



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE BIOCHAR + ÓXIDO DE
SILICIO (SiO₂) APLICADO A UN SUELO BANANERO EN EL CANTÓN
EL GUABO

DOMINGUEZ SANCHEZ CARLOS ANDRES
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE BIOCHAR + ÓXIDO
DE SILICIO (SiO_2) APLICADO A UN SUELO BANANERO EN EL
CANTÓN EL GUABO

DOMINGUEZ SANCHEZ CARLOS ANDRES
INGENIERO AGRÓNOMO

MACHALA
2021



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE BIOCHAR + ÓXIDO DE SILICIO (SiO₂)
APLICADO A UN SUELO BANANERO EN EL CANTÓN EL GUABO

DOMINGUEZ SANCHEZ CARLOS ANDRES
INGENIERO AGRÓNOMO

BARREZUETA UNDA SALOMON ALEJANDRO

MACHALA, 27 DE ABRIL DE 2021

MACHALA
2021

COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE BIOCHAR + OXIDO DE SILICIO (SiO₂) APLICADO A MUSA SPP EN EL SITIO LA LOMA (EL GUABO- ECUADOR)

INFORME DE ORIGINALIDAD

2 % **EN**
INDICE DE SIMILITUD

%
FUENTES DE INTERNET

2 %
PUBLICACIONES

%
TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1 Alonso Aguilar Ibarra, Armando Sánchez Vargas, Benjamín Martínez López. "Economic Impacts of Climate Change on Two Mexican Coastal Fisheries: Implications for Food Security", Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal, 2013
Publicación <1 %

2 "Serie: Sistema agroalimentario y los desafíos que trae el COVID-19", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2021
Publicación <1 %

3 José Espinoza-Pérez, César Reyes, Jesús Hernández-Ruíz, Maximino Díaz-Bautista et al. "Uses, Abundance Perception and Potential Geographical Distribution of Smilax Aristolochiifolia Mill (SMILACACEAE) on the Totonacapan Region of Puebla, Mexico", Research Square, 2021
Publicación <1 %

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

El que suscribe, DOMINGUEZ SANCHEZ CARLOS ANDRES, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado COMPARACIÓN DE TRATAMIENTOS DE BIOCHAR + ÓXIDO DE SILICIO (SIO₂) APLICADO A UN SUELO BANANERO EN EL CANTÓN EL GUABO, 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.

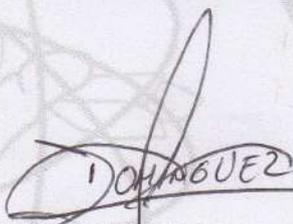
El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

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 abril de 2021



DOMINGUEZ SANCHEZ CARLOS ANDRES
0705572808

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico primeramente a Dios y a mis padres: Miguel Ángel Domínguez Loja y Nancy Azucena Sánchez Miranda, por su apoyo en cada momento ya que han sido un el pilar fundamental a lo largo de mi formación profesional, por brindarme la confianza, impartirme consejos y muchas oportunidades para que todo esto sea posible, a mi esposa y mi hijo quien ha sido mi motivación para nunca rendirme y poder llegar a ser un ejemplo para él, con dedicación y amor.

A mis hermanos: Miguel Fernando Domínguez Sánchez y Cristhian Joel Domínguez Sánchez que siempre me apoyaron incondicionalmente y poder alcanzar mis metas, y sé que ellos estarán muy orgullosos de este logro tan grande que he conseguido.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas. A la Universidad Técnica de Machala por haberme aceptado ser parte de ella, así como también a los diferentes Docentes que me brindaron su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi tutor der tesis el Dr. Salomón Barrezueta Unda PhD. Por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Mi agradecimiento también va dirigido al dueño y propietario de la Finca “LA MARIANITA” el Ing. Fausto Erick Serrano Rizzo por haber aceptado que se realice mi trabajo de investigación en su plantación de cultivo de banano.

Y para finalizar, agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase durante estos años de Universidad y a todos los que conforman la Facultad de Ciencias Agropecuarias que siempre me brindaron su apoyo durante el transcurso de mi carrera estudiantil.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en mi trabajo de investigación.

RESUMEN

Carlos Andrés Domínguez
Salomón Barrezueta Unda

Los excesivos usos de fertilizantes químicos han provocado degradaciones los suelos agrícolas como la pérdida de fertilidad natural, hecho que ocasiona que los agricultores inviertan en más fertilización química para alcanzar una productividad, en el caso particular de los bananeros urgen por un cambio en la forma de enmendar los suelos, siguiendo una tendencia hacia un modelo orgánico y sostenible. En este contexto, el biochar o biocarbón, resultado de la incineración en ausencia de oxígeno, a temperaturas entre 300 a 700 °C, procedimiento denomina pirolisis, sea una alternativa para recupera los suelos. Por tanto, la investigación tiene como objeto de estudio las enmiendas con biochar al suelo en el crecimiento vegetativo de la planta de banano madre e el hijo. Para esto se tomó en cuenta el crecimiento de las plantas y a la vez la calidad del fruto, mediante la aplicación de distintos tratamientos de biocarbón donde se usó como materia prima el raquis de banano y la cascara de cacao. Todo lo detallado originó el siguiente objetivo general: comparar los efectos de los tratamientos de biochar + oxido de silicio (SiO_2) aplicado a un suelo cultivo de banano (*Musa Sp*) como enmienda, mediante un diseño experimental en campo. El diseño de la fue de tipo experimental. Para lo cual se delimito cuatro parcelas de 50 x 50 m, cultivada con banano, luego en cada parcela fueron seleccionadas 10 plantas, para conformar los tratamientos más la parcela testigo o de control. Tratamiento (T1) 100 g (SiO_2) + 100 g (Biochar de cacao), Tratamiento (T4) 100 g (SiO_2) + 20 g (Biochar de cacao) y la parcela control o testigo (T0) donde se aplicó la fertilización convencional utilizada en la finca. Las variables medidas fueron: la medición de la altura de la planta de banano, el número de hojas del hijo y de la planta madre, el número de manos por racimo y el peso del racimo. La altura del hijo de la planta madre en la última semana de tratamiento, demostró un buen desarrollo en el tratamiento 3, esto quiere decir que este tratamiento es muy eficiente para la evolución de la planta. Las variables como el peso y el número de manos por racimos es unos de los más importantes para evaluar. La incidencia de la aplicación 100 gramos de SiO_2 más 15 gramos de biochar de cacao (T3) ha provocado que la producción sea más rentable ya que el peso del racimo (40. 85 kg) y el número de manos (8) ha incrementado a diferencia de los

demás tratamientos. En el desarrollo del pseudotallo del hijo T3 (32,40 cm) y T4 (31,40 cm) fueron los mejores. En tratamiento 3 fue de valores más altos en casi todas las variables, logrando muchos efectos positivos en la planta de banano. Se recomienda trabajar con otras fuentes de materia prima para elaborar biochar y a diferentes tiempos de pirolisis y de temperatura, así como también combinar con organismos beneficiosos como *Trichoderma spp.* Y otros abonos como estiércol de aves, humus, etc.

Palabras clave: pirolisis, abono orgánico, biocarbon, mazorca de cacao.

COMPARISON OF BIOCHAR TREATMENTS + SILICON OXIDE (SiO₂) APPLIED TO MUSA SPP AT THE LA LOMA SITE (EL GUABO- ECUADOR)

ABSTRACT

Carlos Andrés Domínguez
Salomón Barrezueta Unda

The excessive use of chemical fertilizers has led to the degradation of agricultural soils and the loss of natural fertility, which causes farmers to invest in more chemical fertilizers to achieve productivity. In the particular case of banana farmers, they urge a change in the way soils are amended, following a trend towards an organic and sustainable model. In this context, biochar or biochar, resulting from incineration in the absence of oxygen, at temperatures between 300 to 700 °C, a process called pyrolysis, is an alternative to recover soils. Therefore, the object of the research is to study the amendments with biochar to the soil in the vegetative growth of the banana plant mother and son. For this purpose, plant growth and fruit quality were taken into account through the application of different biochar treatments using banana rachis and cocoa husk as raw material. All the details originated the following general objective: to compare the effects of the treatments of biochar + silicon oxide (SiO₂) applied to a banana (*Musa Sp*) soil as an amendment, by means of an experimental design in the field. The experimental design was of the experimental type. For which four plots of 50 x 50 m were delimited, cultivated with banana, then in each plot 10 plants were selected to form the treatments plus the control plot. Treatment (T1) 100 g (SiO₂) + 100 g (cocoa biochar), Treatment (T4) 100 g (SiO₂) + 20 g (cocoa biochar) and the control plot (T0) where the conventional fertilization used on the farm was applied. The variables measured were: the height of the banana plant, the number of leaves of the son and the mother plant, the number of hands per bunch and the weight of the bunch. The height of the son of the mother plant in the last week of treatment showed a good development in treatment 3, which means that this treatment is very efficient for the evolution of the plant, and variables such as weight and number of hands per bunch are some of the most important to evaluate. The incidence of the application of 100 grams of SiO₂ plus 15 grams of cocoa biochar (T3) has made the production more profitable since the weight of the bunch (40.85 kg) and the

number of hands (8) has increased in contrast to the other treatments. In the development of the pseudostem of the son, T3 (32.40 cm) and T4 (31.40 cm) were the best. Treatment 3 was the highest in almost all variables, achieving many positive effects on the banana plant. It is recommended to work with other sources of raw material to elaborate biochar and at different pyrolysis time and temperature, as well as to combine with beneficial organisms such as *Trichoderma* spp. and other fertilizers such as poultry manure, humus, etc.

Key words: pyrolysis, organic fertilizer, biochar, cocoa pod.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	11
I. REVISIÓN LITERARIA	13
1.1. Origen geográfico de <i>Musa spp.</i>	13
1.2. Clasificación taxonómica.....	13
1.3. Fases fenológicas del cultivo	13
1.4. Morfología de la planta.....	15
1.5. Condiciones optima de ambientales y de suelos.....	17
1.6. Manejo integrado del cultivo de banano.....	17
1.7. Requerimientos nutricionales de banano	18
1.8. Elementos minerales que nutren el cultivo	18
1.9. Fertilización del cultivo de banano	19
1.10. Producción de <i>Musa spp</i> en el Ecuador y en la provincia de El Oro.....	20
1.11. Enmiendas orgánicas con Biocarbón.....	20
1.12. Biofermentos (biol).....	22
1.13. Fertilización orgánica con SiO ₂	22
II. MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.1. Zona de estudio	24
2.2. Diseño del experimento.....	24
2.2. Obtención de la materia prima.....	25
2.2.1. Biomasa de la cáscara de cacao.....	25
2.2.2. Biomasa del raquis de banano	26
2.2.3. Producción del biocarbón	27
2.3. Análisis estadístico.....	27
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28

3.1. Altura de la planta de banano.....	28
3.2. Diferencia de altura del hijo.....	28
3.3. Altura del hijo de la última semana	30
3.4. Peso de racimos.....	31
3.5. Número de manos de racimo	33
3.6. Diferencia del pseudotallo del hijo	34
CONCLUSIONES	37
RECOMENDACIONES	38
BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases Fenológicas del cultivo de banano.....	14
Figura 2. Fase reproductiva del banano.....	15
Figura 3. Hojas de la planta de banano.....	16
Figura 4. Fruto de banano ya cosechado	16
Figura 5. Biocarbón de la cascara de cacao.....	21
Figura 6. Materia prima de cascaras de cacao (A) y raquis de banano (B).....	21
Figura 7. Cascaras de cacao.....	26
Figura 8. Raquis de banano	26
Figura 9. Proceso para la producción de biochar	27
Figura 10. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para la diferencia de altura del hijo por tratamiento.....	29
Figura 11. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para altura del hijo por tratamiento en la última semana.	31
Figura 12. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para peso de racimos de banano por tratamiento.....	33
Figura 13. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para números de manos por racimos de banano por tratamientos.....	34
Figure 14. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para la diferencia de pseudotallo del hijo por tratamiento.....	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica del banano	13
Tabla 2. Elementos minerales que nutren al cultivo de banano	19
Tabla 3. Diseño de tratamientos con su respectiva dosis para la aplicación en el cultivo de banano.....	24
Tabla 4. Crecimiento (cm) de plantas de banano por tratamiento.	28
Tabla 5. Estadístico descriptivo de la diferencia de altura del hijo	29
Tabla 6. Análisis de varianza de la diferencia de altura del hijo	30
Tabla 7. Estadístico descriptivo de altura del hijo de la última semana	30
Tabla 8. Estadísticos descriptivos del peso de racimo por tratamiento	32
Tabla 9. Análisis de varianza del peso de racimo por tratamiento.	32
Tabla 10. Estadístico descriptivo del número de manos por racimo por tratamiento.....	33
Tabla 11. Análisis de variación del número de manos por tratamiento.....	34
Tabla 12. Estadístico descriptivo de la diferencia del pseudotallo del hijo.....	35
Tabla 13. Análisis de varianza de la diferencia de pseudotallo del hijo.....	35

INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa sp*) es una fruta de gran importancia para la seguridad alimentaria de la población de millones de personas en el planeta, debido a su alto nivel nutricional. El banano es el cuarto alimento en importancia en el mundo, después del arroz, trigo y maíz, teniendo en cuenta que este cultivo incrementa la economía en muchos países (Palomeque & Lalangui, 2016). La mayor parte de esta fruta va distribuida a mercados internacionales tales como: La Unión Europea, Rusia y los Estados Unidos. Este aspecto es el origen de que una significativa población rural en los países de clima tropical generan millones de ingresos económicos y sobre todo empleos (Ulloa, 2017).

En el Ecuador existen alrededor de 262.000 hectáreas de banano y plátano (Gómez M. , 2017), lo que inicia diversas etapas productivas en el sector bananero. Las principales provincias productoras de banano son: Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas y El Oro. (Suárez, 2019).

Por otra parte, los excesivos usos de fertilizantes químicos han provocado grandes daños en los suelos agrícolas como: eutrofización, toxicidad de las aguas, contaminación de las aguas subterráneas, contaminación del aire, degradación del suelo y de los ecosistemas, desequilibrios biológicos y reducción de la biodiversidad (González, 2019).

El biochar o biocarbón es el resultado de la incineración en ausencia de oxígeno, a temperaturas entre 300 a 700 °C, procedimiento denomina pirolisis del que se obtiene un abono rico en carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Olmo, 2016). Al aplicar el biochar se podría mejorar la estructura y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, para que planta tenga mayor absorción de nutrientes y su crecimiento sea idóneo para una buena producción (Escalante & Pérez, Biocarbon I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo, 2016).

La investigación tiene como objeto de estudio las enmiendas con biochar al suelo en el crecimiento vegetativo de la planta de banano madre e el hijo. Para esto se tomó en cuenta el crecimiento de las plantas y a la vez la calidad del fruto, mediante la aplicación de distintos tratamientos de biocarbón donde se usó como materia prima el raquis de banano y la cascara de cacao.

OBJETIVO GENERAL

Comparar los efectos de los tratamientos de biochar + oxido de silicio (SiO_2) aplicado a un suelo cultivo de banano (*Musa Sp*) como enmienda, mediante un diseño experimental en campo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Medir el crecimiento morfológico de las plantas banano en la madre e hijo, en suelos enmendados con biochar + oxido de silicio (SiO_2).
- Analizar los efectos de los tratamientos de biochar + oxido de silicio (SiO_2) en el fruto cosechado en la planta madre.

I. REVISIÓN LITERARIA

1.1. Origen geográfico de *Musa spp.*

El banano (*Musa spp*) es originario del Sudeste Asiático. Es un cultivo que pertenece a la familia de las musáceas; en la antigüedad esta planta era de origen salvaje y se reproducía por semillas (UNCTAD, 2016). Las dos especies salvajes que dieron lugar para la hibridación de nuevas variedades son la *Musa acuminata* y *M. Balbisaniana*, las cuales hasta el día de hoy se han logrado domesticar muy buenos resultados para la producción agrícola (Gómez M. , 2017).

Por otra parte, esta planta llega al mediterráneo luego de la gran conquista de los árabes para luego ser llevada al Nuevo Mundo, también se cree que puede haber llegado de las Islas canarias o directamente a América (Capa, Alaña, & Benítez, 2016).

1.2. Clasificación taxonómica

Las musáceas pertenecen a la clase *Liliopsida*, orden *Zingiberales* y familia *Musaceae* (Tabla 1). Estas plantas son hierbas perennes con flores de simetría bilateral, sus hojas se desarrollan formando un espiral donde se forma el falso tallo o pseudotallo con las vainas endurecidas. Por otra parte, esta planta crece en zonas con climas tropicales para tener un buen desarrollo (García, Juca, & Oswaldo, 2016).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del banano

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Liliopsida</i>
Orden	<i>Zingiberales</i>
Familia	<i>Musaceae</i>
Género	<i>Musa</i>
Nombre científico	<i>Musa sp</i>

Fuente: (Suárez, 2019)

1.3. Fases fenológicas del cultivo

El cultivo de banano tiene un ciclo fenológico que se divide en tres fases como: infantil, juvenil y reproductiva (Figura 1). Las cuales se detallan a continuación:

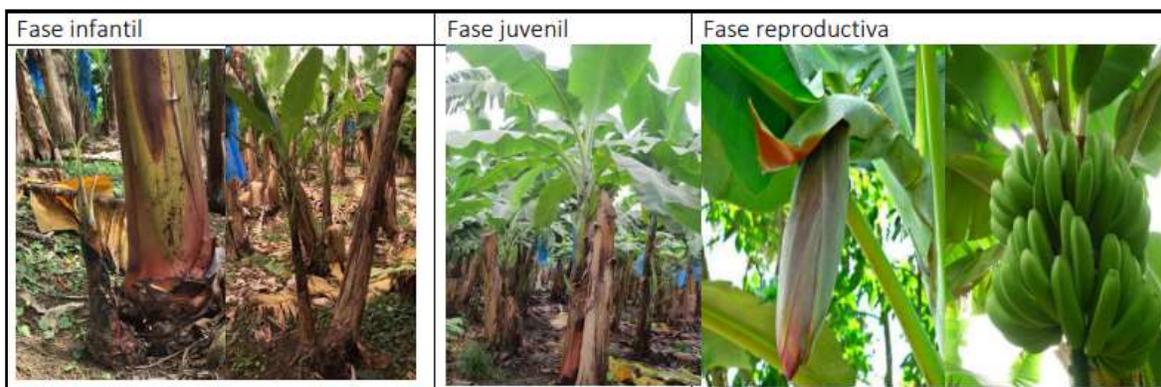


Figura 1. Fases Fenológicas del cultivo de banano.

Fuente: (Vargas, Watler, Morales, & Vignola, 2017).

Fase infantil: Esta fase inicia cuando el cormo es sembrado y empieza a germinar o por lo general cuando existe el crecimiento de nuevos hijuelos. La planta madre influye en el crecimiento de las yemas laterales, alrededor de los tres meses de edad el hijo o hijuelo debe alcanzar una altura aproximada a unos 50 cm, sus hojas son de color pardas y escuamiformes; cuando las hojas sean muy reducidas y comience aparecer la primera hoja con lamina foliar de 10 cm de ancho se puede decir que el hijuelo ya comienza a independizarse, una vez que aparece la primera hoja se termina la etapa infantil o considerada también como F10, la cual tiene una duración de 104 días (Vargas, Watler, Morales, & Vignola, 2017).

Fase juvenil: La fase juvenil empieza después de la hoja F10, la cual es un indicador de crecimiento de la planta; lo que genera la presencia de nuevas hojas hasta la aparición de la hoja Fm, es decir es el principio de la fase autónoma de la planta, lo que permite que tenga rasgos similares al clon o a la planta madre, está a su vez puede aparecer en la hoja 13 o 20 según su desarrollo lo que no dependerá del crecimiento vegetativo de la planta. La hoja Fm se presenta antes de la cosecha a la planta madre aproximadamente entre 10 a 50 días, esta segunda etapa tiene una duración de 91 días (Vargas, Watler, Morales, & Vignola, 2017).

Fase reproductiva: La fase reproductiva (Figura 2), es cuando aparece la hoja FM que va desde inicio de la floración hasta la cosecha del fruto. La planta ya ha emitido todas las hojas desde el principio de esta etapa, pero solo la mitad ha emergido; esta etapa se subdivide en dos:

1. Hoja FM a F (floración) que tiene una duración de 125 días.
2. Hoja F a C (cosecha) que tiene una duración de 84 días.

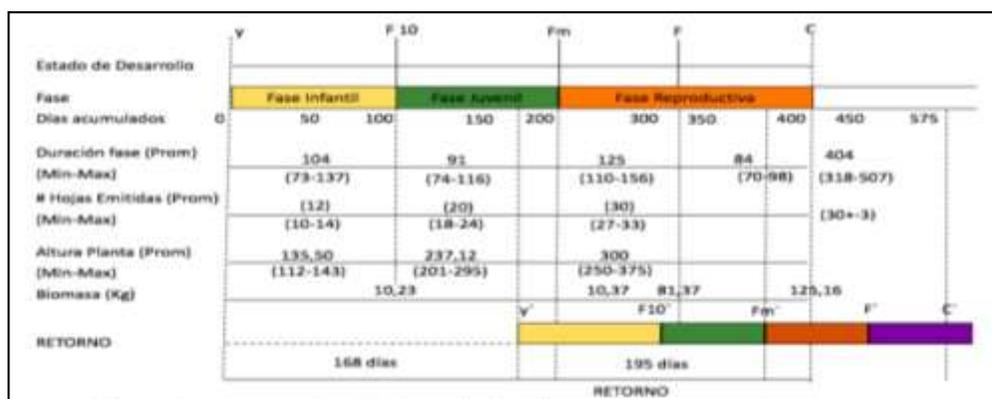


Figura 2. Fase reproductiva del banano.

Fuente: Soto, 2014

1.4. Morfología de la planta

Sistema radicular: El sistema radical está conformado por raíces adventicias, fasciculadas y fibrosas de muy rápido crecimiento (López & Espinoza, 1995), sus raíces son de color blanco cuando son jóvenes a medida que pasa el tiempo cambia a un tono amarillo y son menos frágiles, el diámetro está entre los 5 a 8 mm, su crecimiento lateral oscila entre los 2,5 a 3 metros y puede llegar a tener una profundidad de 1,5 metros (Gómez A. , 2008).

Cormo o rizoma: El rizoma o cormo es el tallo verdadero que se encuentra bajo el suelo, la cual sufre algunos procesos de transformación lo que permite que nazcan raíces fibrosas y yemas vegetativas para que salgan los nuevos hijos (Gómez A. , 2008).

Pseudotallo: El pseudotallo es un falso tallo que está formado por vainas foliares superpuestas, es muy carnoso y lleno de mucha agua; su altura va a variar de acuerdo a la variedad de banano que se vaya a sembrar, puede llegar a soportar un racimo con un peso aproximado a 50 kg (Gómez A. , 2008).

Hojas: Las hojas son el órgano fotosintético principal de la planta, esta emerge enrollada en forma de cigarro y nace desde el interior del pseudotallo (Figura 3), su coloración verde claro u oscura se torna de manera inmediata, una hoja adulta está formada por: vaina, pecíolo,

nervadura y limbo, este proceso de producción de hojas se termina cuando aparece la inflorescencia (Gómez A. , 2008).



Figura 3. Hojas de la planta de banano

Fuente: Autor

Inflorescencia: Desde el rizoma y por el centro de pseudotallo nace la inflorescencia en forma de espiga llena de flores lo que está protegida por una bráctea color púrpura que después caen al suelo, las flores femeninas son agrupadas en grupo de dos filas apretadas y sobrepuestas, existen pocas flores hermafroditas y por ultimo las flores masculinas están en el ápice (Gómez A. , 2008).

Fruto: El fruto (Figura 4) es aquel que se desarrolla en los ovarios de las flores femeninas (pistiladas), al momento de que el ovario aborta salen los tejidos del pericarpio o también llamado cascara (es de color verde) y comienzan a engrosar (Gómez A. , 2008).



Figura 4. Fruto de banano ya cosechado

Fuente: Autor

1.5. Condiciones óptima de ambientales y de suelos

Altitud: La altitud óptima para el cultivo de banano va desde los 0 a 300 msnm, es decir, que por cada 100 metros el ciclo de planta se atrasa aproximadamente 45 días (INTAGRI, 2018).

Precipitaciones y requerimientos de agua: En Ecuador existen temporadas con alta intensidad de lluvias las cuales han sido las grandes causantes de inundaciones y han provocado grandes pérdidas en la producción bananera y por otro lado existen períodos de sequía las cuales es necesario de contar con un riego para cubrir las necesidades del cultivo (Caicedo, Balmaseda, & Proaño, 2015).

Temperatura: El cultivo va a depender de este indicador para su desarrollo, las cuales necesitan de óptimas condiciones como temperaturas de 20 a 30 °C para acortar los ciclos y mejorar el rendimiento, cuando se presentan temperaturas menores a los 15 °C esta causa problemas en su crecimiento, los ciclos del cultivo son más largos y la producción comienza a descender (INTAGRI, 2018).

Humedad Relativa: La óptima es de 60 a 85 %.

Luminosidad: Las horas luz son muy importantes para la planta de banano por eso es recomendable que sean alrededor de 1200 horas al año, lo que corresponde de 3 a 5 hora de sol por día (Tuz, 2018).

Suelos: El suelo es el recurso natural más importante para la agricultura del cual están los ciclos biogeoquímicos, que son claves para la vida como el carbono, nitrógeno, fosforo, entre otros., y sobre todo la energía disponible (Burbano, 2016)

Los suelos bananeros deben de estar bien drenados que permita que el agua se filtre de forma rápida, pero sin excesos, este suelo debe de mantenerse húmedo para que la planta tenga un buen desarrollo, es decir, a capacidad de campo (CC) (Gía, 2014).

1.6. Manejo integrado del cultivo de banano

Una de las prácticas culturales importantes es el deshije, se basa en seleccionar el hijuelo para seguir con la sucesión madre, hijo y nieto, para poder continuar con una producción

estable. Cuando se deja un gran número de hijuelos estos causarían la competencia de nutrientes entre plantas, lo que permitiría que la producción baje y el fruto sea de mala calidad no apto para exportar (Vegas, 2013).

En el deshoje es la eliminación de las hojas secas y rotas las cuales no son funcionales para la planta, sino más bien es fuente de inóculo para la Sigatoka negra. Esta práctica fitosanitaria debería de realizarse de forma semanal o quincenal o dependiendo el grado de daño que tenga la hoja (Vegas, 2013).

En el manejo integrado de plagas (MIP) se considera una combinación de métodos de control como: control preventivo, control manual, control físico, control biológico, control etológico y al final el control químico. Se trata de observar el estado de desarrollo de la plaga en el cultivo, su nivel de resistencia y tolerancia, el ciclo de vida, daños que causa, hábitos y nivel de vulnerabilidad de la plaga, en otra parte se debe de tomar en cuenta cuales son los insectos benéficos y microorganismos que se pueden usar como control biológico (Tuz, 2018).

1.7. Requerimientos nutricionales de banano

Acón, Alpízar & WingChing (2013), nos indica que la planta de banano requiere de una alta demanda de nutrientes durante todo su ciclo vegetativo, sin embargo, una parte de estos nutrimentos regresa al suelo mediante los residuos de la cosecha, por otra parte, cuando el rendimiento del cultivo de banano es de 30 t/ha/año de fruta se ve obligado a compensar las extracciones de Nitrogeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), la cual debe de ser suministrada de la siguiente manera: 60 Kg de N, 12.5 kg de P_2O_5 y 100 kg de K_2O y van hacer retribuidas a través de un buen programa de fertilización.

1.8. Elementos minerales que nutren el cultivo

López & Espinoza (1995), menciona que los elementos esenciales para el cultivo de banano son el carbono (C), oxígeno (O) y el hidrógeno, los cuales se los encuentra en la atmósfera y en el agua; por otra parte, existe otro grupo llamado nutrimentos minerales (son absorbidos por la planta del suelo) se subdividen en tres grupos como: Primarios, secundarios y terciarios (Tabla 2).

Tabla 2. Elementos minerales que nutren al cultivo de banano

ELEMENTOS		
PRIMARIOS	SECUNDARIOS	TERCIARIOS
Nitrogeno (N)	Calcio (Ca)	Zinc (Zn)
Fósforo (P)	Magnesio (Mg)	Boro (B)
Potasio (K)	Azufre (S)	Cobre (Cu)
		Hierro (Fe)
		Manganeso (Mn)
		Molibdeno (Mo)
		Cloro (Cl)
		Sodio (Na)

Fuente: Autor

1.9. Fertilización del cultivo de banano

Según Vásquez (2015), en los suelos pobres se debe de usar fertilizantes orgánicos e inorgánicos para incrementar los rendimientos de producción, en el Ecuador muchos de estos suelos bananeros son bajos en nitrógeno (N) a comparación con el Potasio (K) y Fosforo (P); sin embargo, la cantidad de nutrientes que pueden estar presentes en estos suelos van a variar en cada lote.

El nitrógeno es un nutriente muy necesario para la planta de banano ya que permite la formación de proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, entre otros., teniendo un gran aporte de N la planta es más vigorosa y bien formada por otro lado su fruta va hacer más grande; la dosis recomendada oscila entre los 350 a 600 kg N/ha/año, este aporte dependerá de la textura del suelo en cuanto a los suelos arenosos van a necesitar de dosis más alta y más aplicaciones de N (Gauggel & Arevalo, 2010).

El fosforo es aplicado al suelo en cantidades muy pequeñas puesto que hay una gran transferencia de la madre al hijo, pero no por eso deja de ser importante ya que también cumple con la función de controlar la síntesis de almidones, es un conductor de energía (ATP), requerido para las síntesis de sucrosa, síntesis de fosfolípidos y formación de celulosa; la dosis que se va aplicar va a depender del tipo de suelo por ejemplo para suelos calcáreos y arcillosos va a necesitar entre 75 a 150 Kg de P/ha, en suelos ácidos (ultisoles y oxisoles)

requieren de una dosis alta; para los suelos francos, franco arenosos y con pH ligeramente ácido a neutro se va a requerir de 50 kg de P/ha (Gauggel & Arevalo, 2010).

Gauggel & Arévalo (2010) menciona que el potasio es fundamental para tener la planta hidratada y regular la apertura de estomas; en la acumulación y translocación de carbohidratos sintetizados nuevos e importantes en la síntesis de celulosa. Lo que permite que este sea un nutriente muy importante para la nutrición del cultivo ya que la planta va a requerir de altas cantidades de K, la función de este es el transporte de acumulación de azúcares dentro de la planta lo que permite el llenado de la fruta; la dosis recomendada para aplicar sería de 323 Kg K/ha/año (Troya, 2019).

1.10. Producción de *Musa spp* en el Ecuador y en la provincia de El Oro

El Ecuador es uno de los principales exportadores de banano ocupando un aproximado del 30 % en la oferta mundial, también es el segundo mayor productor de América Latina, todo esto conlleva a que nuestro país tenga un mejor desarrollo económico y laboral. Las principales provincias que más producción de banano tiene son: Esmeraldas, Manabí, Los Ríos, Guayas y El Oro. (Suárez, 2019).

De acuerdo con la Asociación de Exportadores de Banano de Ecuador (AEBE), en el año 2020 el Ecuador exportó 104.731.409 cajas de banano durante el primer trimestre del año, lo que involucra un gran incremento de 9,92 % en comparación con el período 2019 (MundoMaritimo, 2021).

1.11. Enmiendas orgánicas con Biocarbón

El biocarbón o biochar (Figura 5) es un producto obtenido a través de la descomposición térmica de biomasa y pirolisis, sometidas a temperaturas inferiores a los 700 °C; y es usado para la agricultura, permitiendo que los suelos mejoren sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Escalante, 2016). Sin embargo, también ayuda a que los suelos recuperen su fertilidad, se restauren en gran parte suelos degradados y sobre todo disminuya las emisiones de gases de efecto invernadero (Armijos, García, & Barrezueta, 2018). Al momento de aplicar este biocarbón va a permitir que los nutrientes del suelo se incrementen y los retenga

por un largo tiempo y sean aprovechables para la planta (Villamagua, Valarezo, Maza, & Valarezo, 2016).



Figura 5. Biocarbón de la cascara de cacao.

Fuente: Autor.

Materia Prima para la elaboración del biocarbón: La biomasa que se usa para realizar el proceso de pirólisis puede tener varios orígenes, como lo puede ser a través de la agricultura y la ganadería, las cuales serían los restos de podas, la biomasa procedente de cultivos y residuos de actividades ganaderas (Paco, 2012).



Figura 6. *Materia prima de cascaras de cacao (A) y raquis de banano (B).*

Fuente: Autor

La materia prima (Figura 6) que va hacer usada para la elaboración del biochar debe de cumplir con ciertas características como son los macro y micronutrientes, su estructura física, capacidad de retención de agua, entre otros., siendo lo más importante para efectos del biochar al momento de aplicar a los suelos como enmienda orgánica (Paco, 2012).

Es un proceso termoquímico (pirolisis) que se clasifica en cuatro categorías: pirolisis lenta, pirolisis rápida, pirolisis ultrarápida y gasificación; está pirolisis es en base a la ausencia de oxígeno y temperaturas superiores a los 400 °C. Para su elaboración todos los materiales orgánicos son descompuestos térmicamente, liberando una fase de vapor que generan una fase sólida residual a la que se le podría llamar biocarbón (Escalante, 2016).

1.12. Biofermentos (biol)

El Biol es un abono orgánico muy rico en microorganismos, fitohormonas y nutrientes; tiene una serie de beneficios como uno de los principales es que mejora el intercambio catiónico en el suelo lo que aumenta la disponibilidad de nutrientes aprovechables para la planta, también elimina la contaminación del suelo, restablece la flora bacteriana y puede ser usado como fertilizante foliar (Cano H & Bennet E, 2016).

Elaboración del biofermentos: La elaboración de Biol es muy importante tener en cuenta la disponibilidad de materia prima que va hacer usada durante el proceso, muchos usan el estiércol de animales, restos de alimentos, restos de cosechas, etc., para luego mezclar con algunos componentes como: agua, melaza, leche y leguminosas, en muchos casos también se añaden componentes de origen natural que puedan actuar como repelentes contra plagas (Pérez M & Peña, 2017).

1.13. Fertilización orgánica con SiO₂

En silicio en el suelo proviene de las rocas ígneas donde es proveniente la sílice (SiO₂), que es donde se forman los silicatos y minerales arcillosos; este es el segundo elemento más abundante en la tierra después del oxígeno, las plantas absorben el silicio en forma de ácido silícico, Si (OH)₄, de esta manera se transporta por la sabia y va hacia las partes verdes de la planta (Peñafiel, 2009).

PROMIX (2021), menciona que el silicio cumple algunas funciones como, por ejemplo:

- Retrasa la defoliación prematura de algunos cultivos que no se riegan.
- Tolerancia a las sequías.
- Resistencia a las toxicidades de micronutrientes y metales (Aluminio, Cobre, Hierro, Magnesio, Zinc).
- Aumenta la resistencia del tallo.
- Incremento la resistencia de hongos y enfermedades.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Zona de estudio

El trabajo investigativo fue desarrollado en una finca bananera ubicado en las coordenadas geográficas: 3° 13' 03.0792'' y 19° 49' 25.9284''. La ubicación política es: sitio La Loma del cantón el Guabo, provincia de El Oro.

2.2. Diseño del experimento

Para el trabajo de investigación tiene un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo. El tipo de diseño de investigación fue experimental. Para lo cual se delimito cuatro parcelas de 50 x 50 m, cultivada con banano, luego en cada parcela fueron seleccionadas 10 plantas, para conformar los tratamientos más la parcela testigo o control. En la Tabla 3 se describe la distribución de cada tratamiento con su respectiva dosis:

Tabla 3. *Diseño de tratamientos con su respectiva dosis para la aplicación en el cultivo de banano.*

TRATAMIENTOS	DOSIS	BIOCHAR
T1	100 g (SiO ₂) + 100 g (Biochar)	Banano
T2	100 g (SiO ₂) + 20 g (Biochar)	Banano
T3	100 g (SiO ₂) + 15 g (Biochar)	Cacao
T4	100 g (SiO ₂) + 20 gr (Biochar)	Cacao
T (testigo)	0	0

El estudio se conformó por la variable independiente biochar + SiO₂ con sus respectivos grados (dosis/tratamiento) y por las variables dependiente: la medición de la altura de la planta de banano, el número de hojas del hijo y de la planta madre, el número de manos por racimo y el peso del racimo.

A continuación, se describe las formas en que se midió las variables dependientes:

Medición de la altura de la planta: Para la toma de la altura de la planta se utilizó una cinta métrica la cual fue colocada al ras del suelo hasta la parte superior del pseudotallo, la medida que se usó fue en metros (m) por otra parte estos datos fueron tomados cada 7 días (Anexo 1).

Grosor del pseudotallo: Para la medición de esta variable se tomó la cintra métrica y se la colocó alrededor del pseudotallo, con una altura de 1,30 metros. Este dato fue tomado hasta la parición de la planta de banano.

Número de hojas del hijo: Estos datos fueron tomados desde el inicio de la investigación y cada 7 días se tomaba la lectura del número de hojas de todas las plantas hasta la aparición de la planta madre.

Número de hojas de la planta madre: Se tomaron los datos al inicio de la investigación y al final cuando se iba a realizar la cosecha, es decir, para saber cuál era el número de hojas que se perdieron durante todo ese tiempo y con cuantas hojas funcionales quedó la planta de banano para el proceso organoléptico del fruto.

Peso del racimo: Para determinar el peso del racimo se esperó la cosecha de la planta madre, donde se debía de cortar cada racimo y pesarlos en una balanza e ir anotando el peso de cada uno por cada tratamiento, el peso fue dado en libras.

Número de manos del racimo: Una vez que todos los racimos fueron cortados y pesados, se continuo con el proceso de desmane la cual se debía de contabilizar el número de manos que existen por cada racimo y por lo general por cada tratamiento.

2.2. Obtención de la materia prima

2.2.1. Biomasa de la cáscara de cacao

Las cascaras de cacao (Figura 7) fueron recolectadas en la Finca Cacaotera “La Marianita” ubicada en el Guabo, se las obtuvieron después de la cosecha, las cuales se usaron mazorcas y fueron expuestas al sol para su debido secado, lo que duro alrededor de cinco días.



Figura 7. *Cascaras de cacao*

Fuente: *Autor*

2.2.2. Biomasa del raquis de banano

El raquis de banano (Figura 8) fue recolectado después del proceso de desmane del racimo de banano, se usaron alrededor de veinte y cinco (25) raquis para el proceso de la elaboración del biochar, los cuales fueron cortados en forma de cuadrados (Anexo 2) y puesto a secar en el sol, alrededor de 15 días dura el secado.



Figura 8. *Raquis de banano*

Fuente: *Autor*

2.2.3. Producción del biocarbón

Se tomó un tanque metálico de 70 cm de largo por 40 cm de ancho, cerrado con una tapa metálica, para luego este ser introducido dentro de otro tanque que tuvo una altura de 120 cm y de ancho 50 cm.

Para iniciar el proceso de biochar se colocó leña por debajo del tanque (Figura 9) para que empiece a calcinarse la biomasa:

- Para el biochar de la cascara de cacao (Anexo 2) se usaron alrededor de 144 libras de materia prima y tuvo una duración de 20 minutos.
- Para el biochar de banano (Anexo 3) se tomó 25 raquis y se los proceso con el secado para luego colocarlos en el tanque pequeño, esto tuvo una duración de 45 minutos.



Figura 9. *Proceso para la producción de biochar*

Fuente: *Autor*

2.3. Análisis estadístico

Los resultados fueron analizados utilizando el programa Infostat ®, a través del cual se efectuaron las pruebas estadísticas de normalidad, análisis de varianza y, en caso de detectar diferencias estadísticas entre tratamientos, la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 0,05.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Altura de la planta de banano

El crecimiento de las plantas en el transcurso de las 14 semanas mostró un crecimiento homogéneo, esto se aprecia en la Tabla 4 donde los valores oscilaron entre 147 cm (T0) a 153 cm (T1 y T3) en el inicio del ensayo y entre 383 cm (T0) a 398 cm (T3), al finalizar el trabajo. Villamagua *et al.*, (2016) indica que cuando los abonos orgánicos son mezclados con fertilizantes estos ayudan a que el rendimiento de los cultivos se incremente.

Tabla 4. Crecimiento (cm) de plantas de banano por tratamiento.

Semanas	T1	T2	T3	T4	T0
S1	153	151	153	152	147
S2	171	170	171	171	166
S3	188	186	188	189	183
S4	206	203	206	206	200
S5	225	223	226	226	220
S6	246	243	245	245	238
S7	265	261	264	264	256
S8	284	281	283	284	275
S9	303	301	303	303	292
S10	324	323	323	325	312
S11	340	336	340	340	327
S12	359	356	359	362	345
S13	378	373	379	378	365
S14	396	394	398	397	383

3.2. Diferencia de altura del hijo

En el análisis descriptivo de la altura del hijo (Tabla 5), donde la media más alta fue homogénea con rangos entre 72,30 cm en T1 y T2 a 73,80 cm en T4 con 73,80 cm. Los valores máximos que variaron entre 78 cm (T1) a 82 cm (T3), mientras que las desviaciones típicas más altas fueron en T0 (6,06 cm) y T3 (5,14). Es decir, que los datos presentan uniformidad.

Tabla 5. Estadístico descriptivo de la diferencia de altura del hijo

Tratamientos	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
T1	10	72,30	4,74	65	78
T2	10	72,30	3,89	66	79
T3	10	73,20	5,14	65	82
T4	10	73,80	2,78	71	79
T0	10	72,70	6,06	61	81
Total	50	72,86	4,499	61	82

En la figura 10, se observa que los valores de la diferencia de plantas oscilaron entre 71 cm a 74 cm. Por otra parte, los tratamientos T3 y T4 tiene una alta dispersión de datos y la media general se ubica en 73 cm.

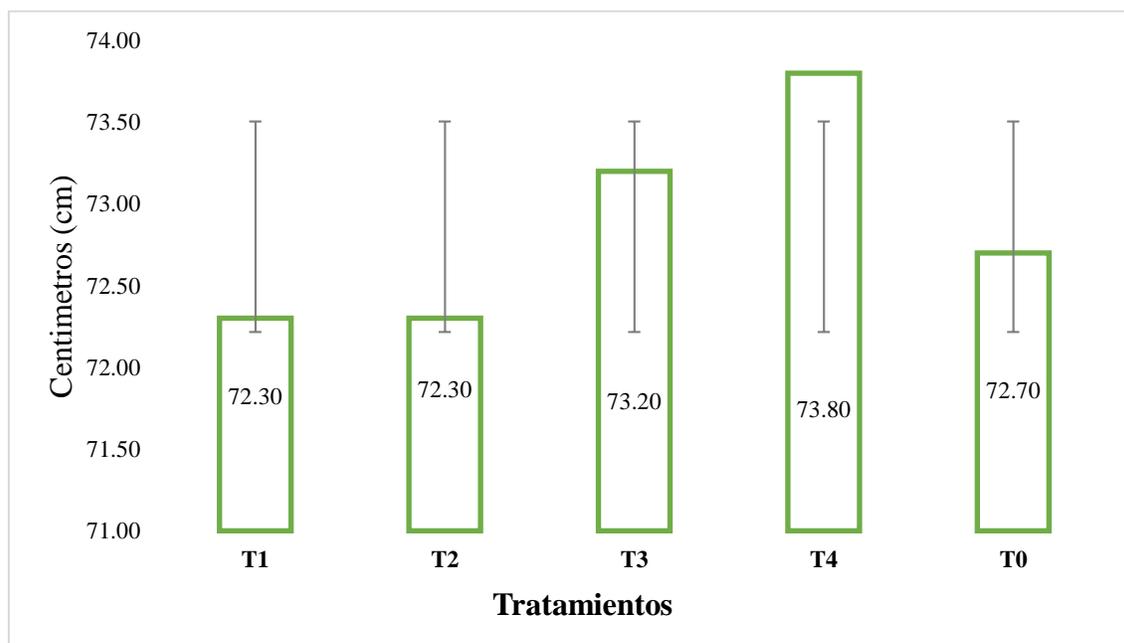


Figura 10. Diferencia de altura (cm) del hijo por tratamiento.

En el ANOVA al 5% de significancia realizado para la diferencia de la altura del hijo (Tabla 6), no mostro diferencias significativas ($p=0.942$), es decir que no tiene significancia ya que es mayor al 5 %.

Tabla 6. *Análisis de varianza de la diferencia de altura del hijo*

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	16,520	4	4,130	0,191	0,942
Intra-grupos	975,500	45	21,678		
Total	992,020	49			

3.3. Altura del hijo de la última semana

En la Tabla 7 el análisis estadístico basado en el crecimiento del hijo de la planta madre en su última semana de aplicación de tratamiento, tuvo un crecimiento homogéneo con un rango entre 382,7 cm (T0) a 397,7 cm (T3). En cuanto a los rangos mínimos y máximo la variación fue de 358 cm (T0) a 384 cm (T3) y 397 cm (T0) a 408 cm (T4), respectivamente. Concilco, Moreno & García (2018) menciona que el desarrollo del cultivo se debe a la aplicación de biocarbón ya que atrapa los nutrientes y esta lo puede asimilar.

Tabla 7. *Estadístico descriptivo de altura del hijo de la última semana*

Tratamientos	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
<i>T1</i>	10	395,90	7,42	380,00	406,00
<i>T2</i>	10	394,30	8,34	380,00	405,00
<i>T3</i>	10	397,70	8,29	384,00	407,00
<i>T4</i>	10	396,70	6,60	383,00	408,00
<i>T0</i>	10	382,70	12,36	358,00	397,00
<i>Total</i>	50	393,46	10,12	358,00	408,00

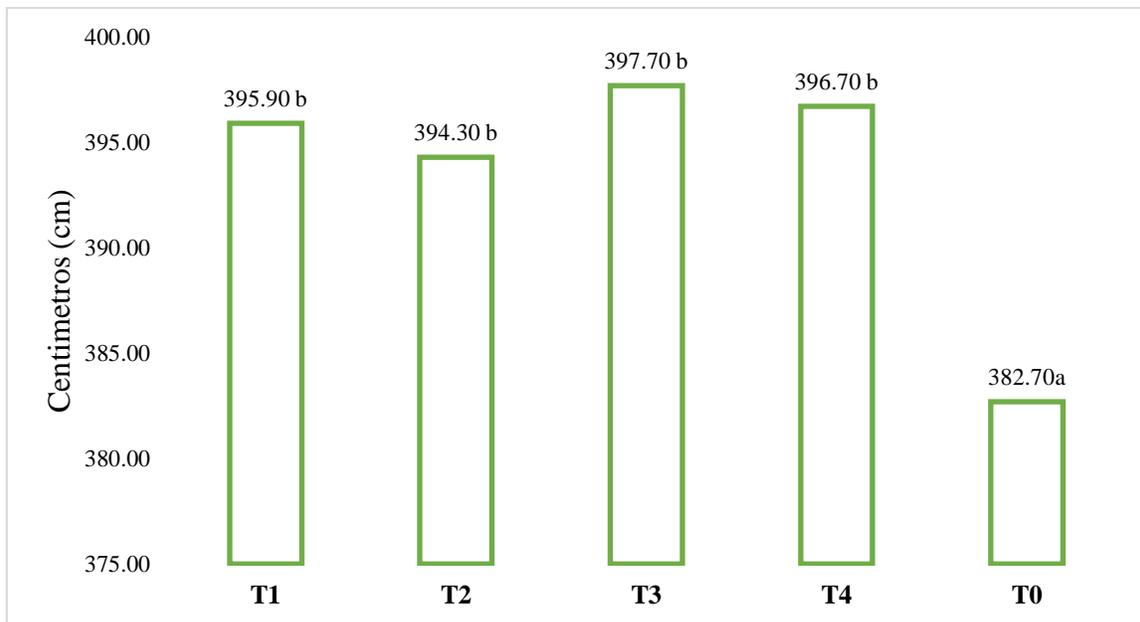


Figura 11. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para altura del hijo por tratamiento en la última semana.

3.4. Peso de racimos

En la Tabla 8, la media para T3 fue de 40.85 kg con un mínimo de 37 kg y un máximo de 44 kg, este tratamiento es el que mejor peso de racimo tuvo durante todo el proceso, la dosis que se aplicó consto de la siguiente dosis 100 gramos de SiO₂ más 15 gramos de biochar de cacao. El segundo tratamiento con mayor peso fue T1 con 36,65 kg de media y un valor máximo de 39 kg. El valor más bajo se registró en T0 con rangos entre 26,00 kg a 32.50 kg. Según estudios de Sánchez (2020) y Azuero, Quevedo & García (2020), realizados en la planta de banano aplicando biocarbón y microorganismos llegaron a tener pesos que oscilan entre los 33.60 kg y 23.70 kg, valores inferiores en comparación con los obtenidos en la investigación, pero se debe tener en cuenta que fueron realizado en un cultivo con manejo orgánico.

Tabla 8. Estadísticos descriptivos del peso de racimo por tratamiento

Tratamiento	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
<i>T1</i>	10	36,65	1,84	34,00	39,00
<i>T2</i>	10	35,50	1,15	33,50	37,00
<i>T3</i>	10	40,85	2,19	37,00	44,00
<i>T4</i>	10	30,60	2,13	27,50	34,00
<i>T</i>	10	30,00	1,89	26,00	32,50
<i>Total</i>	50	34,72	4,45	26,00	44,00

El ANOVA que se presenta en la Tabla 9 muestra diferencias significativas ($p < 0.050$), entre los tratamientos. Al realizar la prueba pos-hoc de Tukey ($p < 0.05$) indica que los tratamientos T1 (36,65 kg) y T2 (35.50 kg) difieren de T3 con una muestra la media más alta (40.85 kg) y de T4 y T0 con valores de 30.6 kg y 30 kg respectivamente.

Tabla 9. Análisis de varianza del peso de racimo por tratamiento.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	811,630	4	202,908	57,626	0,000
Intra-grupos	158,450	45	3,521		
Total	970,080	49			

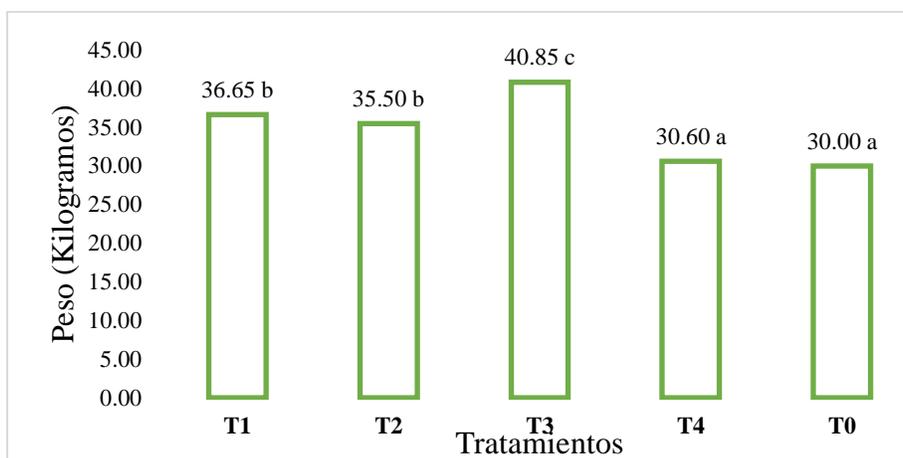


Figura 12. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para peso de racimos de banano por tratamiento.

3.5. Número de manos de racimo

En la Tabla 10 se puede observar que el valor más alto fue T3, con 8 manos por racimo en promedio, teniendo un mínimo de 7 manos y un máximo de 9 manos por racimo, la diferencia entre los demás tratamientos no muy relevante, sin embargo, en la Tabla 11 nos indica que los resultados son significativos. Los resultados obtenidos fueron mejores logrando un mayor incremento del número de manos por racimo a diferencia del estudio de Sánchez (2020), de lo que solo obtuvieron 6 manos por cada racimo, en una plantación en transición de manejo convencional a orgánico.

Tabla 10. Estadístico descriptivo del número de manos por racimo por tratamiento.

Tratamientos	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
<i>T1</i>	10	6,90	0,74	6,00	8,00
<i>T2</i>	10	7,20	0,79	6,00	8,00
<i>T3</i>	10	8,10	0,74	7,00	9,00
<i>T4</i>	10	7,40	0,52	7,00	8,00
<i>T0</i>	10	6,20	0,79	5,00	7,00
<i>Total</i>	50	7,16	0,93	5,00	9,00

Tabla 11. Análisis de variación del número de manos por tratamiento.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	19,320	4	4,830	9,288	0,000
Intra-grupos	23,400	45	0,520		
Total	42,720	49			

La prueba de Tukey $p < 0.05$ (Figura 13), muestra diferencias significativas entre T3 y el resto de tratamientos que tuvieron valores a 7 manos por racimo.

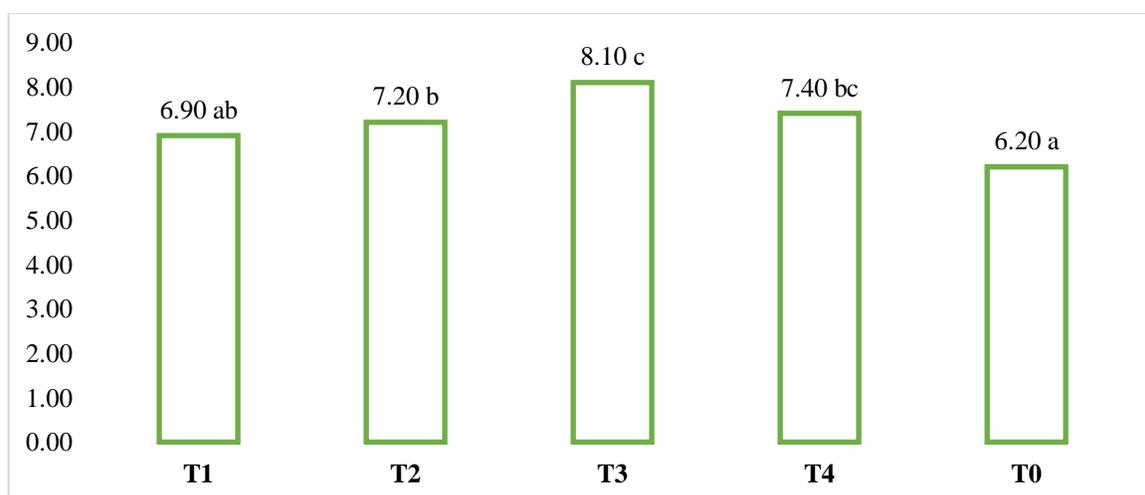


Figura 13. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para números de manos por racimos de banano por tratamientos.

3.6. Diferencia del pseudotallo del hijo

En la Tabla 12, el valor mínimo de la medición del pseudotallo del hijo fue de 26 cm (T0) y el máximo de 35 cm (T2), la media más alta se registró en T3 con 32,40 cm al igual que su mínimo es de 31 cm y su máximo de 34 cm, es decir, que la dosis aplicada permite que el pseudotallo tenga mayor diámetro en el transcurso de las semanas. Por otra parte, el análisis de varianza de la Tabla 13 nos permite conocer que los valores son altamente significativos

ya que son menores al $p < 0.05$. Marín, García & Barrezueta (2018), encontraron un crecimiento superior del diámetro del tallo en maíz cuando aplicaron biocarbón de las cascara de cacao en combinación con humus, incremento que se debe a la matriz de compuestos orgánicos funcionales que incrementa la disponibilidad de N, P y K.

Tabla 12. Estadístico descriptivo de la diferencia del pseudotallo del hijo

Tratamientos	N	Media	Desviación típica	Mínimo	Máximo
<i>T1</i>	10	30,60	2,12	28	34
<i>T2</i>	10	30,40	2,17	28	35
<i>T3</i>	10	32,40	1,07	31	34
<i>T4</i>	10	31,40	2,27	28	35
<i>T0</i>	10	28,40	1,65	26	31
<i>Total</i>	50	30,64	2,266	26	35

Tabla 13. Análisis de varianza de la diferencia de pseudotallo del hijo.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	87,520	4	21,880	6,004	0,001
Intra-grupos	164,000	45	3,644		
Total	251,520	49			

La Figura 14 muestra que se conformaron tres grupos que difieren en significancia estadística para la diferencia en el crecimiento del pseudotallo al realizar la prueba Tukey al $p < 0.05$. Los valores que registraron T3 y T4 conforman el grupo con los valores más altos con 32,4 cm y 31,40 cm, respectivamente, mientras la menor media fue de 28.40 cm registrada en T0.

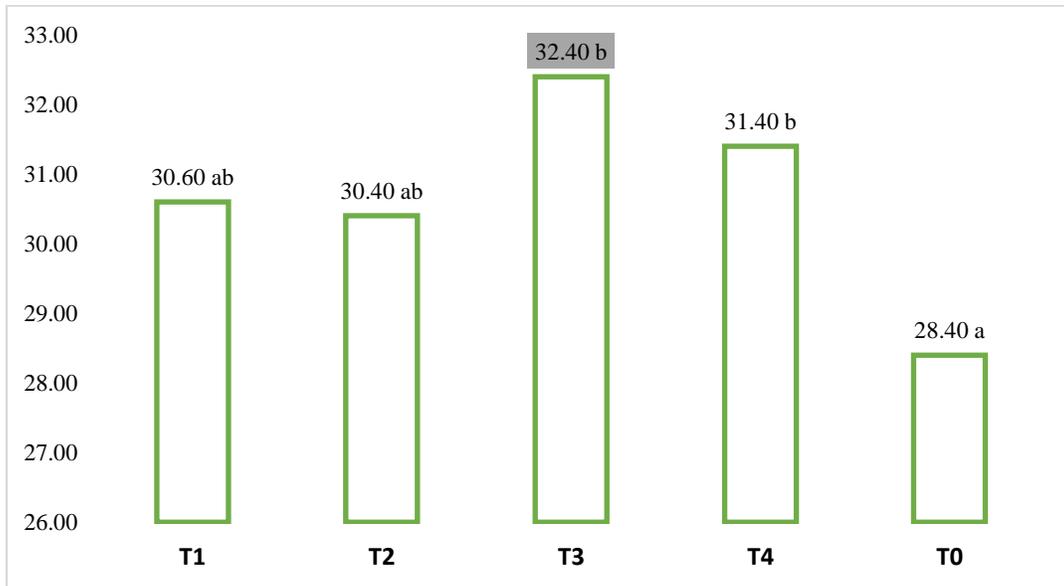


Figure 14. Prueba de Tukey al 0.05 de significancia para la diferencia de pseudotallo del hijo por tratamiento

CONCLUSIONES

El tratamiento tres (T3) con una dosis de 100 gramos de SiO₂ más 15 gramos de biochar de cacao, ha influido en casi todas las variables como en la altura de la planta (398 cm), la diferencia de altura del hijo (73.20 cm), la altura del hijo en la última semana (397.70cm), peso del racimo (40.85 kg), el número de manos por racimo (8) y la diferencia del pseudotallo del hijo (32,40 cm), por otra parte, el tratamiento testigo (T0) no obtuvo ninguna incidencia en la evolución de la planta ya que no se aplicaron ninguna dosis de tratamiento a comparación con el T3, las cuales si dieron muy buenos resultados durante toda las semanas de evaluación del cultivo de banano.

RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar 100 gramos de SiO_2 más 15 gramos de biochar de cacao para obtener una buena producción y un fruto de calidad, de acuerdo con la investigación realizada.

Usar el biochar o biocarbón de cascaras de cacao o del raquis de banano para el mejor la estructura y las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Acón-H, J., Alpízar-Oses, L., & WingChing- Jones, R. (2013). *Percolación y lixiviación de nutrimentos en suelos bananeros al este del río reventazón, Costa Rica*. (Vol. 24). Alajuela, Costa Rica: Agronomía Mesoamericana. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/437/43729228009.pdf>
- Armijos, M., García, B., & Barrezueta, U. (2018). *Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano* (Vol. 6). Huaquillas, Ecuador: Revista Científica Agroecosistemas. Obtenido de <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Azuero Gaona, B., Quevedo Guerrero, J., & García Batista, R. (2020). *Efecto del biocarbón y microorganismos en la producción y estado fitosanitario de banano orgánico en la parroquia "La Victoria"*. (Vol. 8). Buenavista: Revista Científica Agroecosistemas.
- Burbano, H. (2016). *El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria*. (Vol. 33). Colombia: Revista de Ciencias Agrícolas. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v33n2/v33n2a11.pdf>
- Caicedo, O., Balmaseda, C., & Proaño, J. (2015). *Programación del riego del banano (Musa paradisiaca) en finca San José, Los Ríos, Ecuador*. (Vol. 24). Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542015000200003
- Cano H, M., & Bennet E, A. (2016). *Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas* (Vol. 50). México: Agrociencia. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952016000400471
- Capa, L., Alaña, T., & Benítez, R. (2016). *Importancia de la producción de banano orgánico. caso: Provincia El Oro, Ecuador* (Vol. 3). Machala, Ecuador:

- Universidad Metropolitana de la Republica del Ecuador. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000300008
- Concilco, E., Moreno, A., & García, M. (2018). *Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera* (Vol. 36). México: Tierra Latinoamericana. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v36n3/2395-8030-tl-36-03-221.pdf>
- Escalante, A. (2016). *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo* (Vol. 34). México: Terra latinoam (online). Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&nrm=iso
- Escalante, A., & Pérez, G. (2016). *Biocarbon I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo* (Vol. 34). Chapingo, México: Universidad Veracruzana. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367
- García, M., Juca, F., & Oswaldo, J. (2016). *Estudio de los eslabones de la cadena de valor del banano en la provincia de El Oro* (Vol. 8). Machala. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202016000300006&script=sci_arttext&tlng=en
- Gauggel, C., & Arevalo, G. (2010). *Fertilización de banano*. Honduras: Simposio Internacional on "Importancia del Manejo del Suelo y el potasio para el Desarrollo Agrícola Sustentable de Centroamerica". Obtenido de https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/Gauggel_and_gauggel_fertilizacion_en_banano.pdf
- Gía, E. (2014). *Formas de herculizado en el cultivo de banano*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1068/7/CD320_TESIS.pdf
- Gómez, A. (2008). *Manual de manejo de las diferentes etapas de producción de la banano de exportación*. Uraba, Colombia: Instituto Técnico Agrícola. Obtenido de <http://www.gipag.org/archivos/banano.pdf>

- Gómez, M. (2017). *Efectos de la suma térmica en el desarrollo de racimos de banano (Musa acuminata AAA) en dos zonas productoras distintas*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7714/1/T-UCSG-PRE-TEC-AGRO-119.pdf>
- González, P. (2019). *Consecuencias ambientales de la aplicación de fertilizantes*. Chile: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN). Obtenido de https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/27059/1/Consecuencias_ambientales_de_la_aplicacion_de_fertilizantes.pdf
- INTAGRI. (2018). *Requerimientos de Clima y Suelos para el Cultivo de Banano*. México: Artículos Técnicos de INTAGRI. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/frutales/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-banano>
- López, A., & Espinoza, J. (1995). *Manual de nutrición y fertilización del banano*. Quito, Ecuador: International Plant Nutrition Institute. Obtenido de [http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/\\$FILE/N%20F%20Banano.002.002.pdf/N%20F%20Banano.pdf](http://nla.ipni.net/ipniweb/region/nla.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/c093707b0327c2fe05257a40005f359f/$FILE/N%20F%20Banano.002.002.pdf/N%20F%20Banano.pdf)
- MundoMaritimo. (2021). *Ecuador: Exportaciones de banano*. Ecuador: Información Marítima de Latinoamérica. Obtenido de <https://www.mundomaritimo.cl/noticias/ecuador-exportaciones-de-banano-crecieron-un-992-en-el-primer-trimestre-de-2020>
- Olmo, M. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal*. España: Universidad de Córdoba. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=63944#:~:text=De%20manera%20general%2C%20la%20adici%C3%B3n,y%20reduciendo%20la%20de%20N.>
- Paco, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en el suelo y planta*. Bellatierra. Obtenido de

https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_202695/PFC_DanielPacoAbenza.pdf

Palomeque, J. M., & Lalangui, J. I. (2016). *Propuesta de una ruta turística bananera en base a la historia regional, provincia El Oro- Ecuador* (Vol. 8). Ecuador: Universidad Metropolitana del Ecuador. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202016000300019

Peñañiel, M. (2009). *Efecto de la aplicación edáfica del silicio en diferentes dosis, en el cultivo de la papa china (Colacasia esculenta) en combinación con dos niveles de abono orgánico*. Salgolqui: Escuela Politécnica del ejército. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/2607/1/T-ESPE-IASA%20I-004144.pdf>

Pérez M, M., & Peña, E. (2017). Cuba: Universidad de las Tunas. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6105592.pdf>.

PROMIX. (2021). *Rol del silicio en el cultivo de plantas*. Obtenido de <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-silicio-en-el-cultivo-de-plantas/>

Sánchez, S. (2020). *Efecto de la enmienda biocarbon + biol y SiO₂ en un suelo Franco Arenoso sobre el desarrollo vegetativo de Musa Spp*. Machala: Universidad Tècnica de Machala. Obtenido de <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/16148/1/TTUACA-2020-IA-DE00031.pdf>

Suárez, C. (2019). *Efecto de hongos micorrízicos, Bacillus Spp y fósforo en el desarrollo vegetativo de banano (Musa paradisiaca) variedad Willians en el cantón Valencia Provincia de Los Ríos*. Los Ríos: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Obtenido de <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3269/1/T-AGROP-UTEQ-00105.pdf>

Troya, J. (2019). *Manejo de la fertilización potásica en el cultivo de banano "Musa paradisiaca AAA", en la Hacienda Bolívar del cantón Pueblo Viejo*. Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo. Obtenido de

<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/6024/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000138.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Tuz, I. (2018). *Manejo integrado del cultivo de banano (Musa x Paradisiaca L) clon Williams, usando biocarbón y microorganismos eficientes*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/13263/1/DE00030_TRABAJO_DETITULACION.pdf

Ulloa, L. (2017). *Diseño de cámara de luz UV-C prototipo para el manejo de pudrición de corona en frutos de exportación de banano*. Quito, Ecuador: Escuela Superior Politécnica del litoral. Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/123456789/41544/D-CD88538.pdf?sequence=-1>

UNCTAD. (2016). *Banano*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo. Obtenido de https://unctad.org/es/system/files/official-document/INFOCOMM_cp01_Banana_es.pdf

Vargas, A., Watler, W., Morales, M., & Vignola, R. (2017). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de banano*. Costa Rica. Obtenido de <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/reduccion-impacto-por-eventos-climaticos/Informe-final-Banano.pdf>

Vásquez, W. (2015). *Cálculo de fertilización en la finca 3 cerritos para cultivo de banano (Musa AAA subgrupo Cavendish) en producción*. Machala, Ecuador: Universidad Técnica de Machala. Obtenido de http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/2929/1/CD00001_EXAMENC OMPLEXIVO.pdf

Vegas, U. (2013). *Manejo integrado de banano orgánico*. Pacanga, Perú: Agrobanco. Obtenido de <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/009-c-banano.pdf>

Villamagua, M., Valarezo, C., Maza, H., & Valarezo, L. (2016). *Efecto del biocarbón, cal y nutrientes sobre el crecimiento de dos especies arbóreas en el ambiente de Ladera*

del Sur de la Amazonía Ecuatoriana. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
Obtenido de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/184/537>

ANEXOS



Anexo 1. Medición de la altura de la planta de banano



Anexo 2. Biochar de la cascara de cacao



Anexo 3. Biochar del raquis de banano



Anexo 4. Peso de Tecnosilex



Anexo 5. *Corte del raquis de banano*



Anexo 6. *Raquis de banano listo para llevar al secado*



Anexo 7. *Proceso de elaboración del biochar*



Anexo 8. *Aplicación de biochar al cultivo de banano.*