
Figura 08. Comportamiento altura de biocarbón a base de pseudotallo de banano.	37
Figura 09. Comportamiento altura de biocarbón a base de pseudotallo de banano.	37
Figura 10. Comportamiento altura de biocarbón a base de raquis de banano.	38
Figura 11. Comportamiento altura de biocarbón dedos de banano.	39
Figura 12. Comportamiento vegetativo en altura de la planta testigo absoluto.	39
Figura 13. Peso total de raíces según tratamiento de estudio	41
Figura 14. Peso total de raíces sanas según tratamiento de estudio	41
Figura 15. Peso total de raíces dañadas según tratamiento de estudio	42
Figura 16. Peso total de raíces secas según tratamiento de estudio	42
Figura 17. Peso total de raíces con nemátodos según tratamiento de estudio	43
Figura 18. Altura final de la planta madre según tratamiento de estudio.	43
Figura 19. Altura de retorno según tratamiento de estudio.	44
Figura 20. Media número de hojas en el banano según tratamiento de estudio	44
Figura 21. Media número de hojas al corte del racimo, según tratamiento de estudio	45
Figura 22. Media número de hojas al corte del racimo, según tratamiento de estudio	46
Figura 23. Media grado de mano inferior según tratamientos de estudio.	46
Figura 24. Media peso de racimo según tratamientos de estudio.	47
Figura 25. Media peso de raquis demandado según tratamientos de estudio.	47
Figura 26. Media número de manos por racimo según tratamientos de estudio.	48
Figura 27. Media grado mano de sol según tratamientos de estudio.	49
Figura 28. Media peso de mano de sol según tratamientos de estudio.	49
Figura 29. Media número de dedos en mano de sol según tratamientos de estudio.	50
Figura 30. Media longitud de dedos en mano de sol según tratamientos de estudio.	50
Figura 31. Media del peso de mano inferior según tratamientos de estudio.	51
Figura 32. Media número de dedos en mano inferior según tratamientos de estudio.	51
Figura 33. Media longitud de dedos en mano inferior según tratamientos de estudio.	52

TEMA:

BIOCARBÓN OBTENIDO DE RESTOS DE PLANTAS COSECHADAS COMO ENMIENDA EDÁFICA VEGETAL EN EL CULTIVO DE BANANO (*MUSA X PARADISIACA* L).

Belduma Belduma, Bryan

Quevedo Guerrero, José

RESUMEN

El banano (*Musa paradisiaca* L.) ecuatoriano, es considerado como el mejor banano a nivel mundial, por sus aportes nutricionales a la salud y por ser es uno de los principales rubros no petroleros que dinamizan la economía, generando trabajo y estabilidad económica para el país. El presente ensayo se realizó en el área experimental de la granja Santa Inés de la Universidad Técnica de Machala, cuyos objetivos específicos son: 1 Determinar el tratamiento que obtuvo los mejores resultados de raíz sana en comparación con testigo absoluto. 2 Enunciar qué tipo de biocarbón es el más eficiente para estimular una mayor altura en la planta de banano. 3 Especificar cuál de los tratamientos evaluados presenta mejores resultados en área foliar del banano clon Williams. 4 Enunciar el tratamiento que presenta mejor conversión biocarbón/peso del racimo, mediante análisis estadístico ANOVA de un factor. 5 Establecer cuál de los tratamientos logra obtener mejores resultados de productividad mediante la toma de datos en campo durante la cosecha. Se utilizaron cuarenta unidades vegetativas clon Williams como material experimental, es decir, ocho unidades vegetativas para biocarbón a base de pseudotallo, hojas, raquis, dedos de banano y ocho como testigo absoluto. Las variables de estudio son: Peso de raíces total (PRTotal), raíces sanas (Prsanas), raíces dañadas (Prdñ), peso raíces secas (Razc) y raíces con nemátodos (PRnemat), altura final a la parición (AF), altura del retorno (Rhijo), número de hojas (NH), hojas al corte (Hc), área foliar (ArF), calibración mano inferior (CUM), peso del racimo (PR), peso de tallo aéreo desmanado (Prd), cantidad manos por racimo (NM), calibración mano de sol (CMS), peso mano de sol (PMS), número dedos en mano de sol (ND), longitud de dedos mano sol (MMS), peso de mano inferior (PMI), número dedos en mano inferior (NDm), longitud de dedos mano inferior (MUM). Los resultados que presentan significancia son: (Prsanas), (Prdñ), (Razc), (Rhijo), (NH), (PR), (Prd), (NM), (CMS), (PMS), (ND), (MMS) y (NDm), dado que su nivel de significancia es menor a (0.05).

Como consecuencia, el tratamiento biochar raquis presenta beneficios en el desarrollo y supervivencia de la raíz en el suelo con una media de 2.09 g por cada planta cosechada, a comparación del tratamiento testigo absoluto que presenta una diferencia estadísticamente significativa con media 6.64 g de raíz dañada por cada planta cosechada, de tal manera que el biochar de raquis de banano como enmienda agrícola optimiza las propiedades físicas del suelo como la porosidad, humedad del suelo, temperatura, almacenamiento de agua y microorganismos lo que evidencia una baja pérdida de raíz en el sistema radicular de la planta de banano. Para la variable peso del racimo, el tratamiento que mejores resultados obtuvo es el biochar de raquis de banano, dado que en su composición química posee altos niveles de potasio y fósforo, elementos necesarios para el desarrollo de microorganismos eficientes en el suelo, los cuales están directamente relacionados con el aumento de la disponibilidad de nutrientes para la planta, permitiendo un eficiente llenado del racimo a comparación de los otros tratamientos. En la variable peso de raquis, obtuvo una media superior a comparación de los tratamientos de 6.34 lb, con una media de 8 manos por cada racimo cosechado, con media mano de sol tiene un grado de 46, 13, número de dedos por cada mano de sol de 28.43, con una media de 11 pulgadas de longitud de dedo mano de sol, y con una media del total de hojas durante el ciclo de cultivo de banano de 24.1 hojas por planta, con un valor de área foliar de 7.3, con 6.3 hojas al corte, cuya media de altura de retorno al momento de la cosecha es de 1.18 m. La longitud de dedos en el racimo de banano, lo permitido para exportación, es de 7 pulgadas, de tal manera que la longitud de dedos obtenidos en los tratamientos de estudio comprende las 9.25 pulgadas para el tratamiento testigo absoluto y 11.25 pulgadas de longitud para el tratamiento biochar raquis de banano. En cuanto a la variable número de dedos de mano inferior el tratamiento biochar de raquis de banano obtuvo los mejores resultados cuya media es de 14.63 unidades dedos, por cada mano inferior. La información recolectada se analizó mediante el análisis estadístico ANOVA de un factor, por lo que se consideró a cada tratamiento como el factor de estudio. El empleo de biochar del raquis de banano utilizado como enmienda agrícola en suelos bananeros permite el aumento de la productividad, como la obtención de racimos con un mayor peso, mayor número de raíces sanas, cifra de manos por racimos cosechados, longitud de ovarios de mano de superior e inferior requeridos por los mercados extranjeros, así como también la sanidad y calidad de la fruta cosechada.

Palabras claves: Banano, sistema foliar, clon Williams, desarrollo radicular, biocarbón, enmienda agrícola, Granja Santa Inés.

TOPIC:

BIOCHAR OBTAINED FROM HARVESTED PLANT REMAINS AS A PLANT EDAPHIC AMENDMENT IN BANANA (*MUSA X PARADISIACA L*) CULTIVATION.

**Belduma Belduma, Bryan
Quevedo Guerrero, José**

ABSTRACT

The Ecuadorian banana (*Musa paradisiaca L.*) is considered the best banana in the world because of its nutritional contributions to health and because it is one of the main non-oil products that stimulate the economy, generating work and economic stability for the country. The present trial was carried out in the experimental area of the Santa Inés farm of the Technical University of Machala, whose specific objectives are: 1 To determine the treatment that obtained the best results of healthy root in comparison with the absolute control. 2 To determine which type of biochar is the most efficient to stimulate a greater height in the banana plant. 3 Specify which of the evaluated treatments shows the best results in leaf area of banana clone Williams. 4 State which treatment shows the best biochar/ bunch weight conversion, by means of a one-factor ANOVA statistical analysis. 5 To establish which of the treatments achieves the best productivity results by means of field data collection during harvest. Forty vegetative units clone Williams were used as experimental material, i.e., eight vegetative units for biochar based on pseudostem, leaves, rachis, banana fingers and eight as absolute control. The study variables are: Total root weight (PRTotal), healthy roots (Prsanas), damaged roots (Prdñ), dry roots weight (Razc) and roots with nematodes (PRnemat), final height at calving (AF), return height (Rhijo), number of leaves (NH), leaves at cutting (Hc), leaf area (ArF), calibration lower hand (CUM), bunch weight (PR), unmanured rachis weight (Prd), number of hands per bunch (NM), sun hand calibration (CMS), sun hand weight (PMS), number of fingers in sun hand (ND), length of fingers in sun hand (MMS), weight of lower hand (PMI), number of fingers in lower hand (NDm), length of fingers in lower hand (MUM). The results that show significance are (Prsanas), (Prdñ), (Razc), (Rhijo), (NH), (PR), (Prd), (NM), (CMS), (PMS), (ND), (MMS) and (NDm), since their significance level is less than (0.005). As a consequence, the biochar rachis treatment presents benefits in root development and survival in the soil with a mean of 2.09 g per harvested plant, compared to the absolute control treatment that presents a statistically significant difference with mean 6.64 g of damaged root per harvested plant, so that the banana rachis biochar as an

agricultural amendment optimizes the physical properties of the soil such as porosity, soil moisture, temperature, water storage and microorganisms, which shows a low root loss in the root system of the banana plant. For the bunch weight variable, the treatment that obtained the best results was the banana rachis biochar, since its chemical composition has high levels of potassium and phosphorus, elements necessary for the development of efficient microorganisms in the soil, which are directly related to the increase in the availability of nutrients for the plant, allowing an efficient filling of the bunch compared to the other treatments. In the rachis weight variable, it obtained a higher average compared to the treatments of 6.34 lb, with an average of 8 hands per harvested bunch, with half sun hand has a grade of 46, 13, number of fingers per sun hand of 28. 43, with an average sun hand finger length of 11 inches, and with an average of total leaves during the banana crop cycle of 24.1 leaves per plant, with a leaf area value of 7.3, with 6.3 leaves at cutting, whose average return height at harvest is 1.18 m (4 ft). The length of fingers in the banana bunch, which is allowed for export, is 7 inches, so that the length of fingers obtained in the study treatments comprises 9.25 inches for the absolute control treatment and 11.25 inches in length for the biochar banana rachis treatment. Regarding the variable number of fingers on the lower hand, the banana rachis biochar treatment obtained the best results, with a mean of 14.63 finger units per lower hand.

The information collected was analyzed by means of a one-factor ANOVA statistical analysis, so each treatment was considered as the study factor. The use of banana rachis biochar as an agricultural amendment in banana soils allows the increase of productivity, such as obtaining bunches with higher weight, higher number of healthy roots, number of hands per harvested bunch, length of sun and lower hand fingers required by foreign markets, as well as the health and quality of the harvested fruit.

Key words: Banana, leaf system, William's clone, root development, biochar, agricultural amendment, Granja Santa Inés.

1 INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica es importante en la alimentación de las personas a nivel mundial dado que se obtienen alimentos sanos y con alto valor nutricional.

El banano (*Musa spp*) se favorece con este tipo de agricultura, dado que su fruta y sus derivados poseen un potencial comercial en el mundo. Entre enero y octubre del 2018, el banano orgánico representó el siete punto dos por ciento de las exportaciones totales de la fruta, obteniendo ingresos por doscientos cuarenta y uno millones de dólares; Estados Unidos, la Unión Europea y Japón son los principales mercados (Soto, 2011).

El sector bananero ecuatoriano representa el dos por ciento del PIB general y cerca del treinta y cinco del PIB agrícola (MCEI, 2017). La mayoría de su actividad se desarrolla en las provincias de Guayas, Los Ríos, Manabí, Esmeraldas y El Oro, es uno de los principales rubros no petroleros que dinamizan la economía del país generando trabajo y estabilidad económica.

El uso del biocarbón favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo, es considerado como enmienda edáfica, que se obtiene por el proceso pirolisis, haciendo que el carbón presente en la biomasa sea más resistente a la descomposición química y biológica del suelo.

Existen experiencias positivas derivadas de la aplicación de biocarbón al suelo (Gaona, Guerrero, & Batista, 2020), dado que generan una mejoría en propiedades físicas, químicas y biológicas, lo que se vuelve en un incremento de la productividad (Escalante et al., 2016).

Considerando lo antes expuesto, en el presente trabajo se muestra el proceso para la transformación de biomasa seca (pseudotallo, hojas, raquis y dedos de banano) en biocarbón mediante pirolisis, a fin de ser evaluados como enmienda edáfica en unidades vegetativas clon Williams, ubicadas en el área experimental de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Falta de investigación sobre el biocarbón obtenido a partir de pseudotallo, hojas, raquis y dedos de banano en la provincia de El Oro.

Tiempo prolongado en la degradación de los restos de poscosecha, erosión edáfica por el uso indiscriminado de insumos y sustancias sintéticas con fines nutricionales.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad los restos de poscosecha de banano, están siendo utilizados para optimizar la utilidad de materia seca que el cultivo produce, la cual, a través de la pirolisis, el biochar brinda una alternativa para mejorar el almacenamiento, disponibilidad de nutrimentos en el suelo durante el crecimiento y desarrollo del cultivo. Siendo esta, una alternativa para reducir las afecciones del medio ambiente y del suelo por el uso indiscriminados de fertilizantes sintéticos y la obtención de alimentos sanos para las presentes y futuras generaciones.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Determinar la incidencia de los diferentes tipos de biocarbón en el en el cultivo de banano clon Williams.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1 Determinar el tratamiento que obtuvo los mejores resultados de raíz sana en comparación con testigo absoluto.
- 2 Enunciar qué tipo de biocarbón es el más eficiente para estimular una mayor altura en la planta de banano.
- 3 Especificar cuál de los tratamientos evaluados presenta mejores resultados en área foliar del banano clon Williams.
- 4 Enunciar el tratamiento que presenta mejor conversión biocarbón/peso del racimo, mediante análisis estadístico ANOVA de un factor.
- 5 Establecer cuál de los tratamientos logra obtener mejores resultados de productividad mediante la toma de datos en campo durante la cosecha.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 BANANO

El banano es considerado una planta herbácea (hierba gigante) monocotiledónea perteneciente al orden Zingiberales, familia Musáceas y género Musa (Gonzabay, 2013). La cual a partir de una serie de mutaciones y cambios genéticos entre *Musa acuminata* y *Musa balbisiana* (especies silvestres) dieron origen a los diferentes clones comerciales como, Dwarf Cavendish, Valery, Williams, etc. (Cadena, 2009).

2.1.1 BANANO ECUATORIANO

En el Ecuador la producción de banano es una de las acciones agrícolas de mayor relevancia económica del país, simboliza un tercio de las exportaciones internacionales, generando ingresos de dólares en concepto de divisas e impuestos al estado. Ocupa el 3.84% del PIB general del país, el 50% del PIB agrícola y el 20% de las exportaciones privadas (Cedeño, 2018).

2.1.1.1 Distribución geográfica

La producción bananera del Ecuador se centra en las provincias de El Oro, Guayas y Los Ríos, donde la provincia de El Oro se caracteriza por tener el mayor número de pequeños productores de banano, mientras que las provincias del Guayas y Los Ríos se encuentran aquellos productores con grandes extensiones del cultivo de banano (MCEI, 2017).

2.1.2 TAXONOMÍA DEL BANANO

Nombre común: Banano, guineo.

Nombre científico: *Musa paradisiaca* L.

Clasificación taxonómica (Gómez et al., 2015):

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Genero	Musa
Especie	<i>Paradisiaca</i> L.

Elaborado por: Autor

2.1.3 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

2.1.3.1 Sistema radicular

Tiene raíces superficiales que se desarrollan la mayor parte de ellas desde quince hasta veinte centímetros de profundidad. Son de color blanco cuando emergen, pero con el paso del tiempo se tornan amarillas y perduras, su diámetro llega a ser de cinco a ocho milímetros y su longitud puede alcanzar los dos hasta tres metros de crecimiento lateral y un metro y medio de profundidad (Infoagro, 2013).

2.1.3.2 Rizoma

También conocido como cormo, tallo verdadero o bulbo, es un tallo subterráneo del cual se origina el pseudotallo y raíces, está constituido por varios puntos de crecimientos llamados meristemas o yemas vegetativas (Infoagro, 2013).

2.1.3.3 Pseudotallo

También llamado falso tallo, está conformado por la unión apretada y enrollada de las vainas de las hojas, la cual cumple la función de proteger y sostener la florescencia (bellota) de la planta una vez que alcance su edad adulta (Rodríguez et al., 2006).

2.1.3.4 Hojas

Durante las etapas vegetativas iniciales emergen hojas no funcionales en forma de espada, cuyo limbo no está desarrollado. Después surgen hojas funcionales en las cuales es posible notar sus partes como lamina, limbo, pseudo peciolo, vaina y la nervadura central (Galan et al., 2018).

El banano posee dos tipos de hojas funcionales, folio medio (Fm) y folio normal (FN). Juegan un rol importante para el crecimiento, desarrollo y producción de los frutos en el racimo, dado que las hojas son capaces de transformar la sabia bruta en sabia elaborada a través de un proceso anabolismo autótrofo llamado fotosíntesis (Martínez et al, 2011).

2.1.3.5 Florescencia

También llamada bellota, crece y se desarrolla en la parte interna del pseudotallo, para luego emerger y descansar sobre las uniones que forman las vainas de las hojas, su aparición refleja nueva etapa vegetativa, dado que el crecimiento y desarrollo de las hojas y del cormo ha finalizado, mas no su funcionalidad (Martínez T. , 2019).

La agrupación de flores femeninas forma los racimos (manos), los cuales se encuentran a lo largo del pedúnculo (raquis) y son las primeras en aparecer, mientras que las flores masculinas aparecen a medida que crece el fruto y se encuentran en la parte final de la florescencia, acompañada por brácteas que se levantan durante la antesis (Redagroactiva, 2021).

2.1.3.6 Fruto

Es un ovario no fecundado, botánicamente una baya falsa, conocida comúnmente como dedo de banano (Orozco Gutiérrez, Medina Telez, & Elvira Espinosa, 2021), en estado silvestre poseen semillas fértiles a diferencia de los bananos comerciales, los frutos cuyas características físicas, químicas y organolépticas varían según el clon cultivado (Martínez T. , 2019).

2.1.4 REQUERIMIENTOS EDAFOCLIMÁTICOS

Las condiciones edafoclimáticas de El Oro, Los Ríos y Guayas del Ecuador se consideran óptimas para el cultivo.

2.1.4.1 Altitud

El banano se cultiva desde los 0 msnm hasta los 300 msnm (Agrocalidad, Manual de buenas prácticas agrícolas para el banano, 2016).

2.1.4.2 Precipitaciones y requerimientos de agua.

El banano necesita agua en todo su ciclo de producción (90%), siendo 1600 mm y 3600 mm las precipitaciones medias para el cultivo.

2.1.4.3 Temperatura.

Entre 25 °C y 30 °C, siendo 28 °C lo óptimo.

2.1.4.4 Humedad relativa.

La humedad relativa óptima para el cultivo es menor a 80%, cuando es mayor causa proliferación de hongos y enfermedades, afectando significativamente la sanidad del cultivo (Agrocalidad, 2016) .

2.1.4.5 Luminosidad.

El cultivo requiere 8 h luz al día, lo óptimo 10 h.

2.1.4.6 Suelo

Se desarrolla en suelos franco arenoso, franco arcilloso o franco limoso, requiere una profundidad efectiva de 1.20 m, con un pH ligeramente ácido de 6.5 (óptimo), tolerante a pH entre 5.5 y 7.5.

2.1.5 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DEL BANANO

El cultivo se caracteriza por una demanda alta de nutrientes, se puede cosechar 70 Tm/ha/año, de tal modo que las extracciones de potasio, nitrógeno y fosforo deben ser devueltas al suelo, mediante enmiendas u otros aportes nutricionales (Sanchez , 2020).

2.1.5.1 Fertilización.

Para una correcta fertilización es necesario tener un análisis foliar y de suelo, de tal manera se logren identificar y satisfacer las carencias nutritivas de micro y macronutrientes en el cultivo (Martínez T. , 2019).

Elementos como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son aquellos que mayor dosis necesita el banano, a comparación de hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), boro (B) y silicio (Si), cuyas aplicaciones son en dosis bajas (Villaseñor, y otros, 2020).

NUTRICIÓN VEGETAL				
Tipo	Elemento	Símbolo químico	Función en las plantas	
Elementos en estado natural	Carbono	C	Componente fundamental de carbohidratos, proteínas, lípidos y aminoácidos.	
	Hidrógeno	H	Metabolismo, importante en balance iónico, agente reductor en reacciones de energía a nivel celular.	
	Oxígeno	O	Componente de todos los compuestos orgánicos	
Macronutrientes	Primarios	Nitrógeno	N	Componente de proteínas, aminoácidos y ácidos nucleicos.
		Fósforo	P	Transferencia de energía y metabolismo de proteínas
		Potasio	K	Importante en la fotosíntesis, transporte de fotosintatos y reserva de almidones.
	Secundarios	Calcio	Ca	División celular, mantiene la integridad de las membranas. Es importante en la formación y desarrollo uniforme del fruto.
		Magnesio	Mg	Componente de la molécula de clorofila y cofactor de reacciones enzimáticas. Incrementa la producción de azúcares
		Azufre	S	Transfiere energía a la planta
Macronutrientes	Micronutrientes	Cobre	Cu	Componente de varias sustancias (hormonas), que permiten el desarrollo de las plantas
		Hierro	Fe	Formación de proteínas. Crecimiento de la raíz y puntos aéreos y transferencia de energía.
		Manganeso	Mn	Transporte de electrones, germinación del polen y crecimiento del tubo de polen.
		Zinc	Zn	Junto con el boro cumple un papel importante en la formación de los frutos y el transporte de electrones.
		Boro	B	Metabolismo de carbohidratos en la síntesis de la pared celular

Tabla 01. Nutrientes y su función en las plantas

Fuente: (Arévalo, 2009)

Elaborado por: Autor

2.1.5.2 Enmiendas edáficas usadas en el banano.

El uso de enmiendas agrícolas optimiza las condiciones en que la raíz habita en suelos bananeros, reducen la degradación y aumentan la actividad microbiana como también la disponibilidad de nutrimentos para la planta (Wuellins et al., 2017).

2.1.5.3 Riego

El cultivo de banano es susceptible al déficit de agua, debido a que sus raíces de nutrición son pocas profundas, con una débil penetración y poca capacidad para extraer agua, por lo tanto, el intervalo y frecuencia del riego está en función de las precipitaciones y las pérdidas hídricas del suelo más la transpiración del cultivo (evapotranspiración) (Cigales, 2011).

2.1.6 FENOLOGÍA DEL CULTIVO

2.1.6.1 Fase vegetativa

Se considera fase vegetativa cuando el incremento y mejora de la especie vegetativa, dependen inicialmente por los nutrientes del suelo, la madre y sanidad del cultivo. En esta

fase la emisión foliar puede alcanzar las 35-36 hojas, con una emisión foliar de 0.4-0.6 hojas por semana (Robinson et al., 2011).

2.1.6.1.1 Fase infantil

Esta fase es conocida por la germinación o aparición de yemas vegetativas laterales (meristemos) y están directamente influenciadas por la planta madre hasta que dichas yemas, cumplan un tiempo de tres meses, tiempo en el cual los hijos tienen una altura aproximada de 50 cm, con hojas cuyo folio es de diez centímetros de ancho (F10) y tiene una duración de 104 días (MAG, 2017).

2.1.6.1.2 Fase juvenil

Se inicia luego de la hoja F10, la cual es considerada como índice para determinar el crecimiento de la planta, seguidamente inicia la aparición de hojas con folio medio (Fm), que indica el inicio de la fase autónoma de la planta y se considera la primera hoja normal, cuyas características son similares a planta madre (MAG, 2017).

2.1.6.2 Fase reproductiva

Es la última fase fenológica del banano, comprendida desde la aparición de la hoja Fm hasta la cosecha, cuya duración es de 209 días, donde 125 días es por la transición de folio medio a folio normal, más 84 días por la transición de folio normal a la cosecha del racimo (MAG, 2017).

2.1.7 EMISIÓN FOLIAR

Es la capacidad que tiene una planta para emitir hojas, permite el correcto llenado del fruto, garantiza calidad de exportación en la fruta. Alrededor de la hoja 24, la planta emite su florescencia, con un mínimo de 10 hojas durante la floración (Rivera, 2016).

2.1.8 BIOMASA VEGETAL Y SU COMPOSICIÓN

Las propiedades físicas de los residuos de la planta del banano son muy similares a las del biocarbón de aserrín de pino (Giraldo et al., 2015).

2.1.8.1 Composición del pseudotallo

El pseudotallo químicamente este compuesto por:

Humedad del 5.89 %, cenizas, macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg), minerales (Zn, Cu, Fe, Mn, Na), materiales pesados (plomo) (Murgueitio et al, 2019).

2.1.8.2 Composición de las hojas

2.1.8.2.1 Propiedades físicas y químicas

Posee un diámetro de partícula de 0.55 mm, contenido de humedad 8.41 %, cenizas, carbón, nitrógeno e hidrogeno (Giraldo et al., 2015).

2.1.8.3 Composición del raquis de banano

La materia prima del raquis está constituida de niveles altos de fósforo y potasio, elementos que permiten un desarrollo de ME, los biocarbones en especial los obtenidos del raquis de banano pH 9 (Sánchez et al., 2020).

2.1.8.3.1 Propiedades físicas químicas

Posee un diámetro de partícula de 0.67 mm, contenido de humedad 7.62 %, cenizas, carbón, nitrógeno e hidrogeno (Giraldo et al.,2015).

2.1.8.4 Composición de los dedos de banano

La composición química que pueden tomar los frutos de banano puede ser alterados de acuerdo con el material genético y a las condiciones edafoclimáticos, además está estrechamente relacionado con la maduración y las prácticas agrícolas en el cultivo. Encontramos elementos químicos como K, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, B y cenizas (Martínez et al., 2016).

2.2 MANEJO AGRONÓMICO PARA BANANO ORGÁNICO

2.2.1 LABORES CULTURALES

2.2.1.1 Preparación del suelo

Considerada como una labor de suma importancia para el cultivo, busca acondicionar el suelo a fin de facilitar el crecimiento de las raíces y sostén de la planta, garantizando la nutrición durante todo su ciclo vegetativo (Tuz, 2018).

2.2.1.2 Densidad poblacional y siembra

La densidad poblacional es determinada por el sistema de plantación, y las dimensiones del cultivo a su vez están acondicionadas por las características agromorfológicas del clon a cultivarse (Salinas, 2017).

2.2.1.3 Manejo de arvenses

El manejo de arvenses garantiza, estado óptimo de la planta, causando ausencia en especies vegetativas que compitan por espacio, fertilizante, agua y oxígeno en el suelo, los cuales se almacenan en macroporos y microporos, facilitando la disponibilidad en minerales para la raíz, generando bienestar vegetativo por la reducción en pérdidas de energía producto del estrés fisiológico del cultivo (FAO, 2019).

2.2.1.4 Deshije

Esta labor busca el equilibrio nutricional de la planta, mediante la eliminación de ciertas yemas laterales, que reduzcan la producción del banano por dominancia apical y competición de nutrientes entre hijos y planta madre (Ramírez, 2020).

2.2.1.5 Deshoja

Consiste en eliminar hojas viejas o con estadios avanzados de sigatoka negra, a fin de reducir la proliferación del hongo y aparición de plagas en el cultivo (Velepucha, Guerrero, & Batista, 2019), lo que garantiza la fitosanidad en la plantación (Agrocalidad, OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DEL MERCADO INTERNACIONAL PARA EL BANANO ORGÁNICO, s.f.).

2.2.1.5.1 Cirugía

Cuando una pequeña parte de la hoja presenta daño por sigatoka, se realiza el corte de la zona afectada, a fin de reducir la proliferación de la plaga y daño en demás hojas.

2.2.1.6 Deschante

Se cortan las partes secas del pseudotallo, para evitar espacios que puedan ser ocupados por insectos plagas. La calidad de trabajo que se realice se refleja en la estética de la fruta.

2.2.1.7 Enfunde

A través del enfunde se logra crear condiciones de microclima para el desarrollo de la florescencia, además protege de insectos, hojas, y productos sintéticos, que ocasionan daño estético a la fruta, garantiza una fruta limpia y de calidad (Agrocalidad, Manual de buenas prácticas agrícolas para el banano, 2016).

2.2.1.8 Desflore

Se realiza al momento del destore y es la eliminación de las flores secas situadas al final de los dedos de banano, comenzando por la mano inferior, sin utilizar objetos, ni polietileno, únicamente con los dedos de la persona (Agrocalidad, OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DEL MERCADO INTERNACIONAL PARA EL BANANO ORGÁNICO, s.f.).

2.2.1.9 Cirugía de laterales

Se basa en eliminar los dedos de los extremos de la fila exterior desde la mano inferior, a fin de mejorar el llenado, la forma y desarrollo del fruto (Ramírez, 2020).

2.2.1.10 Deschive

Consiste en eliminar manos inferiores malformadas, las cuales no alcanzan los estándares establecidos de comercialización en banano (Tuz, 2018).

2.2.1.11 Protección de manos

Esta actividad se centra en la colocación de daipas en la parte interior de la mano a fin de evitar fricción con las puntas de los dedos de la mano inferior hacia las manos superiores, de tal manera busca mejorar la estética de la fruta (Plasticres, 2019).

2.2.1.12 Destore

Consiste en la eliminación de la yema masculina, mediante la fractura del péndulo con la ayuda de las manos del trabajador.

2.2.1.13 Pre-calibración

Se realiza mediante el uso del calibrador de banano, cuya unidad de medida es el grado, los cuales están determinados por la demanda, distancia de los mercados, volumen de frutas en las plantaciones y la estación del año, siendo el grado óptimo de cosecha entre 46 y 48 grados para mercados EE. UU., de 43 a 45 para mercados europeos y 39 para mercados de China (Céspedes, 2007).

2.2.1.14 Cosecha

Esta labor radica en cortar y transportar a la empacadora todos los racimos con grado apto para procesar, de acuerdo con la orden de corte emitida por la empresa exportadora, las cuales establece todas las especificaciones técnicas, estrictamente a cumplirse en el proceso de embarque (Céspedes, 2007).

2.2.1.15 Poscosecha

Consiste en revisar la fruta y la consistencia, se lava el racimo de impurezas como insectos muertos, polvo, etc., luego se desmanan y se colocan en la primera tina a fin de dar forma a clusters, en la tina siguiente para el desleche, luego se colocan de acuerdo a su peso en bandejas para realizar la fumigación de la corona, se etiqueta o se enfunda de acuerdo a los parámetros requeridos por la marca y finalmente el embalador coloca los clusters en su respectiva caja, la tapa para facilitar la estriba al camión o paletizada de acuerdo a las indicaciones del comprador (Agrocalidad, Manual de buenas prácticas agrícolas para el banano, 2016).

2.2.2 SIGATOKA NEGRA

Su nombre científico, *Mycosphaerella fijiensis* Morelet, originaria del sureste asiático, se identificó en Honduras en 1972 y es el principal patógeno del sistema foliar del banano comercial (Galileo y Rosales, 2003).

Cuando el área foliar tiene contacto con las esporas del hongo, este a través de sus micelios logra introducirse en las estomas, para dar inicio su germinación y multiplicación, sus esporas alcanzan superficies significativas en el follaje de la plantación con la ayuda del viento, provocando daño en el área foliar y reduciendo la actividad fotosintética, que reduce el llenado de fruto y provoca maduración prematura de la fruta (Cuéllar et al., 2011).

Como parte de las buenas prácticas culturales en el manejo de la sigatoka en campo, se emplea labores deshoja, la cual consiste en eliminar hojas bajas con estadios avanzados del hongo, cuando los daños ocupan zonas foliares pequeñas, se procede a realizar cirugía foliar para disminuir y desacelerar la germinación del hongo (Tuz, 2018).

Labores como el mantenimiento de drenajes, permiten la rápida eliminación de los excesos de agua, lo cual además de optimizar el crecimiento del cultivo, reduce la alta humedad relativa favorables para el desarrollo del patógeno (Orozco et al., 2008).

2.3 BIOCARBÓN

También conocido como biochar es la transformación carbonizada de la biomasa vegetal seca, mediante el empleo de temperaturas que van desde los 400 °C a 700 °C y bajos niveles de oxígeno, producto utilizado en diversas áreas como el sector agrícola, cosmetología, alimentación. (Escalante et al., 2016).

2.3.1 ORIGEN

Este producto tuvo su origen al ser redescubiertas las tierras negras de los indios amazónicos de Brasil, descritas como Terra Preta (tierra negra) por Smith en el año de 1879 y Hartt en 1885. Estos autores consignaron la existencia de unos suelos oscuros y fértiles, pero no pudieron precisar su origen. Nutrientes como P, Ca y K en muchos de estos suelos su cantidad eran anormalmente altos. Las teorías acerca del origen antropógeno de las tierras negras incluyen quema de los sitios, ya sea por incendios casuales o intencionales, realizados para destruir bosques a fin de usarlos como tierras de cultivo (Escalante et al., 2016).

2.3.2 OBTENCIÓN DEL BIOCARBÓN

2.3.2.1 El pirólisis y las propiedades física químicas del biocarbón

Se define como un proceso termoquímico mediante el cual la biomasa se descompone por la acción de temperaturas mayores a los 400 °C en una atmósfera deficiente de oxígeno (Escalante et al., 2016). Las propiedades físicas y químicas que adquiere el biocarbón durante el pirólisis son complejas y dependen en gran medida de la naturaleza de la biomasa inicial y de las condiciones de pirólisis (Prieto, 2016).

2.3.3 CLASIFICACIÓN

Según IBI (2021), el biocarbón como tal no posee una norma específica, sin embargo, la herramienta de clasificación de biocarbón de IBI (International Biochar Initiative) clasifica los biocarbón en función de un conjunto de propiedades fisicoquímicas. En la actualidad, se clasifican cuatro propiedades del biocarbón:

- Valor de almacenamiento de carbono
- Valor del fertilizante (solo P, K, S y Mg)
- Valor de encalado
- Distribución de tamaño de partícula.

2.3.3.1 Valor del fertilizante

Cuando específicos nutrientes se combinan en formas aprovechables para las plantas en compuestos minerales u orgánicos, se denomina valor fertilizante. Su uso va acorde a las necesidades del cultivo (IBI, 2021).

El biochar se divide en 4 clases basadas en los niveles de P, K, S y Mg de la siguiente manera:

Tabla 02: Clase de fertilizante

CLASE FERTILIZANTE	
4	Valor de fertilizante con 4 nutrientes
3	Valor de fertilizante con 3 nutrientes
2	Valor de fertilizante con 2 nutrientes
1	Valor de fertilizante con 1 nutrientes
0	Aprovechamiento de: $P_2O_5 < 1\%$ + $K_2 < 0.55\%$ + $S < 0.15\%$ + $MgO < 0.35\%$

Fuente: Información de las clases de fertilizantes de biocarbón, producida por IBI (2021).

Elaborado por: Autor

2.3.4 ESTRUCTURA QUÍMICA

Está compuesto en gran parte por la relación entre oxígeno y carbono debido a la transformación de las altas temperaturas sobre la biomasa (Prieto, 2016).

2.3.5 BIOCARBÓN COMO ENMIENDA DE SUELOS

Las propiedades del Biocarbón ofrecen beneficios directos e indirectos cuando se aplica al suelo (IBI, 2021). Como enmienda de suelos aumenta la porosidad del suelo mejorando su capacidad de infiltración y su permeabilidad, contribuyendo positivamente al desarrollo de la raíz y a la respiración microbiana, favoreciendo el intercambio gaseoso y las condiciones de oxigenación radicular (Prieto, 2016).

El empleo del biocarbón en el suelo mejora las propiedades físicas como la estructura, textura, distribución del tamaño de poros, densidad aparente, aireación, capacidad de retención de humedad, crecimiento de raíces y facilidad de laboreo. Además, mediante su uso se puede disminuir el CO_2 en la atmósfera, ya que la incorporación del biochar al suelo, lo convierte en un sumidero de vida microbiana y su composición química se conserva, por lo que es estable, aunque es posible que una parte tienda a oxidarse (Escaleante et al., 2016).

2.3.6 CAPACIDADES HÍDRICAS

El biocarbón mejora las funciones del suelo relacionadas con la retención de agua, aireación y agua disponible de la planta, así como un mejor drenaje (Yela, 2019).

Los suelos erosionados en su mayoría son por poca capacidad de retener agua y nutrientes, el biocarbón en esta situación es servir de reservorio para que la planta sea capaz de utilizarlos, en caso de que el suelo los pierda por factores de erosión como lluvias o fuertes vientos (Kan et al., 2016).

2.3.7 BIOCARBÓN DE BANANO

La aplicación de biocarbón obtenido a base de restos de cosecha (raquis, frutos descartados, pseudotallo, hojas, inflorescencia), permiten recuperar la salud de los suelos bananeros, ayuda a la corrección de parámetros químicos esenciales para la productividad como: pH, CE, M.O; niveles de amonio por sus propiedades alcalinas regulan el pH, la materia orgánica se eleva y la relación Carbono/Nitrógeno se vuelve muy eficiente (Zhiminaicela Cabrera, Quevedo Guerrero, & García Batista, 2020).

2.3.7.1 pH

El biochar de banano provoca el aumento del pH en el suelo, sin embargo, después de los 30 días de incubación el pH disminuye al igual que la conductividad eléctrica (García et al., 2020).

3 DISEÑO METODOLÓGICO PRELIMINAR

3.1 LOCALIZACIÓN DE ÁREA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se desarrolló en predio de la Granja Experimental “Santa Inés” de la Universidad Técnica de Machala, situada en la jurisdicción de El Oro, cantón Machala, parroquia El Cambio, perteneciente la Región siete, situada en el km 5,5 de la vía Machala-Pasaje.

3.1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El predio se encuentra ubicado geográficamente entre las siguientes coordenadas.

Coordenadas: UTM

Zona: 17 S

Datum: WGS 84 Sur

Longitud: 79° 54' 05" W

Coordenadas, Norte: 9636128

Latitud: 03° 17' 16" S

Coordenadas, Sur: 620701

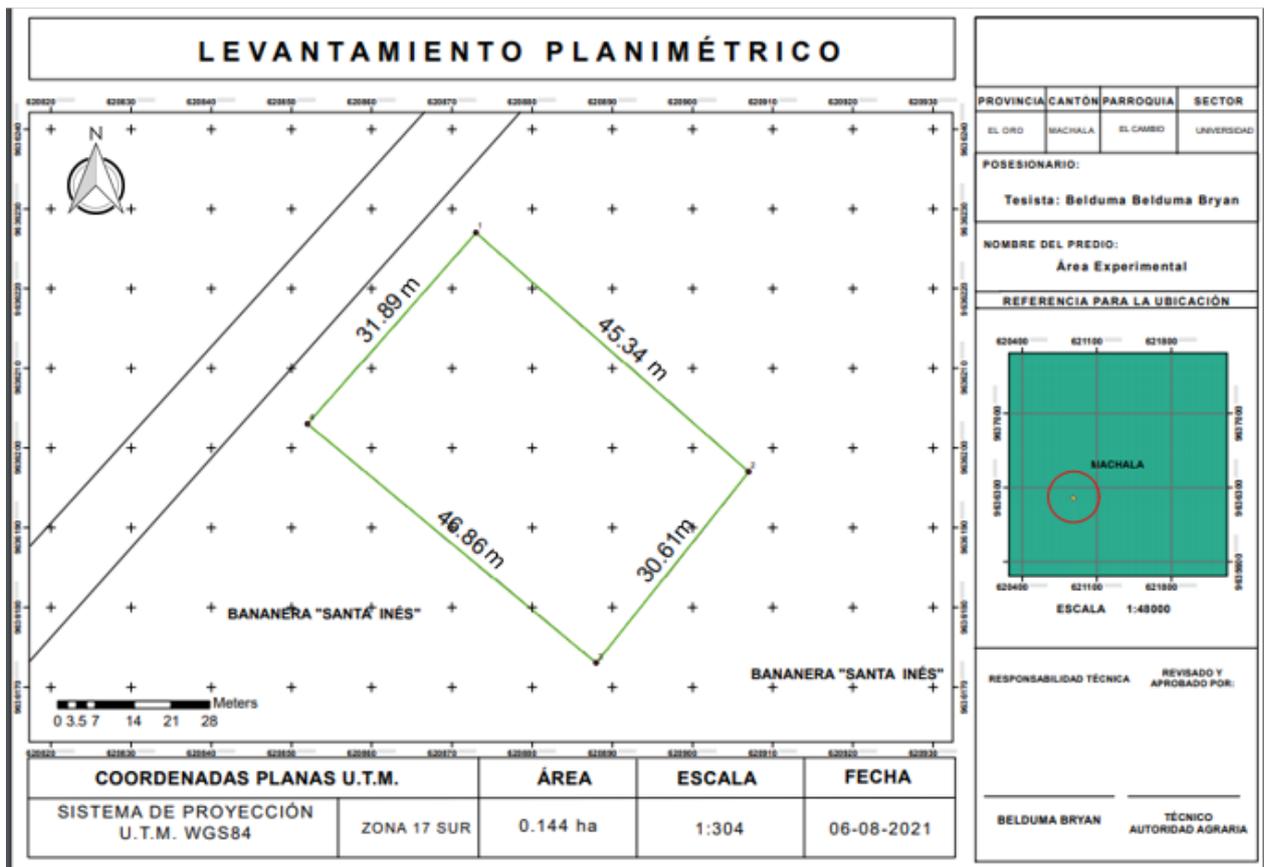


Figura 01: Levantamiento planímetro del predio

Elaborado por: Autor



Figura 02. Vista satelital del predio.

Fuente: Google Earth

Elaborado por: Autor

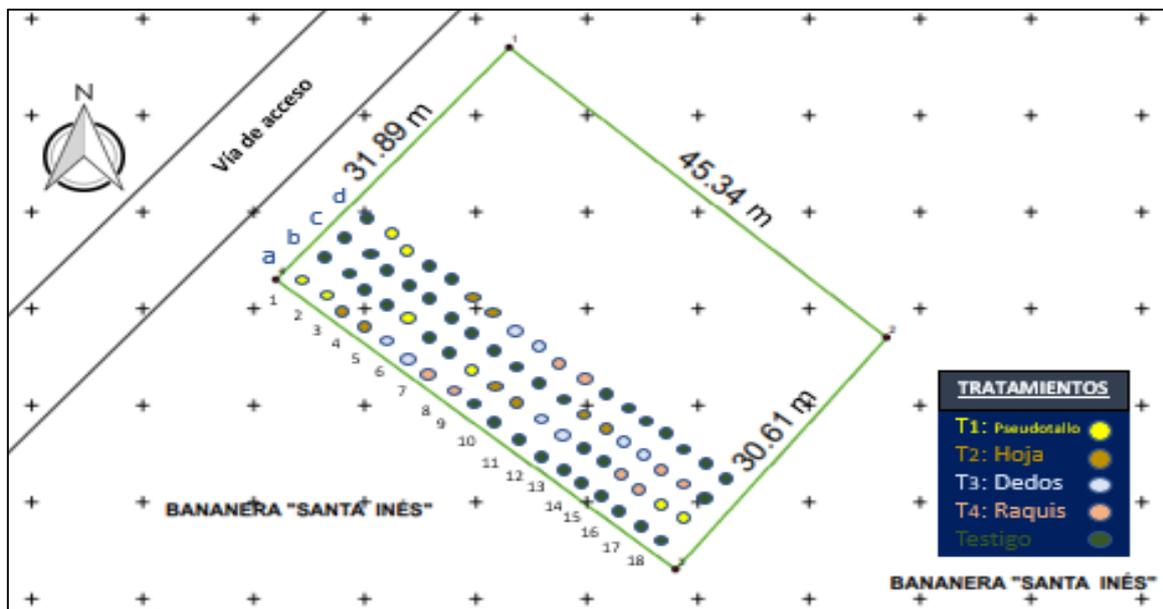


Figura 03. Distribución espacial de los tratamientos de biochar en el predio (DCA).

Elaborado por: Autor

3.1.2 CLIMA DE LA ZONA

Según el mapa de taxonomía de suelos del Atlas en la provincia de El Oro, los suelos son de orden Entisoles de las llanuras aluviales hasta los Inceptisoles de aquellos lugares de mayor altitud del mar con una humedad relativa de 84 % (Chabla et al., 2015).

Según Porrut, Gómez, Bermeo y Segovia (1995) la superficie posee un clima seco a semi húmedo con una pluviometría anual total entre 500 a 1000 mm durante los meses de diciembre hasta mayo. Con temperaturas medias que superan los 24 °C.

Características del suelo

Tipo de suelo inceptisol, clase textural franco arenosa y con buen drenaje pH de 7.0 a 7.9. según Villaseñor et al., (2015)

3.2 MATERIALES

3.2.1 MANTENIMIENTO DEL CULTIVO

Bomba de riego (a presión), aspersores, palas (mantenimiento de canales), machete y moto guadaña (control de arvenses), podones tipo aleta de tiburón, (deshojar y cirugía), barreta (eliminar hijos de la planta)

3.2.2 ELABORACIÓN DEL BIOCARBÓN

Residuos secos de la cosecha de banano (pseudotallo, hojas, raquis, dedos), balanza para la medición de los restos de cosecha, tanque metálico externo, tanque metálico interno con tapa y seguro, pulidora, tanque de gas glp, soplete de gas, fósforos (Rebolledo, 2016).

3.2.3 APLICACIÓN DEL BIOCARBÓN

Gramera digital, cuchara de plata, vaso plástico, lampa

3.2.4 MATERIALES PARA LA TOMA DE DATOS EN CAMPO

Plantillas de campo, marcador, lápiz, cámara fotográfica, balanza digital colgante para el pesado de racimos con capacidad de 100 kg, palas (para la toma de muestras de raíces).

3.2.5 MATERIAL GENÉTICO

El material genético utilizado, se encuentra ubicado dentro de la Granja Santa Inés, área experimental comúnmente conocida como “la plantilla” de la Universidad Técnica de Machala, se emplearon 40 unidades vegetativas de banano clon Williams, de las cuales, 32 plantas se subdividen en 8 plantas por cada tratamiento de biocarbón y 8 plantas asignadas como testigo absoluto.

3.2.5.1 Variables evaluadas

Peso total de raíz (PTR)
Peso raíz sanas (PRSanas)
Peso raíz dañadas (Prdañadas)
Peso raíz seca (PRSecas)
Peso raíz con nematodos (Prnemat)
Número de hojas al corte (NH)
Altura de la planta aparición (AF)
Retorno de hijo (Rhijo)
Área foliar (AF)
Peso total racimo (PR)
Peso de raquis desmanado (Prd)
Peso de Mano del sol (PMS)
Peso de Mano inferior (PMI)
Números de manos (NM)
Número de dedo en mano del sol (ND)
Número de dedos en mano inferior (NDm)
Calibración Mano del sol (CMS)
Longitud dedos de mano del sol (MMS)
Calibración Mano inferior (CUM)
Longitud dedos de mano inferior (MUM)

3.3 TRATAMIENTOS

Tabla 3. Detalles de los tratamientos de estudio.

Tratamiento 1 (T1)	Tratamiento 2 (T2)	Tratamiento 3 (T3)	Tratamiento 4 (T4)
			
Biocarbón a base de pseudotallo de banano	Biocarbón a base de hoja de banano	Biocarbón a base del raquis de banano	Biocarbón a base de dedos de banano
Repeticiones : 8 plantas	Repeticiones : 8 plantas	Repeticiones : 8 plantas	Repeticiones : 8 plantas
Dosis mensual: 5 g	Dosis mensual: 5 g	Dosis mensual: 5 g	Dosis mensual: 5 g

Elaborado por: Autor

En la tabla tres se describen los respectivos tratamientos de biocarbón obtenidos de acuerdo con los desechos del cultivo de banano, dosis empleada y el número de plantas evaluadas (repeticiones).

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 PREPARACIÓN DEL TERRENO

Se comenzó con la eliminación de plantas existentes en el predio, para luego reemplazarlas por banano clon William, el cual es material genético para esta investigación.

3.4.2 SISTEMA DE PLANTACIÓN

El sistema de plantación realizo en el área de es tres bolillos, el cual consiste en crear triangulaciones, cuyas distancias entre plantas son iguales en todas las direcciones, tal como se muestra en la figura 04, cuya distancia es 3 m.

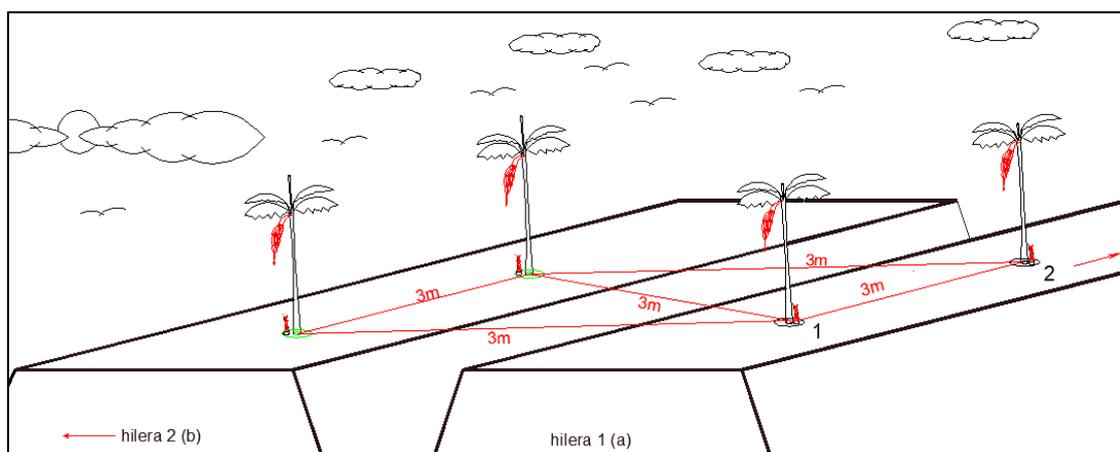


Figura 04. Dimensiones del sistema de plantación

Elaborado por: Autor

3.4.3 ACONDICIONAMIENTO DEL HORNO

En el tanque externo y una pulidora se procede a realizar un corte en el tanque metálico en caso de que éste lo requiera como en este caso, el corte (2) debe permitir crear una entrada para facilitar el ingreso del tanque pequeño. Luego se procede a llenar el tanque pequeño con la biomasa completamente seca (pseudotallo, hojas, raquis, dedos de banano; el proceso de pirolisis se repite individualmente, por cada residuo a ser transformado en biocarbón), pronto con la respectiva tapa y seguro se cierra el tanque a fin de garantizar un cerrado eficaz.



Figura 05 Resumen fotográfico del proceso para la obtención de biocarbón
Fuente: Autor

Invertimos el tanque externo sobre el tanque metálico pequeño, siguiente se procede a colocarlos sobre una estructura metálica que permita crear un espacio entre el piso y los tanques de treinta centímetros, espacio necesario para colocar el soplete de gas encendido hacia el interior del tanque para crear una atmosfera de calor con temperaturas cerca a los 1430 °C, la emanación de humo blanco desde el interior de los tanques hacia el exterior, indica el inicio del proceso de pirolisis tal como se aprecia en el círculo rojo de la figura seis. Según el residuo es el tiempo de pirolisis, en este ensayo tuvo una duración de 2 h para los residuos de raquis y dedos, mientras que pseudotallo y hojas el tiempo de pirolisis es de 1 h, para la obtención de biocarbón.

Nota: Partes vegetativas como el pseudotallo, hojas, raquis y los dedos de banano fueron recolectados en la bananera de la empresa pública Granja Santa Inés, en días con ausencia de lluvias u otros aportes de humedad. Para determinar las temperaturas alcanzadas en el horno de biochar, la temperatura que proporcionan los sopletes a gas butano alcanza los 1430 °C.

3.5 CONVERSIÓN DE BIOMASA

Tabla 04. Resultados de conversión de biomasa para obtener biocarbón, según el tipo de desecho poscosecha, porcentajes de la pérdida y conservación de peso por pirólisis.

CONVERSIÓN DE BIOMASA SECA DE BANANO A BIOCARBÓN						
Peso Inicial	Tipo de biomasa	Tiempo	Peso Adquirido	Peso Inicial (%)	Pérdida del peso inicial (%)	Peso adquirido (%)
Con 4 lb de materia seca de	Pseudotallo de banano	durante 1 hora en pirólisis	se obtiene 1 lb	100	75.000	25.000
Con 3 lb de materia seca de	Hojas de banano	durante 1 hora en pirólisis	se obtiene 1 lb	100	66.670	33.330
Con 2 lb de materia seca de	Raquís de banano	durante 2 horas en pirólisis	se obtiene 1 lb	100	50.000	50.000
Con 3 lb de materia seca de	Dedos de banano	durante 2 horas en pirólisis	se obtiene 1.5 lb	100	50.000	50.000

Elaborado por: Autor

3.5.1 APLICACIÓN DE BIOCARBÓN

En todos los tratamientos de biocarbón a base de restos de banano, se emplearon de forma edáfica 5 gramos como dosis experimental, cuya aplicación es alrededor de la planta en forma de corona, durante las fases las fenológicas del banano clon Williams vegetativa y desarrollo, con fecha de inicio, sábado 12 de septiembre de 2020 hasta el sábado 21 de agosto de 2021.



Figura 06. Aplicación de biochar
Elaborado por: Autor

3.5.2 LABORES CULTURALES

3.5.2.1 Manejo de arvenses

El manejo de arvenses consiste en el raleo, de tal manera que la altura de la vegetación sea inferior a los 5 cm aproximadamente, mediante el uso de machete y rozadora.

3.5.2.2 Deshije

El deshije se llevó a cabo mediante la selección de hijos de segunda fila o anillo y la eliminación de hijos de agua.

3.5.2.3 Deshoja

Hojas que presentaron dañadas por el hongo, se realizó con la respectiva poda fitosanitaria, así como también la eliminación de hojas espadas, hojas F10 y hojas bajas con herramientas, machete y aleta de tiburón.

3.5.2.4 Deschante

Se elimina partes muertas del pseudotallo de banano, a fin de eliminar espacios potenciales para insectos plaga, con herramienta machete (Agurto, Guerrero, & Batista, 2019).

3.5.2.5 Enfunde

Se aplica esta labor cuando la florescencia del banano con referencia al suelo forme un ángulo de 45 grados, a fin de proteger y aislar de insectos plaga, aves o agente externo dañino.

3.5.2.6 Desflore

Mediante el uso de las manos, se remueven las flores ubicadas en la parte distal de los dedos, para mejorar la estética de la fruta y erradicar la atracción de insectos plagas al racimo por las fragancias y azúcares existentes en las flores.

3.5.2.7 Deschive

Se eliminan de acuerdo el número de manos del racimo y de las condiciones climáticas de la zona, en este caso se realizó falla +3, que consiste en identificar la mano falsa ubicada en la parte inferior del racimo, para luego proceder a eliminar las dos manos siguientes, de tal manera que se eliminan 3 manos del racimo, de allí su nombre.

3.5.2.8 Destore

Consiste en la eliminación de la flor masculina conocida comúnmente como cucula o bellota, mediante la fractura del péndulo que la sostiene, con el uso de las manos, 10 días después del enfunde.

3.5.2.9 Cosecha

Considerando tiempo estimado de 10 semanas para el llenado del racimo, se procede a realizar su verificación mediante el uso del calibrador de banano para la cosecha, el cual

debe tener el dedo medio de la mano inferior un grado de 39, grado considerado para proceder con el corte del racimo.

3.5.2.10 Poscosecha

Una vez cosechada la fruta es trasladada hacia la empacadora, para revisiones estrictas de acuerdo con lo establecido por la empresa exportadora. Actividades como: Inspección de calidad de la fruta, lavado del racimo, desmanado de racimo en primera tina y para formar los clústeres, segunda tina: lavado y deslechado, clústeres colocados en la bandeja por peso, fumigación de corona, colocación de etiqueta, el embalado de clúster dentro de la caja, para luego finalizar con respectivo paletizado.

3.5.3 VARIABLES DE ESTUDIO

3.5.3.1 Porcentaje de raíces

Para establecer el porcentaje de raíces se tomaron muestras de suelo por cada tratamiento, a 30 cm distante a la planta, con dimensiones 20x20x20 cm, luego de extraer la muestra, procedemos a separar las raíces del suelo, para ser lavadas y secarlas temperatura ambiente y finalmente pesarlas con ayuda de una gramera digital (gr).



Figura 07. Dimensiones para la toma de muestra de raíz.

Fuente: Autor

3.5.3.2 Altura de la planta reproductiva y retorno.

Las mediciones de altura fueron tomadas semanalmente a fin de conocer su dinámica de crecimiento, se utilizó flexómetro como instrumento de medición.

3.5.3.3 Número total de hojas a la aparición.

Para determinar, es necesario tomar datos desde que la planta presenta hojas similares al de la madre, es decir hojas funcionales, de tal manera que a través del seguimiento se conocerá el total de hojas a la aparición.

3.5.3.4 Emisión foliar

Consiste en tomar datos semanales de la emisión foliar de la planta, mediante la observación en campo, según la metodología de Brun (1963).

3.5.3.5 Área foliar

Los datos necesarios para determinar el área foliar de una planta, se los registra al momento de la cosecha, considerando la tercera hoja como la indicada para registrar el largo y ancho de la hoja, así como también el número de hojas sanas en la planta durante el corte de racimo. Para cuantificar el área foliar de la planta se la realizo mediante la fórmula Kumar (Tuz, 2018):

$$\mathbf{TLA = L * B * 0.80 * N * 0.662}$$

Donde:

L: largo de la hoja

B: Parte más ancha de la hoja

N: Número total de hojas sanas en la planta

3.5.3.6 Peso del racimo

Se conoce el peso del racimo mediante el uso de la balanza digital, del cual ajustamos una cuerda que permita suspender al racimo, de esta forma conocer el peso obtenido por cada uno de los tratamientos, siendo 40 el número de racimos evaluados durante la investigación.

3.5.3.7 Peso del raquis

Es necesario que el raquis esta desmanado, para proceder con el respectivo pesado con el uso de la balanza digital.

3.5.3.8 Número de manos

El conteo de lo realiza en la empacadora, mmediante la observación y manipulación de cada racimo procesado.

3.5.3.9 Calibración

Se tomaron 40 lecturas de grado en la mano uno de los racimos cosechados, de los cuales 32 son de racimos pertenecientes a los 4 tratamientos y 8 racimos como testigo absoluto.

3.5.3.10 Largo de dedos de la mano inferior y de la mano de sol

Con el uso de cinta métrica se procede a realizar la medición del largo del dedo de la mano uno considerando el dedo central de la mano.

3.5.3.11 Peso de la mano de sol y mano inferior

Para tomar el peso de mano de sol, es necesario identificarla, se encuentra comúnmente en la última o antepenúltima mano, siendo la de mayor grado la indicada para el pesado.

3.5.3.12 Cantidad de dedo en mano de sol e inferior

Una vez identificada la mano de sol, mediante la observación se cuentan el número de los dedos que conforman la mano.

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Datos característicos de plantas con parición de racimo según tratamiento

Las primeras plantas con parición de florescencia por cada tratamiento presentaron las siguientes características vegetativas; para el T1 (tabla 7), se colocaron protectores en un tiempo posterior a la parición de 7 días, el tiempo desde su parición hasta la cosecha fue de 10 semanas, alcanzando una altura de 2.32 m y un número total de hojas al corte de 8. Para el T 2 (tabla 7), se colocaron protectores en un tiempo posterior a la parición de 7 días, el tiempo desde su parición hasta la cosecha fue de 11 semanas, alcanzando una altura de 2.46 m y un número total de hojas al corte de 7. Para el T 3 (tabla 7), se colocaron protectores en un tiempo posterior a la aparición de 7 días, el tiempo desde su parición hasta la cosecha fue de 10 semanas, alcanzando una altura de 2.52 m y un número total de hojas al corte de 7. Para el T 4 (tabla 8), se colocaron protectores en un tiempo posterior a la aparición de 7 días, el tiempo desde su parición hasta la cosecha fue de 10 semanas, alcanzando una altura de 2.53 m y un número total de hojas al corte de 8. Para el T 5 (tabla 9), se colocaron protectores en un tiempo posterior a la aparición de 7 días, el tiempo desde su parición hasta la cosecha fue de 10 semanas, alcanzando una altura de 2.48 m y un número total de hojas al corte de 4.

Tabla 5. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 1: Biochar pseudotallo de banano.

Planta #6 Croquis (16b)			
Tratamiento 1: Biochar de pseudotallo de banano			
Actividades	Emergencia de florescencia	Colocación de protectores	Cosecha
Fecha	13 marzo de 2021	20 de marzo de 2021	15 de mayo de 2021
Altura final	2.32 m		
Nº hojas a la cosecha	8		

Fuente: Autor

Tabla 6. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 2: Biochar hoja de banano.

Planta #15 Croquis (6d)			
Tratamiento 2: Biochar de hoja de banano			
Actividades	Emergencia de florescencia	Colocación de protectores	Cosecha
Fecha	13 marzo de 2021	20 de marzo de 2021	25 de mayo de 2021
Altura final	2.46 m		
Nº hojas a la cosecha	7		

Fuente: Autor

Tabla 7. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 3: Biochar de raquis de banano.

Planta #23 Croquis (10d)			
Tratamiento 3: Biochar de ráquis de banano			
Actividades	Emergencia de florescencia	Colocación de protectores	Cosecha
Fecha	23 enero de 2021	30 de enero de 2021	03 de abril de 2021
Altura final	2.52 m		
N° hojas a la cosecha	7		

Fuente: Autor

Tabla 8. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 4: Biochar dedos de banano.

Planta #32 Croquis (9d)			
Tratamiento 4: Biochar dedos de banano			
Actividades	Emergencia de florescencia	Colocación de protectores	Cosecha
Fecha	16 enero de 2021	23 de enero de 2021	27 de marzo de 2021
Altura final	2.53 m		
N° hojas a la cosecha	8		

Fuente: Autor

Tabla 9. Datos característicos de la primera planta parida según tratamiento 5: Testigo absoluto.

Planta #38 Croquis (12d)			
Tratamiento 5: Testigo absoluto			
Actividades	Emergencia de florescencia	Colocación de protectores	Cosecha
Fecha	10 enero de 2021	17 enero de 2021	11 de marzo de 2021
Altura final	2.48		
N° hojas a la cosecha	4		

Fuente: Autor

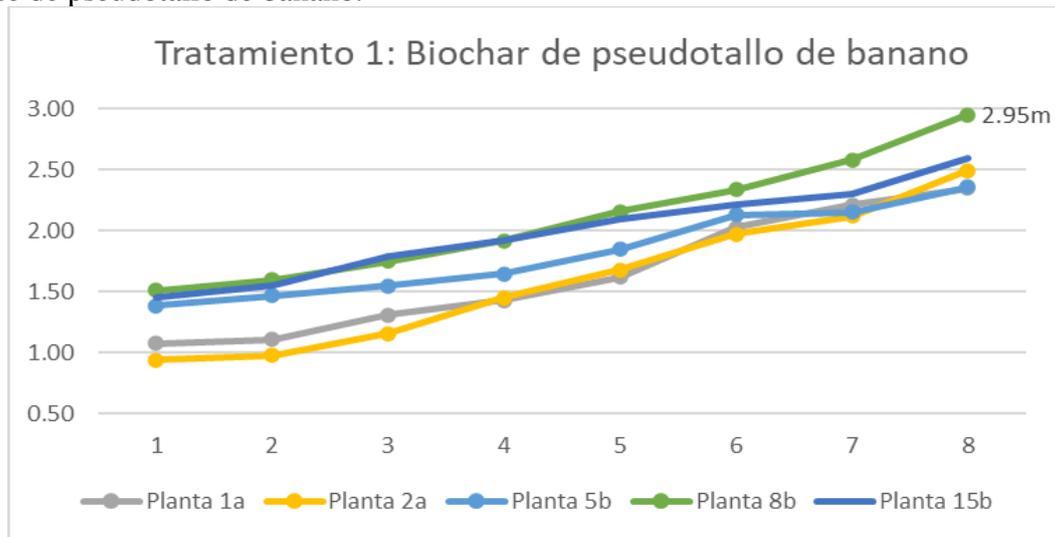
4.2 Crecimiento vegetativo durante los ocho últimos meses del cultivo de banano.

En el T 1, se obtuvo diferencias numéricas como se aprecia en la tabla 10, donde la planta (8 b) alcanza la mayor altura de 2.95 m en comparación de la planta (1 a) con la altura más baja de 2.35 m. Con una diferencia promedio del primer y octavo mes de 1.28 m por cada planta evaluada.

Tabla 10. Crecimiento mensual en metros de las plantas con tratamiento 1: Biochar pseudotallo de banano.

Tratamiento 1: Biochar de pseudotallo de banano									
Altura (m)									
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8	
Planta 1a	1.08	1.11	1.31	1.43	1.62	2.03	2.21	2.35	
Planta 2a	0.94	0.98	1.16	1.45	1.68	1.98	2.12	2.49	
Planta 5b	1.39	1.47	1.55	1.65	1.85	2.13	2.15	2.36	
Planta 8b	1.51	1.60	1.75	1.92	2.16	2.34	2.58	2.95	
Planta 15b	1.45	1.55	1.79	1.93	2.10	2.21	2.30	2.59	

Figura 8. Comportamiento vegetativo en altura de la planta en respuesta de biocarbón a base de pseudotallo de banano.



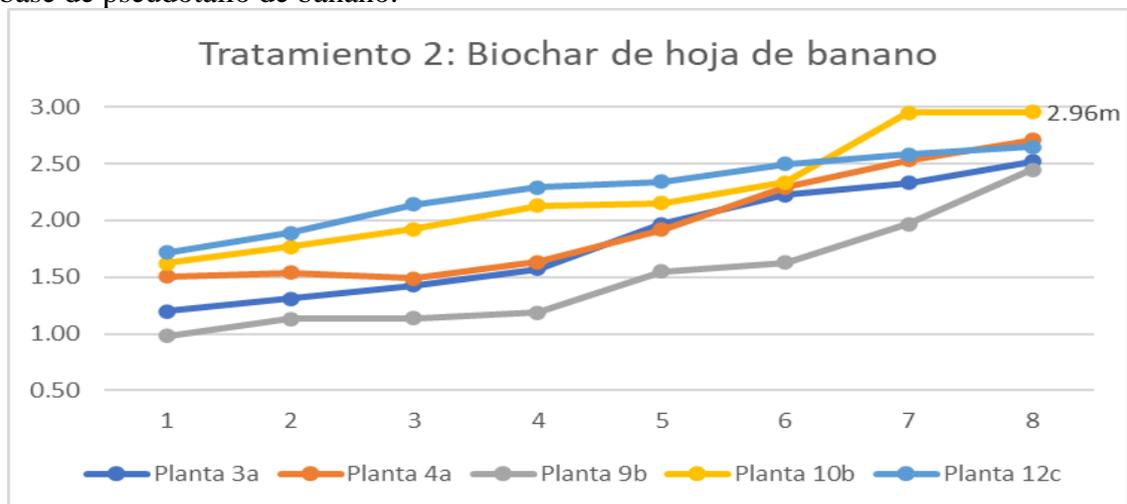
Fuente: Autor

En el T 2, se obtuvo diferencias numéricas como se aprecia en la tabla 11, donde la planta (10 b) alcanzo la mayor altura de 2.96 m en comparación de la planta (9 b) con la altura más baja de 2.45 m. Con una diferencia promedio del primer y octavo mes de 1.25 m por cada planta evaluada.

Tabla 11. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 2: biochar hoja de banano

Tratamiento 2: Biochar de hoja de banano								
Altura (m)								
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8
Planta 3a	1.20	1.31	1.43	1.57	1.97	2.22	2.33	2.52
Planta 4a	1.51	1.54	1.49	1.64	1.92	2.29	2.53	2.71
Planta 9b	0.98	1.13	1.14	1.19	1.55	1.63	1.97	2.45
Planta 10b	1.62	1.77	1.92	2.13	2.15	2.34	2.95	2.96
Planta 12c	1.72	1.89	2.14	2.29	2.34	2.50	2.58	2.65

Figura 9. Comportamiento vegetativo en altura de la planta en respuesta de biocarbón a base de pseudotallo de banano.

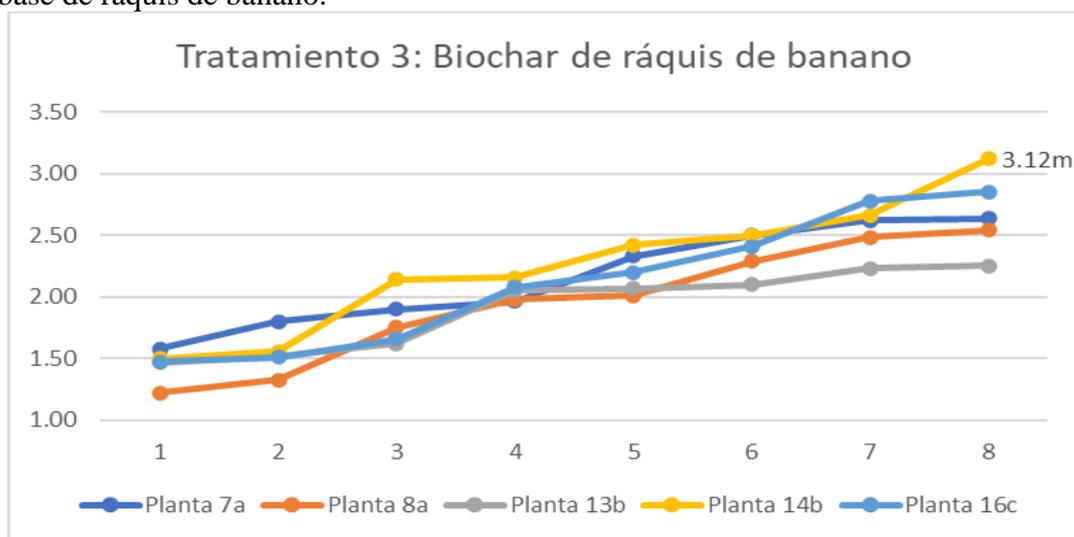


En el T 3, se obtuvo diferencias numéricas como se aprecia en la tabla 12, donde la planta (14 b) alcanzó la mayor altura de 3.12 m en comparación de la planta (13 b) con la altura más baja de 2.25 m. Con una diferencia promedio del primer y octavo mes de 1.23 m por cada planta evaluada.

Tabla 12. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 3: biochar raquis de banano

Tratamiento 3: Biochar de ráquis de banano								
Altura (m)								
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8
Planta 7a	1.58	1.80	1.90	1.96	2.33	2.50	2.62	2.64
Planta 8a	1.22	1.33	1.75	1.98	2.01	2.29	2.48	2.54
Planta 13b	1.47	1.52	1.62	2.05	2.07	2.10	2.23	2.25
Planta 14b	1.50	1.56	2.14	2.16	2.42	2.50	2.66	3.12
Planta 16c	1.48	1.51	1.66	2.08	2.20	2.41	2.78	2.85

Figura 10. Comportamiento vegetativo en altura de la planta en respuesta de biocarbón a base de raquis de banano.

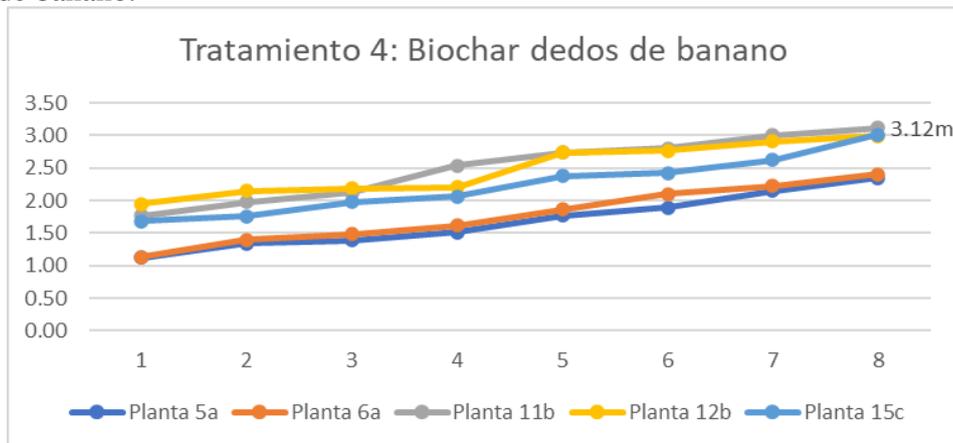


En el T 4, se obtuvo diferencias numéricas como se aprecia en la tabla 13, donde la planta (11 b) alcanzó la mayor altura de 3.12 m en comparación de la planta (5 a) con la altura más baja de 2.35 m. Con una diferencia promedio del primer y octavo mes de 1.24 m por cada planta evaluada.

Tabla 13. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 4: biochar dedos de banano

Tratamiento 4: Biochar dedos de banano								
Altura (m)								
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8
Planta 5a	1.12	1.34	1.39	1.51	1.77	1.89	2.15	2.35
Planta 6a	1.13	1.40	1.48	1.62	1.86	2.10	2.22	2.40
Planta 11b	1.77	1.98	2.12	2.54	2.74	2.80	3.00	3.12
Planta 12b	1.95	2.15	2.19	2.21	2.74	2.77	2.91	2.99
Planta 15c	1.68	1.76	1.98	2.06	2.38	2.42	2.62	3.01

Figura 11. Comportamiento vegetativo en altura de la planta en respuesta de biocarbón dedos de banano.

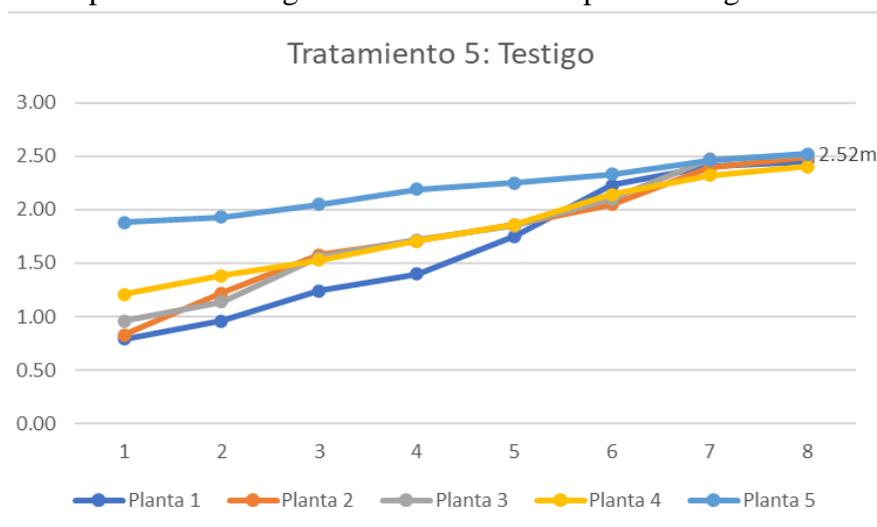


En el T 5, se obtuvo diferencias numéricas como se aprecia en la tabla 14, donde la planta (5) alcanzó la mayor altura de 2.52 m en comparación de la planta (4) con la altura más baja de 2.40 m. Con una diferencia promedio del primer y octavo mes de 1.34 m por cada planta evaluada.

Tabla 14. Crecimiento mensual (m) de las plantas con tratamiento 5: testigo absoluto.

Tratamiento 5: Testigo absoluto								
Altura (m)								
Mes	1	2	3	4	5	6	7	8
Planta 1	0.79	0.96	1.24	1.40	1.75	2.23	2.40	2.45
Planta 2	0.83	1.22	1.58	1.71	1.86	2.05	2.39	2.49
Planta 3	0.96	1.14	1.56	1.72	1.85	2.10	2.47	2.51
Planta 4	1.21	1.38	1.53	1.71	1.86	2.14	2.32	2.40
Planta 5	1.88	1.93	2.05	2.19	2.25	2.33	2.46	2.52

Figura 12. Comportamiento vegetativo en altura de la planta testigo absoluto.



Para conocer la incidencia de los diferentes tipos de biochar en el cultivo de banano clon Williams, se tomaron datos en campo de acuerdo a las variables de estudio, las cuales fueron evaluadas por análisis estadístico ANOVA de un factor, se presentan en la tabla 15. Las comparaciones múltiples post hoc se realizaron a través de la prueba Tukey en variables ;Peso de raíces total (PRTotal), raíces sanas (Prsanas), raíces dañadas (Prdñ), peso raices secas (Razc) y raíces con nemátodos (PRnemat), altura final a la parición (AF), altura del retorno (Rhijo), número de hojas (NH), hojas al corte (Hc), área foliar (ArF), calibración mano inferior (CUM), peso del racimo (PR), carga de raquis desmanado (Prd), número de manos por racimo (NM), calibración mano de sol (CMS), peso mano de sol (PMS), número dedos en mano de sol (ND), longitud de dedos mano sol (MMS), peso de mano inferior (PMI), número dedos en mano inferior (NDm), longitud de dedos mano inferior (MUM). Los resultados que presentan significancia son: (Prsanas), (Prdñ), (Razc), (Rhijo), (NH), (PR), (Prd), (NM), (CMS), (PMS), (ND), (MMS) y (NDm), dado que su nivel de significancia es menor a [0.05].

Tabla 15. ANOVA de un factor

		ÓGANOS VEGETATIVOS									
		Raiz					Sistema foliar				
Variable		PRTotal	Prsanas	Prdñ	Razc	PRnemat	AF	Rhijo	NH	Hc	ArF
SPSS 24 ->Sig.		0.539	0.004	0.001	0.016	0.501	0.105	0.008	0.023	0.166	0.072

		ÓGANO VEGETATIVO									
		Racimo									
Variable		PR	Prd	NM	CMS	PMS	ND	MMS	PMI	NDm	MUM
SPSS 24 ->Sig.		0.000	0.002	0.000	0.000	0.024	0.000	0.000	0.727	0.003	0.988



No existen diferencias estadísticamente significativas

Existen diferencias estadísticamente significativas

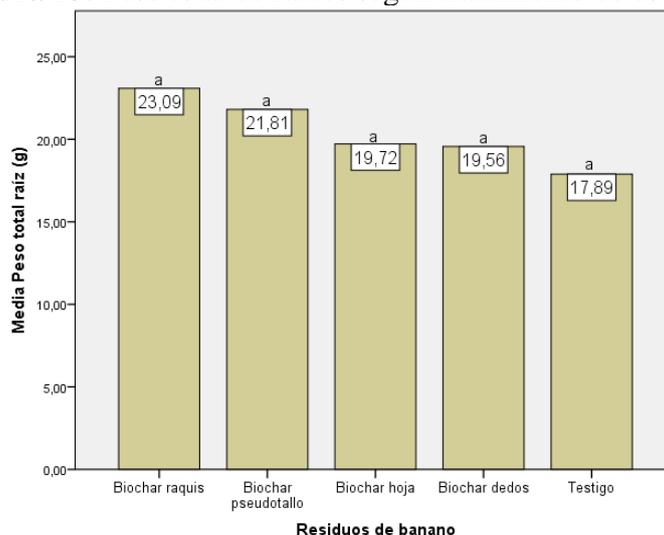
4.1 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA RADICULAR

4.1.1 PESO TOTAL DE RAÍCES (PRTotal)

Se determina que todos los tratamientos pertenecen a un mismo grupo, es decir que todos los tratamientos estadísticamente son iguales.

Como se puede apreciar en la figura 13, en cada tratamiento presenta diferentes valores en peso de raíz siendo el tratamiento testigo absoluto el más bajo con 17.89 g (gramos), mientras que el tratamiento biochar raquis de banano, es el más alto con 29.09 g.

Figura 13. Peso total de raíces según tratamiento de estudio



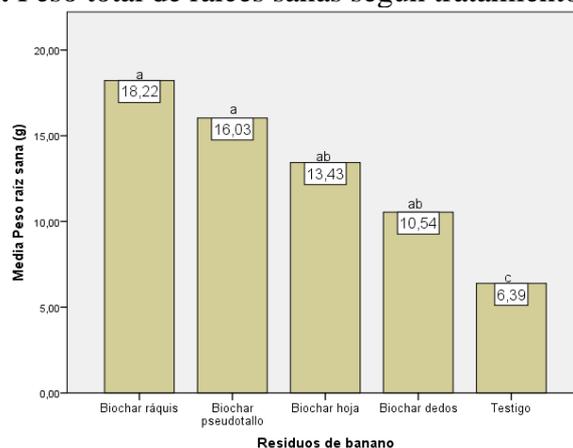
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

Según Prieto (2016), en una investigación sobre biochar, considera que ayuda al desarrollo de la raíz. Como se puede apreciar, los resultados obtenidos en el presente estudio, los valores más altos en peso de raíz pertenecen a los diferentes tipos de biochar, mas no al testigo absoluto.

4.1.2 RAÍCES SANAS (Prsanas)

En la presente variable se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. Como se puede observar en la figura 14, el tratamiento testigo absoluto posee el peso más bajo con 6.39 g a comparación del tratamiento biochar raquis, siendo este el más alto con 18.22 g.

Figura 14. Peso total de raíces sanas según tratamiento de estudio



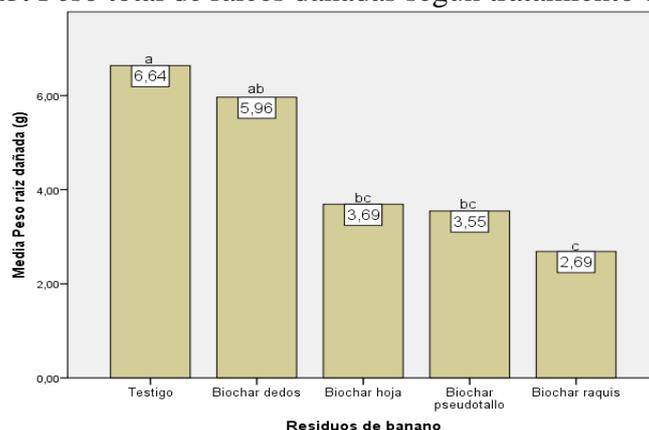
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

Tuz (2018), indica en su investigación que el biochar produce un efecto elicitor en las plantas, mejora el estado fitosanitario del sistema radicular. Como se puede observar los resultados obtenidos, los tratamientos biochar poseen los valores más altos en comparación de testigo absoluto.

4.1.3 RAÍCES DAÑADAS (Prdñ)

Se determinó que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tratamiento raquis y tratamiento testigo absoluto. Como se puede apreciar en la figura 15, el tratamiento raquis posee el peso más bajo de raíz dañada 2.69 g, en comparación del tratamiento testigo absoluto, que posee un peso superior de raíz dañada con 6.64 g lo cual se ratifica con lo mencionado anteriormente por Tuz (2018).

Figura 15. Peso total de raíces dañadas según tratamiento de estudio

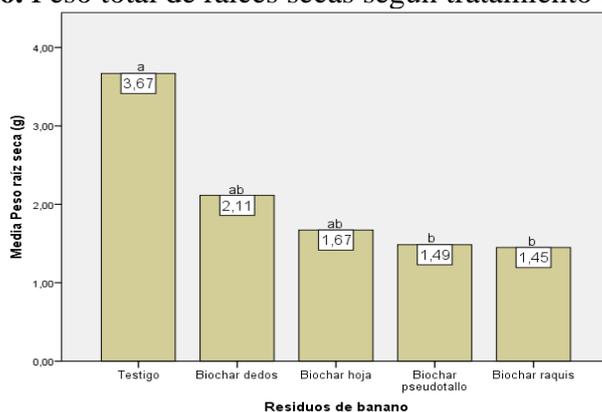


*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.1.4 RAÍCES SECAS (Razc)

Para esta variable se determinó que, entre tratamientos, existen diferencias estadísticamente significativas, como se puede apreciar en la figura 16, donde el tratamiento testigo posee el peso más alto de raíz seca de 3.67 g en comparación del tratamiento biochar raquis, que posee un peso de 1.45 g.

Figura 16. Peso total de raíces secas según tratamiento de estudio



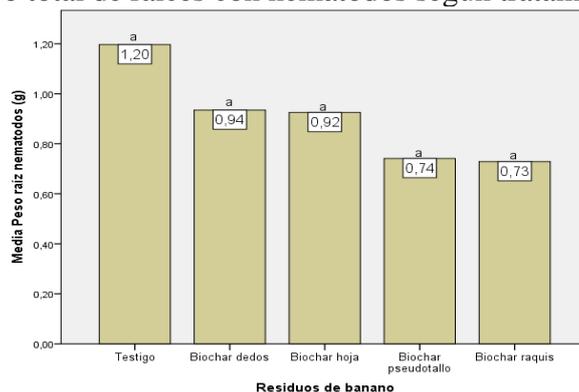
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

Es así que se corrobora que el biocarbón mejora las funciones del suelo relacionadas con la retención de agua, aireación, agua disponible para la planta, y el drenaje (Yela, 2019), así como también cumple la función de reservorio de agua para que la planta sea capaz de utilizarla Kan et al., (2016), lo que garantizó una baja cantidad de raíces secas en los tratamientos biochar en comparación del tratamiento absoluto.

4.1.5 RAÍCES CON PRESENCIA DE NEMATÓDOS (PRnemat)

Se determinó que todos los tratamientos pertenecen al grupo (a), por lo que no hay diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, pero si numéricas, se puede apreciar en la figura 17, el tratamiento testigo posee el peso más alto de 1.20 g, en comparación del tratamiento biochar raquis, que posee un peso inferior entre los tratamientos de 0.73 g, es decir, que el uso del biochar permite recuperar la salud de los suelos bananeros Zhiminaicela et al., (2020).

Figura 17. Peso total de raíces con nemátodos según tratamiento de estudio



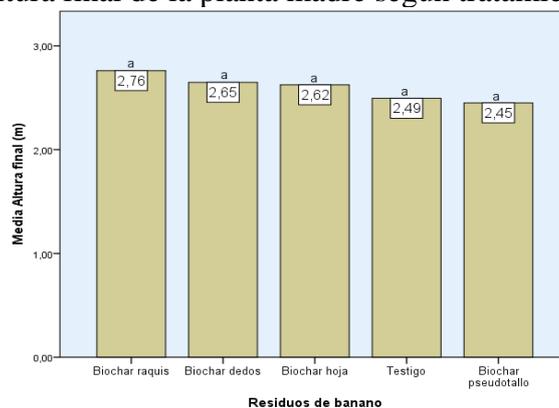
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA

4.1.1 ALTURA FINAL (AF)

En la altura final de las plantas de banano clon Williams, todos los tratamientos pertenecen al grupo (a), por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, pero sí diferencias numéricas tal como se aprecia en la figura 18, del cual el tratamiento raquis posee la altura superior entre todos los tratamientos con 2.76 m, seguido de tratamiento dedos, hojas, testigo y pseudotallo con 2.45 m.

Figura 18. Altura final de la planta madre según tratamiento de estudio.



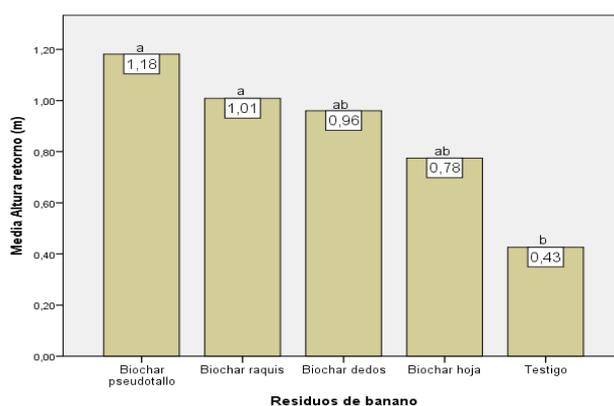
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

Los resultados obtenidos con el tratamiento raquis demuestran que, el biocarbón aumenta la biomasa, ya que las plantas incrementan su eficiencia para captar nutrientes y agua, mejorando la producción y el crecimiento de las plantas (Tuz, 2018).

4.1.2 ALTURA DEL RETORNO (Rhijo)

Se determinó que los tratamientos pertenecen a grupos distintos a, ab y b. Existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos como se puede observar en la figura 19, donde el tratamiento pseudotallo posee la altura de retorno más alta entre todos los tratamientos con 1.18 m, seguido de tratamiento raquis, dedos, hojas y testigo con 0.43 m, tal resultado reafirmar que la aplicación edáfica del biocarbón aumenta la biomasa, ya que las plantas incrementan su eficiencia para captar nutrientes y agua, mejorando la producción y el crecimiento de las plantas (Tuz, 2018).

Figura 19. Altura de retorno según tratamiento de estudio



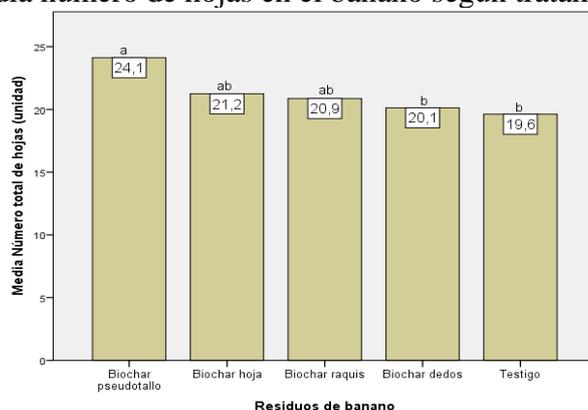
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.2 SISTEMA FOLIAR

4.2.1 NÚMERO DE HOJAS (NH)

Se determinó para esta variable que los tratamientos pertenecen a distintos grupos, existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, como se aprecia en la figura 20, donde el tratamiento pseudotallo posee un número superior de hojas a comparación de los demás tratamientos, cuya media es de 24 hojas en todo el ciclo de la planta, seguido de tratamiento hoja, raquis, dedos y testigo absoluto siendo este el menor con 20 hojas durante todo el ciclo del banano Williams.

Figura 20. Media número de hojas en el banano según tratamiento de estudio



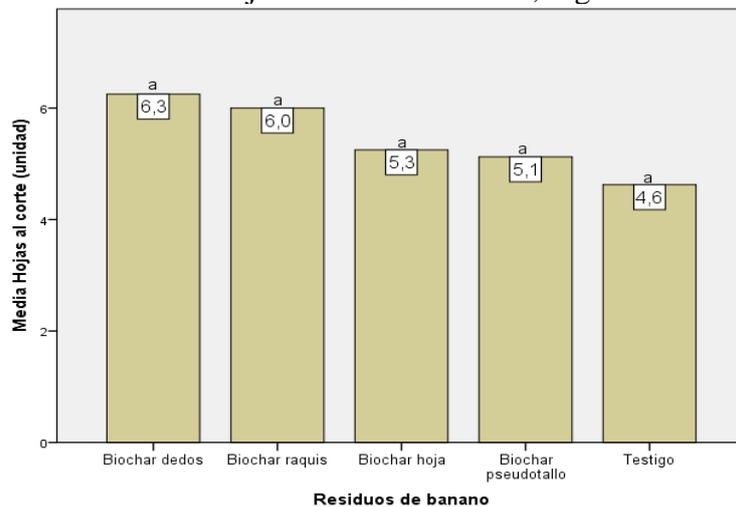
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

Según Rivera (2016), alrededor de la hoja 24, las plantas emiten su inflorescencia, lo que se considera dentro de los parámetros normales. De acuerdo a los resultados obtenidos el tratamiento pseudotallo alcanzo las 24 hojas por lo que se lo considera el más recomendado para obtener un número de hojas dentro de los parámetros normales en el cultivo de banano.

4.2.2 NÚMERO DE HOJAS AL CORTE (Hc)

Se determinó para esta variable que todos los tratamientos pertenecen al grupo (a), por lo que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. En la figura 21, se aprecia que el tratamiento biochar dedos de banano posee un número de 6 hojas al momento del corte, siendo este superior entre los tratamientos, seguido de tratamiento raquis, hoja, pseudotallo y testigo absoluto que posee 4.6 hojas al corte.

Figura 21. Media número de hojas al corte del racimo, según tratamiento de estudio



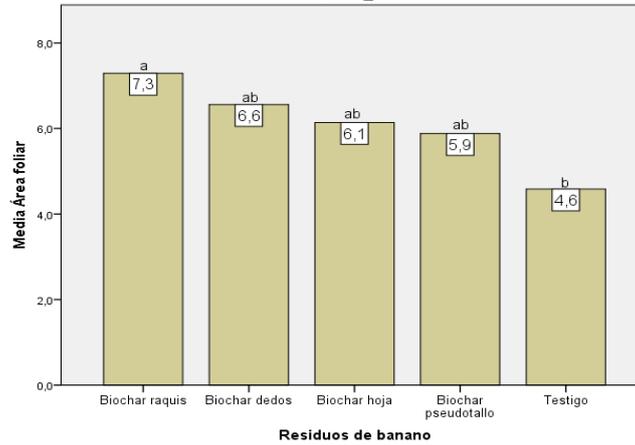
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

Resultado del tratamiento testigo absoluto coincide con lo mencionado por Barrera (2009), el cual menciona que la planta de banano con 4 hojas al corte presenta una reducción notable en la producción del racimo, tal mención se aprecia en el peso del racimo en testigo absoluto en Figura 17.

4.2.3 ÁREA FOLIAR (ArF)

Se determinó para esta variable, que todos los tratamientos pertenecen a diferentes grupos; sin embargo, no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. En la figura 22, se aprecia que el tratamiento que mayor área foliar obtuvo fue el de raquis de banano con 7.3, seguido de tratamiento dedos, hoja, pseudotallo y testigo con 4,6 de área foliar.

Figura 22. Media área foliar, según tratamiento de estudio



*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

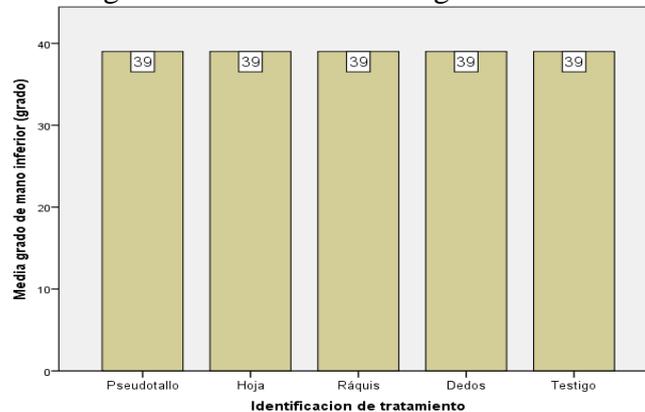
Tales resultados se atribuyen al elicitor presente en el biocarbón (Tuz, 2018), que, ante el ataque de patógenos hacia la planta, el elicitor inducen la activación de mecanismos de defensa vegetal (Intagri, 2020).

4.3 CARACTERÍSTICAS DEL RACIMO SEGÚN TRATAMIENTO

4.3.1 GRADO DE MANO INFERIOR (CUM)

Para la cosecha del racimo en el presente ensayo se consideró lo mencionado por Céspedes (2007), que el grado óptimo para la cosecha es de 39 en la mano inferior del racimo de banano, siendo este apto para los mercados internacionales, ejemplo China.

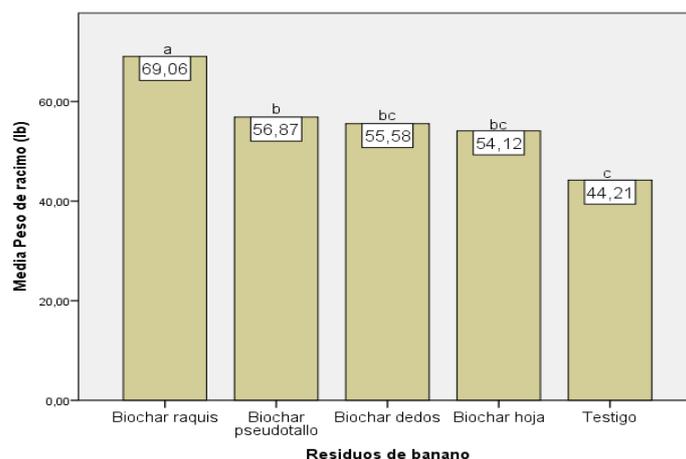
Figura 23. Media grado de mano inferior según tratamientos de estudio.



4.3.2 MEDIA DE PESO TOTAL DEL RACIMO (PR)

Se determinó que para esta variable existen diferencias estadísticamente significativas mediante el uso del biocarbón, como se aprecia en la figura 24, el tratamiento cero biocarbón posee menor incidencia en el llenado de la fruta testigo absoluto con 44.21 lb cuyo peso es inferior en comparación de 69.06 lb valor que corresponde al tratamiento biochar a base de raquis de banano.

Figura 24. Media peso de racimo según tratamientos de estudio.



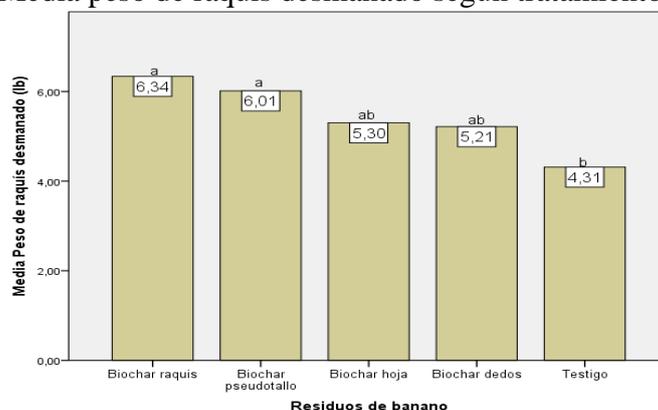
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

El notable llenado del racimo con el tratamiento biocarbón del raquis de banana, se debe a que este tratamiento en su composición está presente el potasio Sánchez et al., (2020), elemento indispensable para el llenado del fruto, así como también por el mejoramiento de las condiciones del suelo Pizarro (2016), por la reducción de la erosión edáfica y la disminución del estrés fisiológico por nutriente y agua (Kan et al., 2016).

4.3.3 PESO DEL RAQUIS (Prd)

Se determinó que los tratamientos pertenecen a grupos distintos, poseen diferencias estadísticamente significativas, entre tratamiento testigo, pseudotallo y tratamiento biochar a base de raquis de banana. En la figura 25 se aprecia que el tratamiento con mayor peso del tallo aéreo, es raquis de banana con una media de 6.34 lb por cada racimo procesado, seguido de tratamiento pseudotallo (6.01 lb), hoja (5.30 lb), dedos (5.21 lb) y tratamiento testigo absoluto con 4.31 lb por cada racimo cosechado. Se reafirma que el biocarbón aumenta la biomasa en la planta (Tuz, 2018), en este caso en el raquis. Por otra parte, Jaramillo (2020), menciona que esta variable se ve influenciada por el número de manos y peso del racimo.

Figura 25. Media peso de raquis desmanado según tratamientos de estudio.

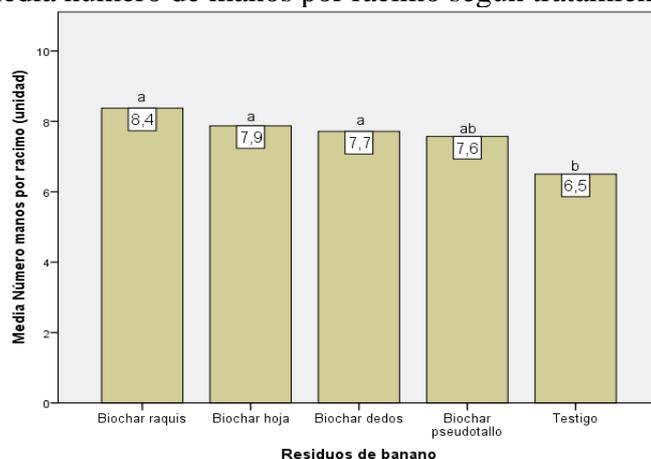


*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.3.4 NÚMERO DE MANOS POR RACIMO (NM)

Para la presente variable se determinó que los tratamientos pertenecen a grupos distintos, poseen diferencias estadísticamente significativas entre sí, como se aprecia en la figura 26, donde el tratamiento con mayor incidencia en el número de manos por racimo cosechado es biochar de raquis de banano con una media 8.4 unidades de manos por racimo, seguido del tratamiento hoja, dedos, pseudotallo y tratamiento testigo absoluto con una media inferior entre todos los tratamientos de 6.5 unidades de mano por racimo cosechado.

Figura 26. Media número de manos por racimo según tratamientos de estudio.



*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

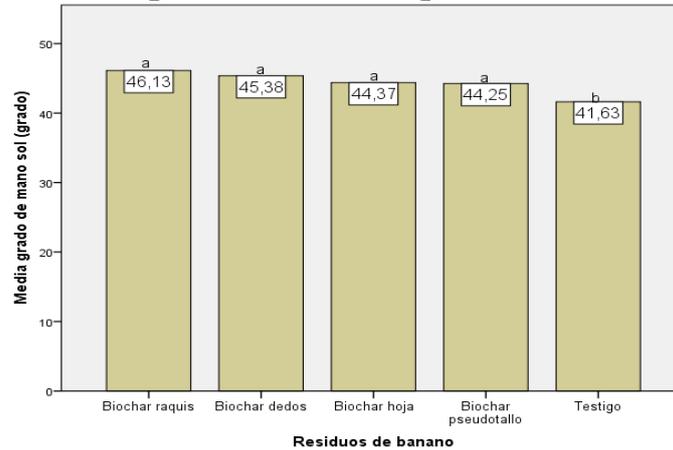
El número de manos está directamente relacionado con el peso del racimo, dado que a mayor peso de racimo de banano mayor es el número de manos, así como también el desarrollo de la florecencia, que se ve inducida por el enfunde (Agrocalidad, Manual de buenas prácticas agrícolas para el banano, 2016).

4.3.5 GRADO DE MANO SOL (CMS)

Se determinó para esta variable que los tratamientos están asociados en dos grupos (a) y (b), de los cuales; testigo absoluto es el único tratamiento perteneciente al grupo (b), de tal manera que se logra apreciar que existen diferencias estadísticamente significativas; tratamiento testigo entre los demás tratamientos.

En la figura 27, se aprecia que el tratamiento con mayor incidencia en el grado de la mano de sol por cada racimo cosechado es, biochar de raquis de banano con una media de 46.13 por racimo, seguido de tratamiento dedos (45.38), hoja (44.37), pseudotallo (44.25) y tratamiento testigo absoluto con una media inferior entre todos los tratamientos de 41.63 grado por cada racimo cosechado.

Figura 27. Media grado mano de sol según tratamientos de estudio.

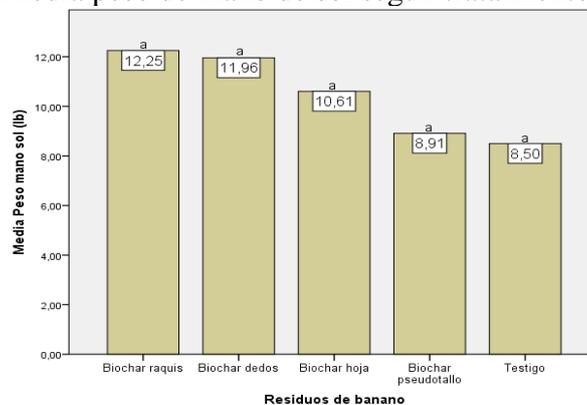


*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.3.6 PESO DE LA MANO SOL (PMS)

Se determinó para esta variable que todos los tratamientos pertenecen al grupo (a), de tal manera que no existen diferencias estadísticamente significativas, pero si diferencias numéricas entre tratamientos. En la figura 28, se aprecia que el tratamiento con mayor incidencia en el peso de la mano de sol por cada racimo cosechado, es el tratamiento de biochar a base del raquis de banano con una media del 12.25 lb, seguido de tratamientos dedos (11.96 lb), hoja (10.61 lb), pseudotallo (8.91 lb) y tratamiento testigo absoluto con una media inferior entre todos los tratamientos de 8.50 lb.

Figura 28. Media peso de mano de sol según tratamientos de estudio.



*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

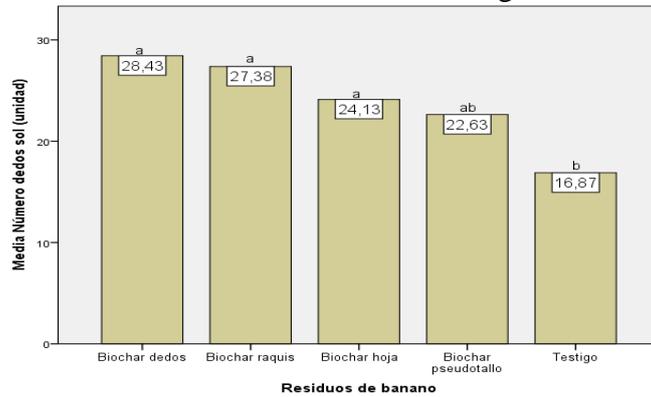
4.3.7 NÚMERO DE DEDOS DE LA MANO SOL (ND)

Se determinó para esta variable que los tratamientos pertenecen a diferentes grupos; (a), (ab) y (b), de tal manera que se logra determinar que, si existen diferencias estadísticamente significativas, de tratamiento testigo entre tratamientos biochar de hoja, raquis y dedos de banano.

En la figura 29, se aprecia que el tratamiento con mayor incidencia en el número de dedos en la mano de sol es tratamiento de biochar a base de dedos de banano, cuya media es de 28.43 dedos en la mano de sol por cada racimo cosechado, seguido de tratamiento raquis,

hojas, pseudotallo y tratamiento testigo absoluto con una media inferior entre todos los tratamientos de 16.67 dedos en la mano de sol, por cada racimo cosechado.

Figura 29. Media número de dedos en mano de sol según tratamientos de estudio.



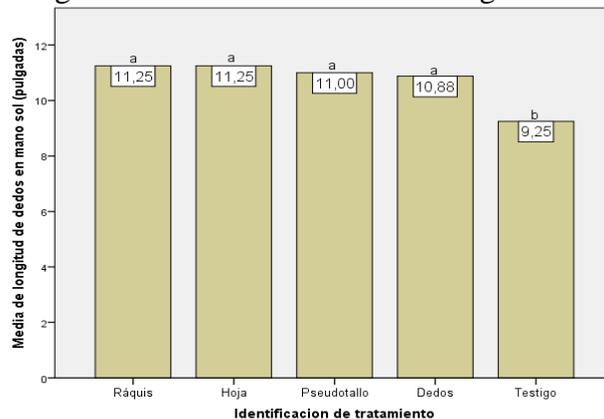
*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

Resultados similares obtuvo Ramirez, (2020) en su investigación utilizando carbon molido con 85g dosis, con 25.4 dedos por mano de sol, resultado cercano a lo obtenido en el presente trabajo, al tratamiento biochar raquis con 28.43 y hoja con 24.13 unidades dedos en mano de sol, se presume que la dosis de biocarbon empleada por Ramirez, alcalinizó el suelo (Tenesaca, 2019) a tal punto que provoco una reducción en la cantidad de dedos en la mano de sol.

4.3.8 LONGITUD DE DEDOS DE LA MANO DE SOL (MMS)

Para esta variable se determinó que solo tratamiento absoluto pertenece al grupo (b), de tal manera que si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de estudio. En la figura 30, se aprecia que el tratamiento con mayor incidencia en la longitud de dedos en la mano de sol por cada racimo cosechado es el tratamiento de biochar a base del raquis de banano, con una media de 11.25 pulgadas, seguido de tratamientos hoja, pseudotallo, dedos, y testigo absoluto con una media inferior entre todos los tratamientos de 9.25 pulgadas.

Figura 30. Media longitud de dedos en mano de sol según tratamientos de estudio.

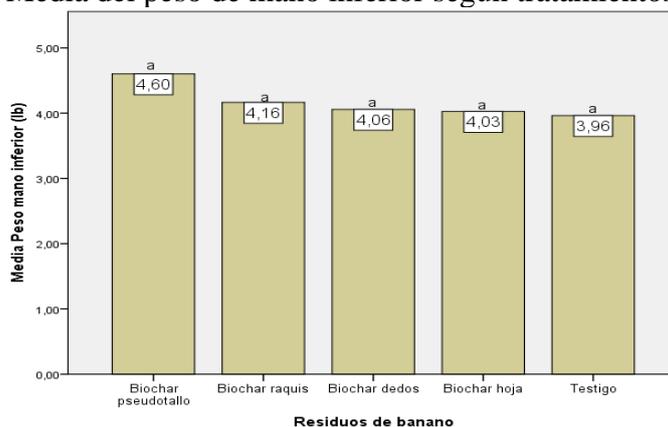


*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.3.9 MEDIA DEL PESO DE LA MANO INFERIOR (PMI)

Mediante la prueba estadística Tukey se determina que, para esta variable, todos los tratamientos pertenecen al grupo (a), de tal manera que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de estudio. En la figura 31, se aprecia que el tratamiento con mayor incidencia en el peso de mano inferior es el tratamiento de biochar de pseudotallo de banano, con una media de 4.60 lb, seguido de tratamientos raquis, dedos, hoja y testigo absoluto con una media inferior entre todos los tratamientos de 3.96 lb.

Figura 31. Media del peso de mano inferior según tratamientos de estudio.

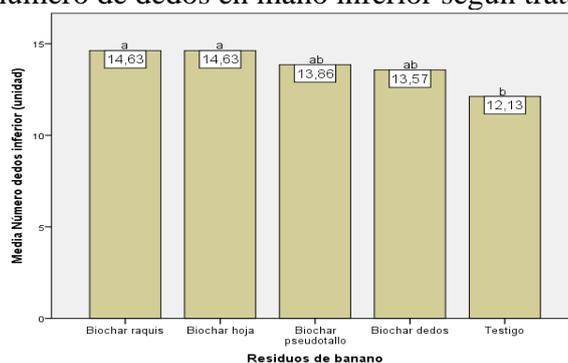


*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.3.10 NÚMERO DE DEDOS DE LA MANO INFERIOR (NDm)

Se determinó que para esta variable que los tratamientos pertenecen a diferentes grupos; (a), (ab) y (b), de tal manera que se logra determinar que si existen diferencias estadísticamente significativas en tratamientos; testigo entre tratamientos biochar de hoja y raquis de banano, como se aprecia en la figura 32, el tratamiento con mayor incidencia en el número de dedos en la mano inferior es el tratamiento raquis, cuya media es de 14.63 unidades dedos en la mano inferior por cada racimo cosechado, seguido de tratamiento hojas (14.63), pseudotallo (13.86), dedos (13.57) y testigo absoluto (12.13) con una media inferior entre todos los tratamientos de 12.13 unidades de dedos en la mano inferior.

Figura 32. Media número de dedos en mano inferior según tratamientos de estudio.

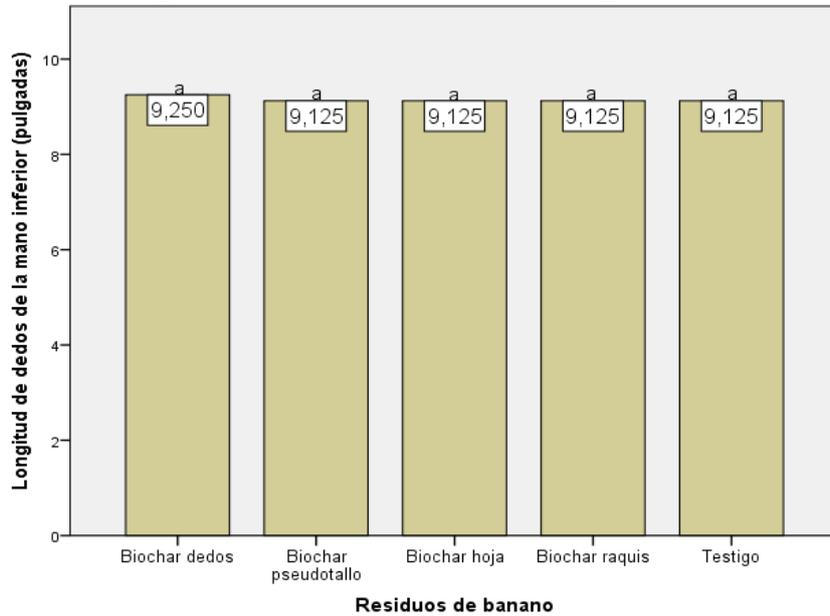


*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

4.3.11 LONGITUD DE DEDOS DE LA MANO INFERIOR (MUM)

Se determinó para esta variable que todos los tratamientos de biochar logran pertenecer al grupo (a), de tal manera que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos de estudio, pero si diferencias numéricas.

Figura 33. Media longitud de dedos en mano inferior según tratamientos de estudio.



*Letras en columnas distinguen diferencias estadísticas para un p-valor <0.05 (prueba Tukey).

En la figura 33, se aprecia que el biochar de dedos de banano posee una media de 9.25 pulgadas, seguido de tratamiento pseudotallo, hojas, raquis y testigo absoluto con una media de 9.125 pulgadas, cuyas longitudes cumplen con los requerimientos comerciales (Ramírez, 2020) .

5 CONCLUSIONES

Considerando la literatura técnica y el trabajo experimental desarrollado en la granja experimental Santa Inés de la universidad Técnica de Machala, concluyo que:

El tratamiento que obtuvo mejores resultados en raíz sana fue el T 3 biochar a base del raquis de banano, con un peso de 18.22 gramos en comparación del tratamiento testigo absoluto cuyo peso fue de 6.39 gramos.

El tratamiento que logro una mayor incidencia en la altura de planta de banano clon Williams fue el T 3 biochar a base del raquis de banano con una altura de 2.76 m.

El tratamiento que logro obtener mejores resultados en área foliar fue T 3 biochar a base del raquis de banano con un área foliar de (7.3).

De acuerdo al análisis estadístico ANOVA de un factor, el tratamiento que mejores resultados en peso de racimo fue T 3 biochar a base del raquis de banano, cuya media del peso fue de 69.06 lb por cada racimo cosechado.

El tratamiento de biochar obtenido a base de raquis de banano, logró obtener mejores resultados en variables relacionadas directamente a la productividad del cultivo como; sistema radicular sana, número de hojas al corte, área foliar, peso y cantidad de manos por racimo cosechado.

6 RECOMENDACIONES

Es necesario el surgimiento de nuevas investigaciones sobre el uso del biochar a base de restos de banano como enmienda agrícola, dado que sus aportes resultan ser una alternativa en la aceleración de la degradación de la biomasa, así como también para el desarrollo de una agricultura sostenible y amigable con el medio ambiente, de allí su importancia.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Agrocalidad. (2016). *Manual de buenas prácticas agrícolas para el banano*. Obtenido de <https://agroecuador.org/images/pdfs/buenas-practicas/agric/Manuales-de-aplicabilidad-de-BPA-para-Banano.pdf>
- Agrocalidad. (s.f.). *OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS DEL MERCADO INTERNACIONAL PARA EL BANANO ORGÁNICO*. Obtenido de <https://www.agrocalidad.gob.ec/oportunidades-y-desafios-del-mercado-internacional-para-el-banano-organico/>
- Agurto, C. D., Guerrero, J. N., & Batista, R. M. (2019). Alternativas para el control de picudo negro (*Cosmopolites Sordidus G.*) en el cultivo de banano convencional. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(2), 103-110.
- Arévalo, G. C. (2009). *Manual fertilizantes y emiendas*. Honduras.
- Barrera, J. L., Cayón, G., & Robles, J. (2009). Influencia de la exposición de las hojas y el epicarpio de frutos sobre el desarrollo y la calidad del racimo de plátano "Hartón" (*Musa AAB Simmonds*). *Agronomía Colombiana*, 27(1), 73-79. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v27n1/v27n1a10.pdf>
- Cadena, A. C. (Noviembre de 2009). Recuperado el 31 de 07 de 2021, de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1002/1/94253.pdf>
- Cedeño. (02 de Octubre de 2018). Obtenido de INIAP: <http://www.iniap.gob.ec/pruebav3/banano-platano-y-otras-musaceas/>
- Céspedes, C. (2007). *calidadbananoidiaf*. Recuperado el 05 de agosto de 2021, de <http://190.167.99.25/digital/calidadbananoidiaf.pdf>
- Chabla J, D. V. (18 de Noviembre de 2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la Provincia de El Oro. *Cumbres*, 1(2), 7. Obtenido de <https://doi.org/10.48190/cumbres.v1n2a5>
- Cigales, P. (2011). Variabilidad de suelos y requerimiento hídrico del cultivo de banano en una localidad del Pacífico de México. *AIA*, 15(3), 12. Recuperado el 05 de agosto de 2021, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83720034003>
- Cuéllar Quintero Alejandra, E. Á. (junio de 2011). Evaluación de resistencia de genotipos de plátano y banano a la sigatoka negra (*mycosphaerella fijiensis morelet.*). *SciELO*, 64(1), 13. Recuperado el 06 de agosto de 2021, de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v64n1/a11v64n01.pdf>
- Escalante Rebolledo, A. G. (2016). Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo biocarbon . *sciELO*, 382. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- FAO. (20 de Marzo de 2019). Obtenido de <http://www.fao.org/3/t1147s/t1147s05.htm>
- FAO. (2020). Recuperado el 27 de 05 de 2021, de <http://www.fao.org/3/ca9212es/ca9212es.pdf>
- Galan Victor, A. R. (05 de Junio de 2018). Propagación del banano: técnicas tradicionales, nuevas tecnologías e innovaciones. *Revista brasileira de fruticultura*, 22. Recuperado el 03 de 08 de 2021, de <https://www.scielo.br/j/rbf/a/bS5hbygvPH3BWN78ppcGmGz/?format=pdf&lang=es>
- Galileo Rivas, F. R. (2003). *Situación de la Sigatoka Negra en el Ecuador. En: Manejo convencional y alternativo de la Sigatoka negra, nematodos y otras plagas asociadas al cultivo de musáceas en los trópicos*. Guayaquí. Recuperado el 06 de Agosto de 2021, de https://books.google.com.ec/books?id=Oez07rNnVloC&printsec=frontcover&dq=sigatoka+negra&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjQ3eLt_rzcAhVGm-AKHQxRAz4Q6AEIJTAA#v=onepage&q=sigatoka%20negra&f=false

- Gaona, B. R., Guerrero, J. N., & Batista, R. M. (2020). Efecto del biocarbón y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano orgánico en la parroquia “La Victoria”. *Revista Científica Agroecosistemas*, 8(2), 110-120.
- García Batista, R. M., Quevedo Guerrero, J. N., & Socorro Castro, A. R. (2020). Prácticas para el aprovechamiento de residuos sólidos en plantaciones bananeras y resultados de su implementación. *Revista Universidad y Sociedad*, 2(1), 280-291. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v12n1/2218-3620-rus-12-01-280.pdf>
- Giraldo Natalia, M. N. (junio de 2015). Recuperado el 07 de agosto de 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/51196282.pdf>
- Gómez Calle, M. F. (20 de Marzo de 2015). *Repositorio ucsg*. Recuperado el 31 de 07 de 2021, de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/44494637/ARTICULO_BANANO_PDF_EVOLUCION_DE_PLANTAS_CULTIVADAS-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1627776432&Signature=VhhG9U5N27yB2-bG~1L1OYtxHGjL9iXT8TngdrVumUGlySHrrGrQRzGb~qxmq6c6pyD1YkSj8x4tLTW9zDujzMDXYop3ETqXSbYDtCq-
- Gonzabay, R. (2013). Cultivo del banano en el Ecuador. *Afese*. Obtenido de <http://www.revistaafese.org/ojsAfese/index.php/afese/issue/view/58/showToc>
- IBI. (01 de Abril de 2021). *Biochar Internacional*. Recuperado el 03 de 08 de 2021, de <https://biochar-international.org/biochar-classification-tool/>
- Infoagro. (31 de mayo de 2013). Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano__banano_.asp
- Intagri. (9 de Agosto de 2020). Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/frutales/elicitores-en-banano#>
- Jaramillo, P. L. (08 de octubre de 2020). Recuperado el 18 de 09 de 2021, de https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/JARAMILO%20PILLAJO%20LUIS%20JAVIER_compressed.pdf
- Kan, T. S. (2016). Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8548/1/143788.pdf>
- MAG. (Diciembre de 2017). *mag*. Recuperado el 04 de agosto de 2021, de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-Banano.pdf>
- Martínez Acosta, A. M., & Cayón Salinas, D. G. (06 de 10 de 2011). Dinámica del Crecimiento y Desarrollo del Banano (Musa AAA Simmonds cvs. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64(2), 11. Recuperado el 29 de 07 de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179922664003.pdf>
- Martínez César Cardozo, G. C.-S.-M. (24 de febrero de 2016). Composición química y distribución de materia seca del fruto en genotipos de plátano y banano. *Scielo*, 11. Recuperado el 10 de agosto de 2021, de <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v17n2/v17n2a06.pdf>
- Martínez, S. T., & Guerrero, J. N. (2019). Determinación de la dosis óptima de biocarbón como enmienda edáfica en el cultivo de banano (musa x paradisiaca l.) clon Williams. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(3), 134-141.
- Martinez, T. (19 de Septiembre de 2019). *Repositorioutmachala*. Recuperado el 03 de 08 de 2021, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15165/1/DE00021_TRABAJODETITULACION.pdf

- MCEI. (Diciembre de 2017). *Ministerio de Comercio Exterior e Inversiones de Ecuador*.
Obtenido de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-espa%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- Miró, E. F. (2016). Obtenido de
https://dspace.uib.es/xmlui/bitstream/handle/11201/4474/Farrus_Miro_Edelweiss_tes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moreira, B. R., Zambrano, V. M., Durango, W., Vivar, F. M., Zenteno, M. D., Chávez, J. C., & Mendoza, B. L. (2017). Evaluación de enmiendas orgánicas sobre la respiración microbiana del suelo y variables agronómicas en banano. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 2(8), 28-32.
- Murgueitio E, C. F. (2019). Composición química y actividad biológica del pseudotallo de Musa x paradisiaca L (BANANO). *UNEMI*, 12(31), 12-29. Recuperado el 09 de agosto de 2021, de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5826/582661248003/html/index.html>
- Orozco Gutiérrez, G., Medina Telez, L., & Elvira Espinosa, A. C. (2021). Biocarbón de bambú como mejorador de la fertilidad del suelo en caña de azúcar. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 12(65), 67-88.
- Orozco Mario, J. O. (3 de junio de 2008). Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Scielo*, 33(3), 8. Recuperado el 09 de agosto de 2021, de <https://www.scielo.br/j/tpp/a/sfk79TX5GLKJHfYH6ymrVTB/?format=pdf&lang=es>
- Pizarro, L. M. (2016). *Repository.icesi*. Recuperado el 17 de 09 de 2021, de https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/81093/1/montoya_estudio_interacciones_2016.pdf
- Plasticres. (09 de noviembre de 2019). *Plasticres*. Recuperado el 05 de agosto de 2021, de <http://plasticres.com.ec/producto/daipas/>
- Prieto, M. O. (2015). Recuperado el 04 de 06 de 2021, de <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/12795/Manuel%20Olmo%20Prieto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prieto, M. O. (11 de 01 de 2016). Obtenido de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1>
- Ramirez, B. (2020). *Repositorio utmachala*. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/16563>
- Rebolledo, A. E. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Revista terra latinoamericana*, 34(3), 367-382. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Redagroactiva. (12 de Abril de 2021). *Redagroactiva*. Recuperado el 03 de 08 de 2021, de <https://redagroactiva.com/flores-de-banano-platano/>
- Rivera, M. O. (18 de septiembre de 2016). *repositorioutmachala*. Recuperado el 09 de agosto de 2021, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/7703/1/DE00056_TRABAJODETITULACION.pdf
- Robinson Jhon, V. G. (2011). *Platanos y Bananas*. (Mundi-Prensa, Ed.) Madrid, España. Recuperado el 04 de agosto de 2021, de <https://books.google.com.ec/books?id=mAv3EQAcgZ8C&printsec=frontcover&dq=Pl%C3%A1tanos+y+Bananas.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjtz6fo7I3dAhUytlkKHRKkBXMQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Pl%C3%A1tanos%20y%20Bananas.&f=false>

- Rodríguez, C. C. (02 de julio-diciembre de 2006). Recuperado el 02 de 08 de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/1803/180316239009.pdf>
- Salinas, E. (09 de febrero de 2017). Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/10523/1/DE00004_EXAMENCOMPLEXIVO.pdf
- Sanchez Pilcorem, S. (21 de Diciembre de 2020). *Repositorio*. Recuperado el 09 de agosto de 2021, de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16148/1/TTUACA-2020-IA-DE00031.pdf>
- Sánchez Stalin, C. A. (marzo de 2020). *Metropolitana de ciencias aplicadas*, 7. Recuperado el 7 de agosto de 2021, de <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/download/267/300>
- Soto, M. (2011). Situación y avances tecnológicos en la producción bananera mundial. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33, 13-28.
- Tenesaca, M. Q. (19 de 09 de 2019). *repositorio utmachala*. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15165/1/DE00021_TRABAJODETITULACION.pdf
- Tuz, G. G. (12 de septiembre de 2018). *Repositorio utmachala*. Recuperado el 05 de agosto de 2021, de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13263/1/DE00030_TRABAJODETITULACION.pdf
- Velepucha, Y. E., Guerrero, J. N., & Batista, R. M. (2019). Determinación de la eficiencia de diferentes trampas para el control de picudo negro (*Cosmopolites sordidus* G.) en banano orgánico. *Revista Científica Agroecosistemas*, 7(1), 171-180.
- Villaseñor, D., Noblecilla-Romero, Y., Luna-Romero, E., Molero-Naveda, R., Barrezueta-Unda, S., Huarquilla-Henriquez, W., & Garzón-Montealegre, J. (2020). Respuesta óptima económica de la fertilización potásica sobre variables productivas del banano (*Musa spp.*). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 36(2), 161-170.
- Yela, C. J. (2019 de Mayo de 2019). Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8548/1/143788.pdf>
- Zhiminaicela Cabrera, J. B., Quevedo Guerrero, J. N., & García Batista, R. M. (2020). La producción de banano en la Provincial de El Oro y su impacto en la agrobiodiversidad. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 3(3), 189-195. Obtenido de <http://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/327/350>

ANEXOS



Reconocimiento y selección de hileras en el área experimental



Resumen fotográfico del proceso para la obtención de biocarbón



Pesado de biocarbón por cada tratamiento de estudio



Aplicación de biocarbón



Resumen fotográfico de actividades destinadas al mantenimiento del cultivo de banano.



Antes y después de la cosecha de la planta (1a) tratamiento biochar a base de pseudotallo de banano.

ANOVA							
#	Variable de estudio	Análisis	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Peso total raíz (PRTotal)	Entre grupos	133.263	4	33.316	0.791	0.539
		Dentro de grupos	1474.035	35	42.115		
		Total	1607.299	39			
2	Peso raíz sana (Prsanas)	Entre grupos	691.063	4	172.766	4.538	0.004
		Dentro de grupos	1332.353	35	38.067		
		Total	2023.416	39			
3	Peso raíz dañada (Prdñ)	Entre grupos	92.570	4	23.142	5.548	0.001
		Dentro de grupos	145.989	35	4.171		
		Total	238.559	39			
4	Peso raíz seca (Razc)	Entre grupos	27.546	4	6.887	3.517	0.016
		Dentro de grupos	68.538	35	1.958		
		Total	96.084	39			
5	Peso raíz nematodos (PRnemat)	Entre grupos	1.152	4	0.288	0.854	0.501
		Dentro de grupos	11.797	35	0.337		
		Total	12.949	39			
6	Altura final (AF)	Entre grupos	0.499	4	0.125	2.074	0.105
		Dentro de grupos	2.107	35	0.060		
		Total	2.606	39			
7	Altura hijo (Rhijo)	Entre grupos	2.640	4	0.660	4.055	0.008
		Dentro de grupos	5.697	35	0.163		
		Total	8.337	39			
8	Número total de hojas (NH)	Entre grupos	98.400	4	24.600	3.237	0.023
		Dentro de grupos	266.000	35	7.600		
		Total	364.400	39			
9	Hojas en la cosecha (Hc)	Entre grupos	14.150	4	3.538	1.726	0.166
		Dentro de grupos	71.750	35	2.050		
		Total	85.900	39			
10	Área foliar (ArF)	Entre grupos	31.822	4	7.956	2.366	0.072
		Dentro de grupos	117.662	35	3.362		
		Total	149.484	39			

Resultado del análisis ANOVA de un factor en variables de estudio, con su respectivo nivel de significancia.

ANOVA							
#	Variable de estudio	Análisis	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
11	Peso de racimo (PR)	Entre grupos	2512.347	4	628.087	9.091	0.000
		Dentro de grupos	2418.023	35	69.086		
		Total	4930.370	39			
12	Peso de raquís desmanado (Prd)	Entre grupos	19.816	4	4.954	5.483	0.002
		Dentro de grupos	31.625	35	0.904		
		Total	51.441	39			
13	Número manos por racimo (NM)	Entre grupos	15.198	4	3.800	6.685	0.000
		Dentro de grupos	19.893	35	0.568		
		Total	35.091	39			
14	Calibración mano sol (CMS)	Entre grupos	93.100	4	23.275	8.146	0.000
		Dentro de grupos	100.000	35	2.857		
		Total	193.100	39			
15	Peso mano sol (PMS)	Entre grupos	93.577	4	23.394	3.202	0.024
		Dentro de grupos	255.701	35	7.306		
		Total	349.278	39			
16	Número dedos sol (ND)	Entre grupos	668.870	4	167.218	8.299	0.000
		Dentro de grupos	705.214	35	20.149		
		Total	1374.085	39			
17	Longitud dedos en mano del sol (MMS)	Entre grupos	22.600	4	5.650	26.814	0.000
		Dentro de grupos	7.375	35	0.211		
		Total	29.975	39			
18	Peso mano inferior (PMI)	Entre grupos	2.104	4	0.526	0.512	0.727
		Dentro de grupos	35.957	35	1.027		
		Total	38.061	39			
19	Número dedos mano inferior (NDm)	Entre grupos	33.717	4	8.429	4.821	0.003
		Dentro de grupos	61.196	35	1.748		
		Total	94.913	39			
20	Longitud dedos en mano inferior (MUM)	Entre grupos	0.100	4	0.025	0.080	0.988
		Dentro de grupos	11.000	35	0.314		
		Total	11.100	39			
21	Calibración mano inferior (MMS)	39					

Resultado del análisis ANOVA de un factor en variables de estudio, con su respectivo nivel de significancia.